

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві бензолу. Розробити горизонтальний кожухотрубчастий випарник бензолу

Виконав:
студент групи ХМз-93-1с

Миляєв Владислав Вікторович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

докт. техн. наук, професор

Склябінський Всеволод Іванович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 4 Група ХМз-93-1с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Миляєву Владиславу Вікторовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві бензолу.
Розробити горизонтальний кожухотрубчастий випарник бензолу

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу у кількості 3650 кг/год. під тиском 0,15 МПа. Гарячий теплоносій у трубах – водяна пара під тиском 0,15 МПа.

Питання до розділу «Охорона праці»: Основні методи пожежогасіння. Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння.

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

- | | |
|---|------------|
| 1. <u>Технологічна схема ректифікаційної установки</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик кожухотрубчастого випарника</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальні кресленики вузлів</u> | – 1,5 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2022 р.

Керівник

підпис

проф. Склабінський В.І.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки у виробництві бензолу	7
1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу	8
1.3 Опис кожухотрубчастого випарника з паровим простором та вибір основних конструкційних матеріалів для його виготовлення	16
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	20
2.1 Технологічні розрахунки	20
2.2 Конструктивні розрахунки	23
2.3 Гідравлічні розрахунки	24
2.4 Вибір допоміжного обладнання	26
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	31
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	31
3.2 Розрахунок сідлової опори	34
4 Монтаж та ремонт апарата	38
4.1 Монтаж запроєктованого апарата	38
4.2 Ремонт запроєктованого апарата	41
5 Охорона праці	45
Список використаних джерел	49
Додаток – Специфікації до графічної частини проекту	

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Миляєв				Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Склабінський					4	50
Реценз.					СумДУ, ХМЗ-93-1с		
Н. Контр.							
Затверд.	Острога						
Випарник з паровим простором Пояснювальна записка							

Вступ

Теплообмінні системи – це устаткування, яке забезпечує обмін теплом між двома різними теплоносіями. У залежності від призначення, існують різні типи рекуперативних теплообмінників, а саме: власне теплообмінники; підігрівники; холодильники; охолоджувачі-конденсатори; конденсатори; випарники; випарники-конденсатори тощо.

Теплообмінники-випарники кожухотрубного типу широко застосовуються в холодильних установках для процесу випаровування низькокиплячих холодоагентів з метою охолодження нагрітих робочих середовищ до низьких температур. Крім того, вони використовуються у ректифікаційних та десорбційних установках як парогенеруюче обладнання для обігрівання нижньої частини колони шляхом подачі парових потоків киплячого компонента. Такі теплообмінники дозволяють ефективно використовувати теплоенергію та забезпечують оптимальні умови для зазначених процесів, що сприяє ефективності та надійності роботи систем [1].

Стандарт передбачає виготовлення апаратів двох типів: перший – з конічним або еліптичним днищем та компенсацією температурних подовжень за допомогою U-подібних трубок, а другий – з конічним або еліптичним днищем та компенсацією температурних подовжень за допомогою плаваючої голівки.

Виготовляють кожухотрубні горизонтальні випарники типу ВП з плаваючою голівкою в різних типорозмірах. Для випаровування технологічних середовищ в ректифікаційних установках загальнопромислового призначення, що працюють під тиском 0,1–2,5 МПа, застосовують горизонтальні кожухотрубні випарники. Корпуси цих випарників мають діаметр від 400 до 2000 мм, а довжина труб становить від 3000 до 6000 мм. У залежності від конкретної конфігурації, може бути використано від 2 до 8 трубних пучків [1].

В якості гарячого теплоносія, що постачається до трубного простору, можуть бути використані різні речовини залежно від потрібного температурного режиму. Насичена водяна пара, нагріті нафтопродукти або гарячі гази – це лише деякі з можливих варіантів [2].

Насичена водяна пара – це пара, яка має максимальну кількість водяної пари при даній температурі та тиску. Вона може бути використана як гарячий теп-

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

лоносій, коли потрібні високі температури обміну теплом. Нагріті нафтопродукти також можуть бути використані як гарячий теплоносій у трубному просторі. Нафтопродукти, такі як нафта, газовий конденсат або нафтові фракції, можуть бути нагріті до високих температур і передані через теплообмінники для ефективного обміну теплом. Гарячі гази також є популярним варіантом гарячого теплоносія для трубних випарників. Гази, які мають високу температуру, наприклад, продукти згорання, пари або інші газові середовища, можуть бути використані для постачання тепла у трубний простір випарника [2].

Вибір конкретного гарячого теплоносія залежить від вимог технологічного процесу, робочих температур та умов експлуатації. Важливо враховувати фізичні властивості теплоносія, його температурний діапазон та вимоги до безпеки й надійності системи теплообміну.

Метою даної кваліфікаційної роботи є проектування специфічного типу випарника з плаваючою голівкою, відомого як тип ВП. Даний кожухотрубний випарник призначений для ефективного випаровування та видалення частини кубового залишку, зокрема бензолу, за рахунок тепла водяної пари під тиском 0,15 МПа.

Під час проектування випарника будуть враховані розміри, матеріали, технічні характеристики та умови роботи, щоб забезпечити оптимальну продуктивність, ефективність та безпеку процесу випаровування. Даний кваліфікаційний проєкт виконано у відповідності до методичних вказівок [3] та містить усі регламентовані розділи.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						6
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки у виробництві бензолу

Технологічну схему ректифікаційної установки у виробництві бензолу наведено на рис. 1.1.

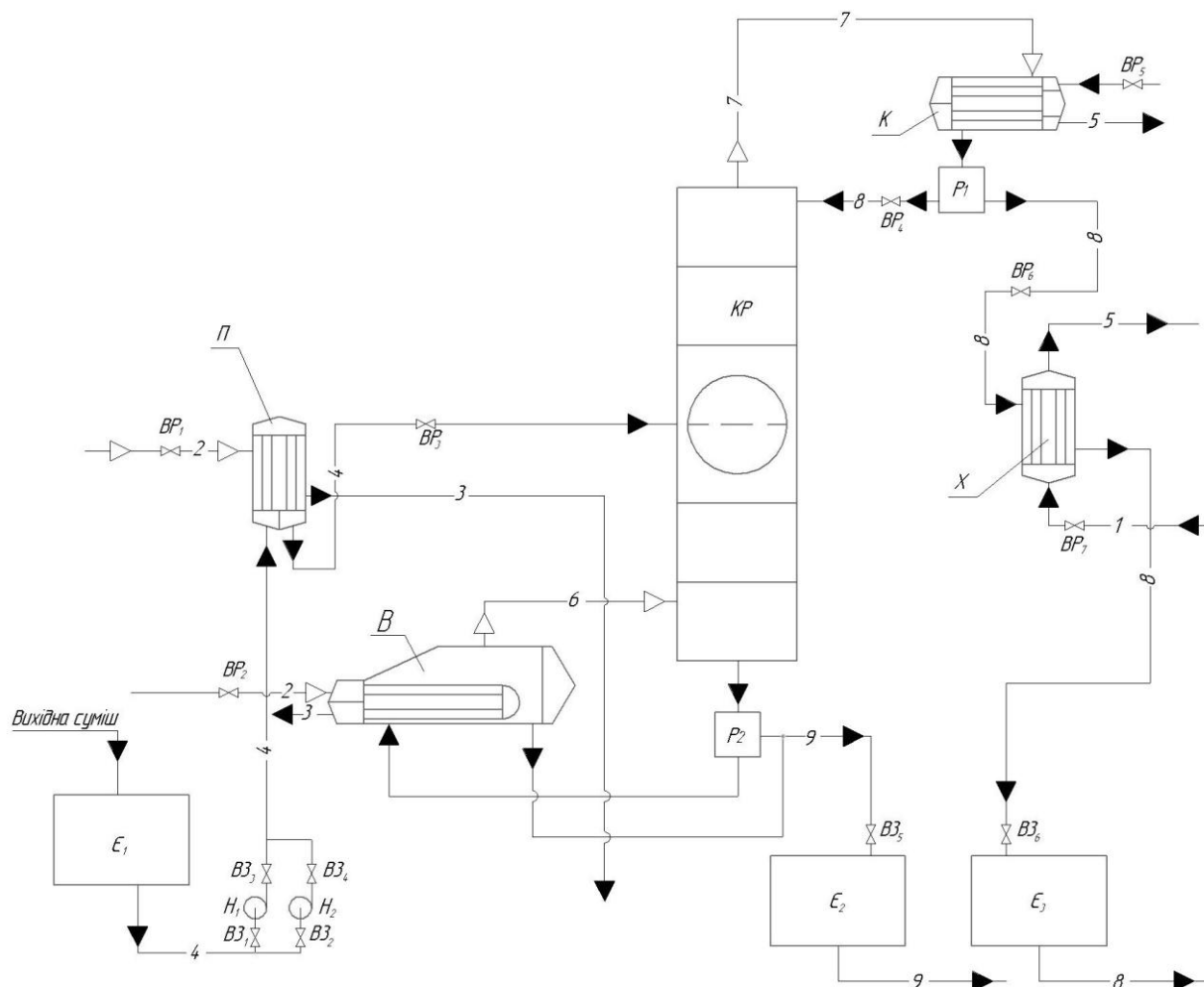


Рисунок 1.1 – Схема ректифікаційної установки у виробництві бензолу

Зі збірника ϵ_1 виходить розчин, який перекачується до теплообмінника П за допомогою двох відцентрових насосів H_1 та H_2 , з'єднаних паралельно. Одразу після цього розчин проходить через теплообмінник, де його температура підвищується до точки кипіння за рахунок тепла, що виділяється внаслідок конденсації водяної пари, яка циркулює у міжтрубному просторі. Нагрітий розчин направляється на тарілку живлення ситчастої ректифікаційної колони КР, яка складається з двох частин: верхньої (зміцнюючої) і нижньої (вичерпної).

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

На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної суміші. У результаті розділення суміші в нижній частині колони відводиться бензол, який збирається у збірнику ϵ_2 . Частина цього бензолу направляється в кожухотрубчастий випарник з паровим простором В. У випарнику за допомогою насиченої водяної пари, яка подається в трубний простір апарата, відбувається вскипання бензолу і утворення пари висококиплячого компонента. Ця пара повертається до колони, конденсується та стає паровим зрошенням під нижньою тарілкою.

Таким чином, в нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес відділення (вичерпання) висококиплячого компонента з рідкого розчину, який стікає вниз.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення пари низькокиплячим компонентом шляхом багатоступеневого контакту на масообмінних тарілках, де флегма стікає зверху вниз. Пара, що відводиться з верхньої частини колони, поступає в конденсатор К, де вона конденсується в міжтрубному просторі теплообмінника за рахунок відведення тепла холодоагентом, що протікає в трубному просторі. Частина утвореного конденсату повертається в колону у вигляді флегми для зрошення її верхньої частини. Інша частина (дистиллят) додатково охолоджується в холодильнику Х та спрямовується у збірник ϵ_3 в якості готового продукту з високою концентрацією низькокиплячого компоненту.

1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу [4–8]

У випарниках, важливому компоненті теплообмінного процесу, робоче середовище, яке може бути у вигляді рідини або розчину, піддається інтенсивному нагріванню. Це призводить до передачі тепла з гарячого теплоносія на робоче середовище, що випаровується. Теплоносій, що кипить, переходить у паровий або газовий стан, збільшуючи об'єм і виходячи з випарника.

Цей процес випаровування випарника є ефективним методом для отримання пари або газу з рідкого середовища. Випаруване робоче середовище може бути використане в різних промислових процесах, таких як енергетика, хімічна промисловість, холодильна техніка та інші. Цей процес забезпечує ефективну передачу

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

тепла, що дозволяє використати потенційну енергію гарячого теплоносія для випаровування робочого середовища та отримання необхідних парових або газових продуктів.

Випарники-конденсатори забезпечують перехід тепла між двома теплоносіями, які перебувають в різних агрегатних станах. З одного боку, гарячий теплоносій, який може бути у вигляді пари або газу, передає своє тепло до поверхні теплопередачі і конденсується, переходячи у рідкий стан. З іншого боку, холодний теплоносій, що може бути рідиною або газом, на зворотній стороні поверхні, піддається нагріванню від гарячого теплоносія та випаровується, переходячи у паровий або газовий стан.

Цей процес теплопередачі у випарниках-конденсаторах є важливим для багатьох технологічних процесів, де необхідно здійснити перетворення речовини з одного агрегатного стану в інший. Випарники-конденсатори забезпечують ефективно використання тепла, що передається від гарячого до холодного теплоносія, і дозволяють регулювати теплові параметри процесу відповідно до вимог технології.

Залежно від агрегатного стану теплоносіїв, можна виділити кілька типів теплообмінних апаратів. Перший тип включає апарати, де обидва теплоносії залишаються в одному агрегатному стані, такі як газо-газові, газо-рідинні, рідинно-рідинні холодильники та підігрівачі. Другий тип апаратів передбачає зміну агрегатного стану одного з теплоносіїв. Наприклад, підігрівник-випарник, конденсатор-підігрівник, холодильник-конденсатор і т. д. У цих апаратах один з теплоносіїв зазнає перетворення з одного агрегатного стану в інший, в той час як другий теплоносій залишається в своєму початковому стані. Третій тип апаратів передбачає зміну агрегатного стану обох теплоносіїв. Це можуть бути апарати, такі як конденсатор-випарник, де обидва теплоносії зазнають перетворення з одного агрегатного стану в інший. Ці типи теплообмінних апаратів використовуються у різних технологічних процесах, де необхідно контролювати та регулювати передачу тепла між різними теплоносіями залежно від їх агрегатного стану.

Залежно від методу формування поверхні теплообміну, можна виділити наступні типи апаратів: апарати, які виготовлені з використанням труб (такі як тру-

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

бні, кожухотрубні, зміювикові, кручені та інші); теплообмінні апарати, які виготовлені з листового матеріалу (такі як пластинчасті, спіральні, ламельні та інші). Це два різних підходи до конструкції теплообмінних апаратів, де використовуються різні матеріали та технології для створення поверхні, яка забезпечує ефективну передачу тепла між теплоносіями. Трубні апарати включають різні типи труб, які можуть мати різну форму та конфігурацію. З іншого боку, листові апарати виготовляються з використанням пластин або листового матеріалу, які можуть мати спеціальну форму або вирізні вставки для поліпшення ефективності теплообміну. Ці різні типи теплообмінних апаратів використовуються в різних галузях промисловості в залежності від вимог щодо процесу обміну теплом та характеристик теплоносіїв. Вибір конкретного типу апарату залежить від конкретних технологічних потреб та умов експлуатації.

Теплообмінні апарати можна класифікувати за орієнтацією їх теплообмінної поверхні. Залежно від цього, виділяють такі типи: вертикальні (позначаються як В), горизонтальні (позначаються як Г) та похилі (позначаються як П). Орієнтація теплообмінної поверхні визначає положення апарату у просторі та спрямованість потоків теплоносіїв. У вертикальних апаратах, теплообмінна поверхня розташована вертикально, що означає, що теплоносії протікають вздовж апарату в вертикальному напрямку. Горизонтальні апарати мають горизонтальну теплообмінну поверхню, де теплоносії рухаються горизонтально. У похилих апаратах, теплообмінна поверхня нахилена під кутом до вертикалі або горизонту. Вибір конкретної орієнтації теплообмінної поверхні залежить від конкретних умов експлуатації, вимог до технологічного процесу та просторових обмежень. Кожен тип має свої переваги та застосування в різних галузях промисловості.

Теплообмінні апарати можна класифікувати за способом компенсації температурних подовжень. Залежно від цього, виділяють такі типи: без компенсації – жорстка конструкція; з компенсацією за допомогою пружного елемента – напівжорстка конструкція; з компенсацією шляхом вільних подовжень – нежорстка конструкція. Компенсація температурних подовжень в теплообмінних апаратах є важливою характеристикою, оскільки теплові процеси можуть спричинити зміни розмірів матеріалів. У безкомпенсаційних апаратах, конструкція жорстка, що не

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						10
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

дозволяє матеріалам компенсувати подовження або звуження під час зміни температури. В апаратах з компенсацією пружним елементом, пружний компонент дозволяє вирівняти температурні зміни, дозволяючи апарату гнучко реагувати на подовження або звуження. У нежорстких апаратах, компенсація температурних подовжень здійснюється завдяки наявності вільних зазорів, що дозволяють компенсувати зміни розмірів без використання пружного елемента. Вибір конкретного типу залежить від особливостей конструкції, матеріалів, робочих умов та технологічних вимог. Кожен з них має свої переваги і застосування в різних сферах промисловості.

Вихідні дані визначення розмірів теплообмінника визначаються з теплового балансу:

$$Q = G_1 \cdot \Delta i_1 = G_2 \cdot \Delta i_2, \quad (1.1)$$

де Q – тепловий потік (кількість тепла, що передається від одного теплоносія іншому в одиницю часу), Вт;

G_1 і G_2 – маса теплоносіїв, що обмінюються теплом, кг/с;

Δi_1 і Δi_2 – зміна тепломістку теплоносіїв під час процесу теплопередачі, Дж/кг.

Якщо агрегатний стан теплоносія під час процесу теплопередачі залишається незмінним, то:

$$\Delta i = c_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (1.2)$$

де t_1 і t_2 – температури теплоносія на вході та виході теплообмінника, К;

c_p – середня теплоємність при температурі:

$$\frac{t_1 + t_2}{2}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \quad (1.3)$$

Якщо в результаті кипіння або конденсації агрегатний стан теплоносія змінюється, то зміна тепломістку дорівнює:

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

$$\Delta i = c_{\text{п}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) + \tau + c \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{ж}}), \quad \text{Дж/кг}; \quad (1.4)$$

де $t_{\text{п}}$ і $t_{\text{ж}}$ – температури пари та рідини, К;

$t_{\text{н}}$ – температура насичення пари, К;

$c_{\text{п}}$ і $c_{\text{ж}}$ – середні теплоємності пари та рідини, Дж/(кг·К);

τ – теплота пароутворення, Дж/кг.

Визначення поверхні теплообмінника проводиться за основним рівнянням теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot K}, \quad (1.5)$$

де F – поверхня теплообміну, м²;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – середня різниця температур, К;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К).

Температурна різниця $\Delta t_{\text{ср}}$ є основною причиною для здійснення будь-якого процесу теплообміну і залежить від схеми руху теплоносіїв, а також збереження або зміни їхнього агрегатного стану. У випадку зміни агрегатного стану обох теплоносіїв:

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{конд}} - t_{\text{кип}}, \quad \text{К}. \quad (1.6)$$

Якщо хоча б один із теплоносіїв не зазнає зміни свого агрегатного стану, то різниця температур при протіканні цього теплоносія вздовж стінки, що розділяє його від іншого теплоносія, буде змінюватись. У таких випадках основним температурним впливом є середня різниця температур.

Для випадків протитечії, паралельного току, а також коли одна сторона стінки, що розділяє теплоносії, омивається теплоносієм, який зберігає постійну температуру внаслідок зміни свого агрегатного стану, основним температурним фактором є середня логарифмічна різниця температур:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}, \quad (1.7)$$

де Δt_1 – більша різниця температур теплоносіїв біля одного кінця теплообмінника, К;

Δt_2 – менша різниця температур теплоносіїв біля іншого кінця теплообмінника, К.

Якщо відношення $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \leq 2$, то з достатньою точністю у якості середньої різниці температур можна приймати середню арифметичну різницю:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}. \quad (1.8)$$

Середня різниця температур при протитечії більша, ніж при паралельному току. Це означає, що для передачі заданої кількості тепла поверхня теплопередачі стає найменшою у випадку протитечії. Крім того, при паралельному току кінцева температура теплоносія, що нагрівається, повинна бути обов'язково вищою за кінцеву температуру теплоносія, що гріє. У разі протитечії кінцева температура теплоносія, що гріє, може бути навіть нижчою за кінцеву температуру нагрівального теплоносія, що призводить до більш ефективної рекуперації тепла в протиточних теплообмінниках. Економічною перевагою протиточних теплообмінників є їх широке застосування. Протиточну конфігурацію можуть обмежувати важкі температурні умови, з якими має працювати метал теплообмінної поверхні з боку входу гарячого теплоносія, або технологічні обмеження, наприклад, небажання нагрівати оброблювані продукти.

Для перехресного току та інших схем взаємного руху теплоносіїв середня різниця температур підраховується як для протитоку, але отриманий результат множиться на поправочний коефіцієнт ε_T , тобто:

$$\Delta t'_{\text{ср}} = \varepsilon_T \cdot \Delta t_{\text{ср}}, \quad (1.9)$$

де ε_T – поправковий коефіцієнт.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Далі потрібно визначити коефіцієнт теплопередачі. Для плоскої стінки цей коефіцієнт обчислюється за допомогою такої формули:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \frac{s}{\lambda}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (1.10)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від гріючого теплоносія до стінки і від стінки до теплоносія, що нагрівається, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

s – товщина стінки, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Більшість стінок необхідно розглядати як багат шарові, оскільки під час експлуатації вони поступово покриваються шарами нальоту, уламків, мастила або корозії. Ці забруднюючі матеріали мають низьку теплопровідність, що в десятки або сотні разів менша, ніж у металів. Термічний опір цих шарів, навіть за малої їх товщини, може значно перевищувати термічний опір самої металевої стінки.

Термічний опір багат шарової стінки визначається як сума опорів кожного окремого шару, тобто:

$$\sum \frac{s}{\lambda} = \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots \quad (1.11)$$

Зниження величини коефіцієнта теплопередачі, викликане збільшенням термічного опору, враховують при розрахунку. При цьому задаються максимальною товщиною забрудненого шару для твердих речовин від 0,5 до 1 мм, для мастила ~ 0,1 мм.

Середня температура стінки:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_x + t_2}{2}. \quad (1.12)$$

Визначення температури стінки апаратів має велике значення для різних аспектів, таких як встановлення допустимих напруг, вивчення температурних розширень, оцінка температурних напруг, оцінка швидкості корозії та багатьох інших ситуацій. Це особливо важливо для точного визначення коефіцієнтів тепловіддачі (α_e і α_n), які є ключовими для проектування ефективних теплообмінників.

Нижче наведено основні критерії подібності, які використовуються в розрахунках процесів примусового конвективного теплообміну при русі теплоносіїв.

Критерій Нусельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}; \quad (1.13)$$

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}; \quad (1.14)$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}; \quad (1.15)$$

Критерій Грасгофа характеризує рух теплоносія при вільній конвекції:

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}. \quad (1.16)$$

В умовах як вільного, так і вимушеного руху теплоносія можна використовувати перетворене (спрощене) рівняння – більш зручний для визначення усередненого значення коефіцієнта тепловіддачі α через рушійну силу процесу $\Delta T_{кин}$:

$$\alpha = b^3 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (\Delta T_{кин})^2}{\nu \cdot \sigma \cdot |T_{кин}|}. \quad (1.17)$$

Чисельне значення безрозмірною функції b , визначаємо з рівняння:

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{\rho_{II}}{\rho_P - \rho_{II}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1.18)$$

де ρ_P, ρ_{II} – відповідно густини рідини і пари, кг/м^3 .

1.3 Опис кожухотрубчастого випарника з паровим простором та вибір основних конструкційних матеріалів для його виготовлення

Схему випарника з паровим простором наведено на рис. 1.2.

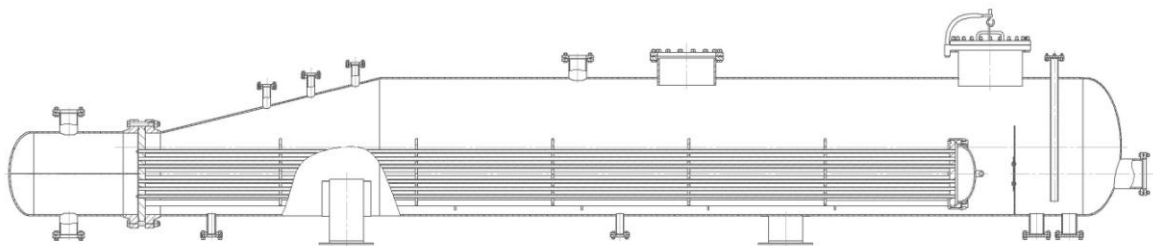


Рисунок 1.2 – Схема випарника з паровим простором

Процес роботи випарника базується на такій послідовності етапів. Бензол під тиском 0,15 МПа при температурі кипіння поступає у міжтрубний простір випарника. У той же час, гарячий теплоносій – водяна пара, яка при тиску 0,15 МПа має температуру 112°C, подається через патрубок до розподільної камери. Завдяки теплопередачі через стінку теплообмінних труб, відбувається активне випаровування бензолу. Відпрацьована водяна пара видаляється з апарату.

Утворені пари бензолу, що виникають внаслідок його випаровування, видаляються з апарату за допомогою спеціального парового патрубка. Рівень рідини у випарнику підтримується за допомогою переливної планки. У випадку, якщо рідина перевищує встановлений рівень, вона виводиться з апарату через дренажний патрубок. Перегородка надає теплообмінним трубам жорсткість, щоб запобігти їх провисанню. В апараті також передбачені люки для забезпечення доступу для монтажу та ремонтних робіт.

Визначення матеріалів для виготовлення апарату базується на проведених дослідженнях, згаданих у посиланнях [9, 10]. При виборі матеріалу враховуються

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

його стійкість до корозії і теплопровідність, оскільки конструкція теплообмінного апарата суттєво залежить від характеристик обраного матеріалу.

У випадку кожухотрубчастого випарника з паровим простором, матеріали обираються з урахуванням особливостей його експлуатації. Звертається увага на потенційні зміни фізико-хімічних властивостей матеріалів під впливом робочого середовища, температури та хіміко-технологічного процесу, який відбувається. Такий підхід дозволяє забезпечити вибірково стійкість матеріалу до хімічних реагентів або інших факторів, які можуть впливати на його властивості під час роботи апарата, та забезпечити оптимальні умови експлуатації.

При виборі матеріалу для конструкції апарата також потрібно враховувати наступні фактори:

- Фізичні та механічні характеристики матеріалу, такі як межа міцності, відносне подовження, твердість та інші параметри, визначають його здатність стійко витримувати механічні навантаження та деформації. Це особливо важливо при експлуатації апарата під високим тиском або в умовах вібрацій.
- Технологічність виготовлення, включаючи зварюваність, є важливим фактором при виборі матеріалу. Матеріал повинен бути легко оброблюваним і зварюваним, оскільки це має вплив на ефективність виробничого процесу. При виборі матеріалу необхідно забезпечити зручне з'єднання складових елементів апарата, щоб забезпечити надійність і герметичність.
- Важливим аспектом є хімічна стійкість матеріалу щодо корозії. Матеріал повинен виявляти стійкість до впливу хімічних реагентів, які можуть бути присутніми у робочому середовищі апарата. Це гарантує тривалий термін служби апарата, не піддаючись пошкодженням або деградації матеріалу.
- Ефективність теплообміну залежить від теплопровідності матеріалу. Важливо вибрати матеріал з високою теплопровідністю, що сприятиме ефективній передачі тепла і підвищить продуктивність апарата.

Враховуючи вищезазначені фактори, для виготовлення корпусу, фланців, розподільних камер та деталей, що працюють під тиском, раціонально використовувати сталь 16ГС. Вона відповідає вимогам щодо механічних властивостей та технологічності виготовлення.

Основні фізико-механічні властивості сталі 16ГС приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості сталі 16ГС

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	77000
Щільність ρ , кг/м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 360
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 180
Відносне звуження ψ , %	56
Відносне подовження δ , %	25
Твердість по Брінеллю, НВ	115
Зварюваність	без обмежень

Теплообмінні труби є одним з ключових елементів апарата, оскільки вони забезпечують ефективний теплообмін. Використання сталі 20 для виготовлення теплообмінних труб забезпечує необхідну міцність і стійкість до високих температур, що забезпечує довговічність та ефективну роботу апарата.

Штуцери, крипіжні деталі (болти, гайки, шпильки), панелі, кронштейни, ребра жорсткості та інші деталі також виготовляються зі сталі 20. Цей матеріал має високу міцність, що дозволяє забезпечити надійну фіксацію компонентів апарата та стабільну роботу системи в цілому.

Сталь 20 також відзначається своєю хімічною стійкістю та теплопровідністю, що дозволяє їй витримувати агресивні середовища та ефективно передавати тепло. Це важливо для забезпечення безперебійної роботи апарата під впливом хімічних процесів та високих температур.

Отже, використання сталі 20 для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, крипіжних деталей, панелей, кронштейнів, ребер жорсткості та інших компонентів дозволяє забезпечити високу міцність, хімічну стійкість та ефективну теплопровідність апарата.

Основні фізико-механічні властивості сталі 20 приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості сталі 20

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	74000
Щільність ρ , кг/м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 420
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 250
Відносне звуження ψ , %	40
Відносне подовження δ , %	16
Твердість по Брінеллю, НВ	156
Зварюваність	без обмежень, окрім хіміко-термічно оброблених деталей

Для забезпечення герметичності фланцевих з'єднань апарата використовується неметалевий прокладковий матеріал – пароніт. Пароніт є листовим матеріалом, що виготовляється шляхом пресування азбокаучукової маси, яка складається з азбесту, каучуку та порошкових інгредієнтів. Прокладки з пароніту є легкими у виготовленні, мають високу міцність та довговічність. Вони також добре витримують високі температури і не піддаються значному стиску при стисканні між фланцями.

Враховуючи ці переваги, використання пароніту являє собою оптимальний вибір для виготовлення неметалевих прокладок, необхідних для ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апарата. Він забезпечує надійну герметичність і довговічність з'єднань, що є важливим фактором для ефективної роботи апарата.

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Температура кипіння бензолу при абсолютному тиску 0,15 МПа становить 94°C [7]. Ця інформація є критичною для подальшого проведення розрахунків та проектування теплообмінного процесу. Знання теплофізичних властивостей бензолу дозволяє точно врахувати його поведінку під час процесу випаровування і створити оптимальні умови для ефективного теплообміну. При врахуванні теплового навантаження на випарник ми можемо провести ефективний розрахунок та проектування системи теплообміну. Цей підхід сприяє оптимальному використанню енергії та підвищенню ефективності процесу.

Тому теплове навантаження випарника у нашому випадку буде становити:

$$Q = Q_{\text{исп}} = G_x \cdot r_x, \quad (2.1)$$

де r_x – питома теплота пароутворення бензолу, $r_x = 400$ кДж/кг [12].

$$Q = Q_{\text{исп}} = \frac{3650}{3600} \cdot 400 = 406 \text{ (кВт)}.$$

Витрата водяної пари:

$$G_z = \frac{Q}{c_z \cdot (t_{\text{нз}} - t_{\text{кз}})}, \quad (2.2)$$

де c_z – теплоємність водяної пари, $c_z = 2,2$ кДж/(кг·К) [12];

$t_{\text{кз}}$ – кінцева температура водяної пари.

Для навчальних розрахунків можна використовувати орієнтовне правило, що температура кипіння робочої рідини має бути на 5–6°C нижче середньої температури охолоджуваного теплоносія [13]. Таким чином, за рекомендацією [13] приймаємо $t_{\text{кз}} = 100^\circ\text{C}$.

$$G_z = \frac{406}{2,2 \cdot (112 - 100)} = 15,4 \text{ (кг/с)}.$$

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

Середня різниця температур складе:

$$\Delta t_{cp} = \frac{18-6}{\ln\left(\frac{18}{6}\right)} = 10,9 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де більша різниця температур дорівнює $\Delta t_B = 112 - 94 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$;

менша різниця температур дорівнює $\Delta t_M = 100 - 94 = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Розраховуємо поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{406 \cdot 10^3}{500 \cdot 10,6} = 76,6 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Вибираємо стандартизований теплообмінник з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 1000 \text{ мм}$; довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$; сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$; кількість трубних пучків 1; кількість труб у трубному пучку 132; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Фактична швидкість руху водяної пари у трубах:

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot s_{mp} \cdot n}, \quad (2.3)$$

де ρ_2 – густина водяної пари; при усередненій температурі $\rho_2 = 0,8 \text{ кг/м}^3$;
 n – число ходів по трубах; згідно із прийнятою конструкцією $n = 2$.

$$w_2 = \frac{15,4}{0,8 \cdot 23 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 41,8 \text{ (м/с)}.$$

Враховуючи, що для водяної пари динамічний коефіцієнт в'язкості дорівнює $\mu_2 = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_2 = 2,48 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ і коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія $\beta_2 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$ визначаємо критерії подібності.

За рівнянням (1.14) – критерій Рейнольдса:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$$Re = \frac{41,8 \cdot 0,021 \cdot 0,8}{12,4 \cdot 10^{-6}} = 56632.$$

За рівнянням (1.15) – критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2 \cdot 10^3}{2,48 \cdot 10^{-2}} = 1,1.$$

За чисельним значенням критерію Рейнольдса можемо встановити, що режим руху водяної пари в трубах – турбулентний. Значить, для визначення критерію Нуссельта використовуємо рівняння:

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4};$$

$$Nu_2 = 0,023 \cdot 56632^{0,8} \cdot 1,1^{0,4} = 152.$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{152 \cdot 0,248}{0,021} = 1795 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони бензолу α_x визначаємо з рівняння (1.17), попередньо розрахувавши за рівнянням (1.18) значення безрозмірної функції b :

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{7,5}{800 - 7,5} \right)^{2/3} = 1,08.$$

Для бензолу: $\nu_x = 0,138 \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_x = 0,121 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\sigma_x = 0,019 \text{ Н}/\text{м}$.

$$\alpha = 1,08 \cdot \frac{0,121^2 \cdot 105^2}{0,138 \cdot 0,019 \cdot 94} = 707 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі визначаємо реальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1795} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{707}} = 496 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

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

2.2 Конструктивні розрахунки

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{406 \cdot 10^3}{496 \cdot 10,9} = 75 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Запас поверхні:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100\% ; \quad (2.4)$$

$$\Delta = \frac{82 - 75}{82} \cdot 100\% = 8,5\% .$$

Як бачимо, запас поверхні забезпечується.

Остаточо вибираємо випарник типу ТП з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 1000 \text{ мм}$; довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$; сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$; кількість трубних пучків 1; кількість труб у трубному пучку 132; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} , \quad (2.5)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини/пари відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;
 ρ – густина потоку середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 w – швидкість витікання середовища, $\text{м}/\text{с}$.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [8]: для рідини 0,1–0,5 $\text{м}/\text{с}$ при самопливі і 0,5–2,5 $\text{м}/\text{с}$ в напірних трубопроводах; для пари або газу 5–25 $\text{м}/\text{с}$.

Діаметр патрубку для входу бензолу в апарат:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$d_{x.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3650 / 3600}{3,14 \cdot 800 \cdot 1,5}} = 0,032 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубкa для виходу парів бензолу:

$$d_{x.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3650 / 3600}{3,14 \cdot 7,5 \cdot 20}} = 0,093 \text{ (м)}.$$

Діаметри патрубків для входу і виходу водяної пари:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 15,4}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 25}} = 0,099 \text{ (м)}.$$

За отриманими значеннями приймаємо стандартні патрубкi: для входу бензолу $D_y = 32$ мм; для виходу парів бензолу $D_y = 100$ мм; для входу і виходу водяної пари $D_y = 100$ мм.

2.3 Гідравлічні розрахунки

Головний акцент розрахунку гідравлічного опору здійснюється на інші елементи системи, такі як труби, фітинги, фланці і клапани, які впливають на проходження теплоносія через систему. Враховуючи властивості теплоносія та геометрію цих елементів, можна визначити опір, який необхідно подолати для забезпечення руху теплоносіїв через апарат. Такий розрахунок є важливим для забезпечення ефективності теплообмінного процесу та визначення оптимальних режимів роботи випарника, а також для планування і налагодження оптимальної роботи всієї системи. Правильний розрахунок гідравлічного опору дозволяє забезпечити надійну та безперебійну роботу системи, уникнути надмірного тиску або перепаду тиску, і врешті-решт, забезпечити оптимальний теплообмін та максимальну продуктивність випарника.

У процесі роботи випарника бензол проходить через проміжний простір між зовнішніми трубами, який відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного теплообміну. Незважаючи на це, через низькі швидкості руху теплоносія в цьому

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

проміжному просторі, його гідравлічний опір може бути знехтуваним або вважатися дуже малим.

Розрахунок гідравлічного опору виконуємо у відповідності з методикою, що представлена у джерелі [14].

Повний напір, необхідний для руху рідини або газу через теплообмінник, визначаємо за такою формулою:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_Y + \Sigma \Delta P_G, \quad (2.6)$$

де $\Sigma \Delta P_{TP}$ – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma \Delta P_M$ – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma \Delta P_Y$ – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma \Delta P_G$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в каналах при поздовжньому омиванні пучка труб теплообмінного апарату визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.7)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.8)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труб, мм.

Для сталевих нових труб $\Delta = 0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією $\Delta = 0,1-0,2$ мм.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{56632} \right)^{0,25} = 0,1625.$$

$$\Delta P_{TP} = 0,1625 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{41,8^2 \cdot 0,8}{2} = 32450 \text{ (Па)}.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.9)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$ (вхідна і вихідна камери $\xi_1 = 1,5$, вхід у труби $\xi_2 = 0,5$ і вихід із них $\xi_3 = 1$, поворот на 180° між ходами $\xi_4 = 1,4$ [14]).

$$\xi = 2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,4 = 5,9.$$

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{41,8^2 \cdot 0,8}{2} = 4123 \text{ (Па)}.$$

Оскільки для крапельних рідин втрати тиску ΔP_y мізерно малі, то вони в розрахунок не приймаються ($\Delta P_y = 0$).

Перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини дорівнює нулю ($\Delta P_r = 0$), оскільки випарник не сполучається із навколишнім середовищем.

Повний напір, необхідний для руху середовищ через апарат складе:

$$\Delta P = 32450 + 4123 = 36573 \text{ Па}.$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір збірника для вихідної суміші.

У відповідності до технологічної схеми (див. рис. 1.1), початкова суміш, що поступає на установку для подальшого розділення, попередньо надходить у збірник-сховище C_1 . Із урахуванням початкових даних, бензол, який входить в проєктований випарник, має витрату 3650 кг/год. Таким чином, ми робимо припущення, що загальна продуктивність ректифікаційної установки для початкової суміші становить 7300 кг/год. Щодо об'ємної ємності для зберігання початкової суміші, ми розраховуємо її, враховуючи резерв робочого часу тривалістю 6–8 годин і коефіцієнт заповнення приймаємо $\psi = 0,85$.

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

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.10)$$

де G – загальна витрата суміші, кг/год.;

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

ρ – густина вихідної суміші, $\rho = 800$ кг/м³.

$$V_{EP} = \frac{7300 \cdot 6}{0,85 \cdot 800} = 64,4 \text{ м}^3.$$

Задасмося діаметром ємності $D = 3,2$ м, тоді її висота складе:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.11)$$

$$H = \frac{64,4}{0,785 \cdot 3,2^2} = 8,0 \text{ м.}$$

Розрахунок і вибір насоса для подачі вихідної суміші в колону.

Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймемо однакову швидкість плинину рідини, яка становитиме $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.12)$$

де V – об'ємна витрата вихідної суміші, м³/с.

$$d = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,04 \text{ м.}$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (2.13)$$

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

$$Re = \frac{2 \cdot 0,04 \cdot 800}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 256000,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м.

Тоді:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,04} = 0,005.$$

Далі отримуємо:

$$\frac{1}{e} = 200; 560 \cdot \frac{1}{e} = 112000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 2000;$$

$$Re > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.14)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,005^{0,25} = 0,029.$$

Далі визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнітальної лінії:

- 1) вентилі прямоточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

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

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3;$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.15)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,029 \cdot \frac{8}{0,04} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,73 \text{ м.}$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії:

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,029 \cdot \frac{12}{0,04} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,92 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}, \quad (2.16)$$

$$h_{П.} = 1,73 + 2,92 = 4,65 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{Г.} + h_{П.}, \quad (2.17)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;

$H_{Г.}$ – геометрична висота підйому рідини.

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

$$H = \frac{0,1}{800 \cdot 9,81} + 6 + 4,65 = 10,65 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.18)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса.

$$N_{\Pi} = 800 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10,65 = 209 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвивати електродвигун насоса на вихідному валу при сталому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (2.19)$$

де $\eta_n, \eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{\text{пер}} = 1$.

Отримуємо:

$$N = \frac{209}{1 \cdot 0,6} = 348 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 13-18 з такими параметрами: об'ємна подача насоса $13 \text{ м}^3/\text{год.}$; напір насоса 18 м ; потужність, яку споживає насос, $2,5 \text{ кВт}$; частота обертання 2200 об/хв .

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у [15].

Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,15 МПа.

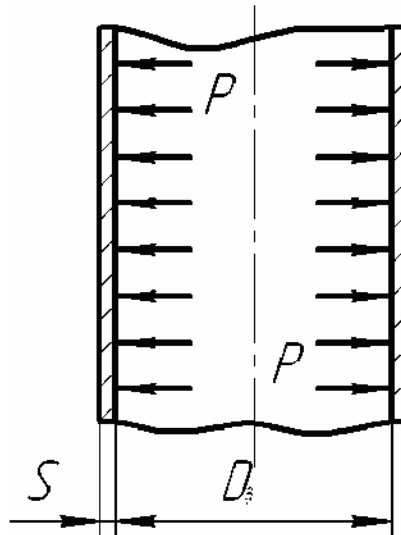


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 16ГС при розрахунковій температурі 100°C: $\sigma^* = 200$ МПа.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.1)$$

де $\eta = 1$ – поправковий коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 200 \cdot 1 = 200 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

де $\sigma_T^{20} = 280$ МПа – межа плинності сталі 16ГС при температурі 20°C.

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 255 \text{ МПа}.$$

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_r, \quad (3.3)$$

де $P = 0,15 \text{ МПа}$ – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

$$P_r = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (3.4)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 800 \cdot 0,6 = 0,005 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,15 + 0,005 = 0,155 \text{ МПа}.$$

Оскільки розрахунковий тиск менше 0,5 МПа, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях визначаємо за рівнянням:

$$P_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ 0,2 \end{array} \right\}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі 16ГС при 20°C.

$$P_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \cdot 0,155 \cdot 196}{200} = 0,23 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,23 \text{ МПа}.$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_p^{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - P_{II}} \end{array} \right\}, \quad (3.6)$$

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

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_p^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,155 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 200 - 0,155} = 0,39 \text{ мм} \\ \frac{0,23 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,23} = 0,45 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,45 \text{ мм} .$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_{ц} \geq S_p^H + c, \quad (3.7)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.8)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Приймаємо, що $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (3.9)$$

де $P = 0,12$ мм/рік – проникність матеріалу;

$\tau = 15$ років – термін роботи апарата.

$$c = c_1 = 0,12 \cdot 15 = 1,8 \text{ мм};$$

$$S_{ц} = 0,45 + 1,8 = 2,25 \text{ мм} .$$

Приймаємо $S_{ц} = 4 \text{ мм}$.

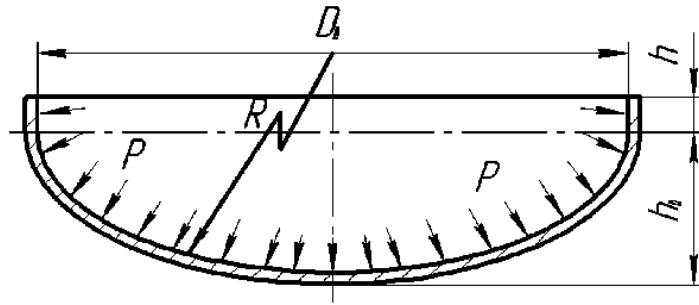


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \end{array} \right\}, \quad (3.10)$$

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,155 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 200 - 0,5 \cdot 0,155} = 0,39 \text{ мм} \\ \frac{0,23 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,5 \cdot 0,23} = 0,45 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,45 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_P^E + c, \quad (3.11)$$

$$S_E = 0,45 + 1,8 = 2,25 \text{ мм}.$$

Також приймаємо $S_E = 4 \text{ мм}$.

3.2 Розрахунок сідлової опори

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де ρ – щільність сталі; $\rho = 7890 \text{ кг/м}^3$.

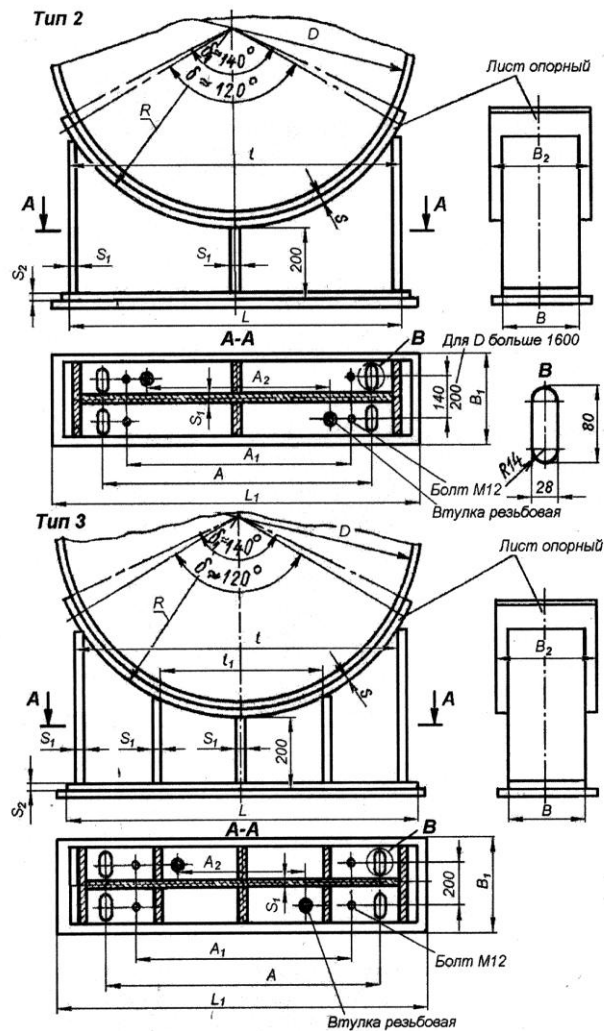


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема стандартизованих сідлових опор

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (1 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7890 = 597 \text{ (кг)}.$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно (згідно [15]):

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho, \quad (3.13)$$

$$m_{\text{Дн}} = 1,24 \cdot 1^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 39 \text{ (кг)};$$

$$m_{\text{Кр}} = 1,24 \cdot 0,6^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 14,1 \text{ (кг)}.$$

Маса труб:

$$m_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho, \quad (3.14)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 132 \cdot 7890 = 903 \text{ (кг)}.$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.15)$$

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця, м;

h_{ϕ} – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,61^2}{4} \cdot 0,06 \cdot 7890 = 138 \text{ (кг)}.$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{mtp} = f_{mtp} \cdot H, \quad (3.16)$$

$$V_{mtp} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi=0,5$ маса бензолу в апараті складе:

$$m_x = V_{mtp} \cdot \rho_x \cdot \varphi, \quad (3.17)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 800 \cdot 0,5 = 480 \text{ (кг)}.$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{эдн}} + m_{\text{экр}} + m_{mp} + m_{\phi} + m_x); \quad (3.18)$$

$$G = 9,81 \cdot (597 + 39 + 14,1 + 903 + 138 + 480) = 21300 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (3.19)$$

$$Q = \frac{21300}{2} = 10650 \text{ (Н)}.$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 400-514-2-П, конструктивні розміри якої (умовні позначення див. рис. 3.3): $D = 1000$ мм; $R = 514$ мм; $S_1 = 8$ мм; $S_2 = 14$ мм; $L = 1000$; $A = 650$ мм; $A_1 = 550$ мм; $A_2 = 400$ мм; $l = 980$ мм; $B = 250$ мм; $L_1 = 1020$ мм; втулка для опори М48; $S = 6$ мм; $B_2 = 360$ мм.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж запроєктованого апарата [16]

Випарник з паровим простором відноситься до категорії кожухотрубчастих теплообмінників, які мають свої особливості в монтажі залежно від місця та способу установки. Ці апарати можуть бути встановлені на відкритих майданчиках, на спеціальних постаментах або всередині будівельних приміщень. Крім того, їх можна монтувати як горизонтально, так і вертикально, залежно від вимог конкретного технологічного процесу та умов розташування. Вибір місця та способу установки випарника залежить від вимог безпеки, доступності для обслуговування та ефективності експлуатації апарату. Рішення щодо цих аспектів монтажу випарника враховується з метою забезпечення безпеки процесу, зручності обслуговування та максимальної ефективності роботи апарату.

Для забезпечення стійкості і надійності монтажу випарника використовуються фундаменти у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. Під час монтажу, встановлюються нерухомі і рухомі опори. Гайки на болтах не закручуються повністю, залишаючи зазор 1–2 мм, щоб апарат міг вільно переміщуватись в горизонтальному напрямку. Під час установки опор, які можуть зміщуватись, перевіряють рівномірність прилягання ковзанок до опорних поверхонь та їх перпендикулярність осі апарата. Горизонтальність випарника перевіряється за допомогою рівнеміра для забезпечення правильної геометричної конфігурації.

Подібний підхід до монтажу випарника забезпечує не лише стабільність та безпеку його експлуатації, але й важливу можливість легкого обслуговування та переміщення апарату при необхідності. Завдяки правильному розташуванню та установці відповідно до вимог безпеки та ефективності, випарник може функціонувати стабільно, уникнути непередбачуваних проблем і забезпечити оптимальні умови роботи. Крім того, легкість доступу до апарату та можливість його переміщення дають зручність під час ремонтних робіт, обслуговування та модернізації. Це дозволяє забезпечити неперервну та ефективну роботу випарника, а також мінімізувати витрати на обслуговування та заміну елементів за необхідності.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

Під час проведення контрольного розбирання або ревізії теплообмінників приділяється особлива увага на оцінку наявності та якості прокладок, що забезпечують надійну герметичність з'єднань. Також проводиться перевірка повноти комплекту знімних деталей, таких як кришки, фланці, затискні пристрої та інші. Важливо переконатись, що всі ці деталі правильно розташовані і встановлені згідно з вимогами та відповідним керівництвом. Це гарантує не лише ефективну роботу теплообмінника, але й запобігає витоку робочих речовин та небажаним втратам енергії. Контрольне розбирання та перевірка деталей забезпечують надійність і безпеку експлуатації, а також дозволяють виявити потенційні проблеми або несправності, що можуть вплинути на ефективність теплообмінного процесу.

Для виявлення дефектів, що можуть виникнути під час розвальцьовування та обварки трубок теплообмінника, застосовуються спеціальні методи. Один з таких методів полягає в спресовуванні трубного пучка, під час якого вода подається в міжтрубний простір, після видалення розподільної камери та кришки. Цей процес дозволяє перевірити наявність дефектів та оглянути корпус теплообмінника.

Під час спресовування трубного пучка водою, фахівці звертають увагу на будь-які ознаки дефектів, такі як незаповненість розвальцьованих трубок або неправильна обварка. Це може включати нерівномірність розвальцьованого краю, недостатнє проникнення заповнювального матеріалу або появу тріщин. Якщо виявлено будь-які дефекти, вони усуваються відповідними методами, щоб забезпечити належну якість з'єднання трубок. Цей процес перевірки і усунення дефектів є важливим етапом виробничого процесу, оскільки дефекти можуть призвести до незадовільної роботи теплообмінника, витоку теплоносія або зменшення ефективності. Тому використання методів, які дозволяють виявити та усунути дефекти, є необхідним для забезпечення надійності та ефективності роботи теплообмінника.

Горизонтальне обладнання встановлюють за допомогою одного або двох спарених кранів, які виконують функцію підйому і переміщення обладнання. Вибір способу підйому та вантажопідйомності кранів залежить від кількох факторів, таких як розмір і маса обладнання, висота і конфігурація фундаменту або постаменту, що служить опорою для обладнання, а також наявність будівельних конструкцій у непосредственній близькості.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

Для важких та габаритних обладнання може використовуватись система з двома спареними кранами, що забезпечує стабільність та більш рівномірне розподілення вантажу під час підйому та переміщення. У разі меншого обладнання або відсутності обмежень у вантажопідйомності та конфігурації фундаменту, може використовуватись один кран.

При виборі кранів враховують також наявність будівельних конструкцій, які знаходяться поруч з обладнанням. Це можуть бути стіни, стелі або інші перешкоди, які можуть обмежувати доступну висоту для підйому. В таких випадках вибирають крани з відповідною висотою підйому та маневреними можливостями, щоб забезпечити безпечне переміщення обладнання у межах обмеженого простору.

Узгоджений вибір кранів для монтажу горизонтального обладнання допомагає забезпечити ефективність, безпеку та точність процесу установки, а також зменшує ризик пошкодження обладнання або оточуючих структур під час підйому та переміщення.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і вимагають підйому на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів. Використання двох кранів дозволяє забезпечити стабільність та безпеку під час підйому важких апаратів.

Монтаж горизонтальних апаратів зазвичай розпочинають з підйому апарата з вихідного горизонтального положення, при цьому апарат не відірваний від землі. Цей підхід дозволяє уникнути перевантаження кранів і мінімізує ризик пошкодження апарату під час монтажу.

Забезпечення сприятливих умов роботи кранів важливо для успішного монтажу горизонтальних апаратів. Це допомагає забезпечити безпеку персоналу, запобігти можливим пошкодженням апарату та забезпечити точність позиціонування під час монтажу. У випадках, коли неможливо встановити один з кранів зовнішньою стороною фундаментів, монтаж апаратів виконується шляхом маневрування стрілою крана. Цей метод дозволяє здійснювати підйом і переміщення апаратів без необхідності встановлення крана на зовнішній стороні фундаменту.

У випадках, коли з різних причин неможливо розташувати крани зовнішньою стороною фундаментів і пройти між фундаментами, використовують такі підходи:

збільшення виліту стріли кранів або переміщення кранів з уже піднятим апаратом в межах їх вантажної характеристики.

Збільшення виліту стріли кранів дозволяє розмістити їх у відповідній позиції для підйому апарату. Це може бути досягнуто за допомогою спеціальних додаткових пристроїв або змінюванням конфігурації крана. Переміщення кранів з піднятим апаратом у межах їх вантажної характеристики використовується в ситуаціях, коли неможливо збільшити виліт стріли кранів або встановити їх зовнішньою стороною фундаментів. Цей метод вимагає додаткових заходів безпеки та уважного контролю під час переміщення кранів разом з вантажем.

4.2 Ремонт запроєктованого апарата [16]

Теплообмінники з трубною системою відрізняються високою надійністю, що дозволяє їм безперебійно працювати протягом тривалого періоду. Однак, необхідно мати на увазі, що регулярне планове технічне обслуговування є необхідним для запобігання виникненню поломок. З плином часу, трубки теплообмінника можуть забруднюватися відкладеннями, що утворюються на їх стінках внаслідок циркуляції теплоносія, і це може перешкоджати нормальному потоку. Щоб уникнути передчасного виходу обладнання з ладу і зберегти його ефективність, регулярно необхідно очищати трубки. Систематичне промивання дозволяє тривалий час зберігати робочі параметри в нормальному стані. Зазвичай, ремонт кожухотрубних теплообмінників стає необхідним лише у випадках значного зносу обладнання.

Виривання трубок з трубних решіток теплообмінника є серйозною поломкою, яка може виникнути у деяких випадках. Ця поломка характеризується відкриттям або вириванням трубок з їхніх місць закріплення у решітках. Внаслідок цього може відбутись порушення герметичності системи і витік теплоносія або інших робочих речовин.

Причинами виривання трубок можуть бути механічні навантаження, наприклад, удари, вібрація або великі тискові навантаження. Також, недостатня міц-

ність закріплення трубок у решітках, відпускання з'єднань або корозія можуть сприяти виникненню цієї поломки.

Виривання трубок є серйозним випадком, оскільки може призвести до зупинки роботи теплообмінника, втрати ефективності його роботи і потреби у ремонті. Швидке виявлення і вирішення проблеми виривання трубок є важливим для підтримання безперебійної роботи теплообмінного обладнання.

Корозія теплообмінних трубок є поширеною поломкою, яка може виникати внаслідок хімічної реакції між матеріалом трубок і оточуючим середовищем. Ця поломка характеризується зниженням міцності та товщини стінок трубок, що може призвести до їх прориву або протікання.

Корозія теплообмінних трубок може бути спричинена різними факторами, такими як хімічні реакції з агресивними речовинами, електрохімічні процеси, вплив вологості, температурний стрес та інші. В результаті цих процесів утворюються корозійні плями, відлущення матеріалу та формування отворів на поверхні трубок.

Характеристика поломки від корозії теплообмінних трубок включає зниження ефективності теплообміну, витік теплоносія або інших робочих речовин, зниження тискостійкості та загрозу безпеки експлуатації. Крім того, корозія може призвести до забруднення трубок та утворення відкладень, що зменшує пропускну здатність теплообмінника і підвищує його опір.

Вчасне виявлення і запобігання корозії теплообмінних трубок є важливими завданнями для забезпечення тривалої та безперебійної роботи системи теплообміну. Регулярне контрольне обстеження, застосування захисних покриттів, а також правильний вибір матеріалів трубок можуть допомогти у запобіганні корозії та збереженні надійності теплообмінника.

Корозія корпусу або розподільної камери теплообмінника є серйозною поломкою, яка може виникати внаслідок хімічних реакцій між матеріалом корпусу або розподільної камери і навколишнім середовищем. Це може бути в результаті взаємодії з агресивними речовинами, електрохімічних процесів, впливу вологості, температурного стресу та інших факторів.

Характеристика поломки від корозії корпусу або розподільної камери теплообмінника включає зниження міцності та інтегритету конструкції, появу корозійних плям, відлущення та прогризання матеріалу, а також можливість протікання теплоносія чи інших робочих речовин. Крім того, корозія може призвести до зниження ефективності теплообміну та загрози безпеки експлуатації.

Запобігання корозії корпусу або розподільної камери теплообмінника є важливим завданням для забезпечення тривалої та надійної роботи системи теплообміну. Це можна досягти шляхом використання відповідних матеріалів, які мають високу стійкість до корозії, застосування захисних покриттів, регулярного контролю стану поверхні та вчасного проведення профілактичного обслуговування та очищення.

Врахування впливу корозії при проектуванні та експлуатації теплообмінника допоможе підтримувати його ефективність, тривалу роботу та забезпечити безпеку процесу.

Засмічення трубок або міжтрубного простору теплообмінника є поширеною проблемою, яка впливає на його ефективність та надійність. Засмічення може виникати внаслідок накопичення відкладень, бруду, іржі, відмерлих організмів, маслянистих речовин, накипу, солей та інших забруднень у трубках або міжтрубному просторі.

Характеристика поломки від засмічення трубок чи міжтрубного простору теплообмінника включає зниження пропускної здатності, підвищений опір теплопередачі, збільшення теплового опору, погіршення робочих параметрів теплообміну, збільшення енергоспоживання та можливість перегріву обладнання. В результаті може виникнути зменшення продуктивності системи теплообміну, погіршення якості обробки теплоносія та вплив на загальну ефективність системи.

Запобігання засміченню трубок чи міжтрубного простору теплообмінника включає регулярне обслуговування, промивання, очищення та догляд. Це можна досягти шляхом використання фільтрів, водоочистних систем, регулярного контролю та очищення трубок, використання відповідних хімічних препаратів для розчинення накипу та забруднень, а також підтримки оптимальних умов експлуатації.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

Правильне управління та попередження засмічення трубок та міжтрубного простору теплообмінника є важливими для забезпечення тривалої та ефективної роботи системи теплообміну.

Утворення вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника є поширеною проблемою, яка може негативно впливати на його функціонування. Накип часто утворюється в результаті накопичення вапняних солей, осадів твердих частинок, мінеральних речовин або інших розчинних забруднень у системі теплоносія.

Характеристика поломки від утворення вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника включає зменшення пропускної здатності, зниження ефективності теплопередачі, збільшення теплового опору та підвищення енергоспоживання. Накип може обмежувати потік теплоносія та призводити до перегріву, а також сприяти корозії поверхонь теплообмінника.

Запобігання утворенню вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника включає регулярне обслуговування, промивання, догляд та використання відповідних методів та хімічних розчинників. Це може включати використання водоочисних систем, додавання інгібіторів накипоутворення, регулярне промивання теплообмінника та очищення поверхонь від відкладень.

Ефективне керування та попередження утворення вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника допоможе забезпечити нормальну роботу системи теплообміну, зберегти його продуктивність та знизити загальні витрати енергії на проведення процесу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

5 Охорона праці

Основні методи пожежогасіння.

Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння [17]

Методи пожежогасіння – це різноманітні стратегії і засоби, які використовуються для загашення пожеж і припинення поширення вогню. Ці методи розроблені з метою ефективного і безпечного припинення горіння, захисту життя людей і майна.

До основних методів пожежогасіння відносять наступне.

Використання води. Вода є найпоширенішим і доступним засобом пожежогасіння. Вона може використовуватись у вигляді струменя, розпиленої води або піни. Вода охолоджує горючий матеріал, поглинає тепло і гасить полум'я.

Використання вогнегасників. Вогнегасники – це портативні пристрої, які містять розчини або гази, що при контакті з вогнем створюють хімічну реакцію, що призводить до гасіння пожежі. Різні типи вогнегасників призначені для гасіння різних видів пожеж, включаючи пожежі, що виникають внаслідок горіння рідин, газів або електроустаткування.

Використання вогнегасних систем. Вогнегасні системи встановлюються в приміщеннях або на об'єктах і призначені для автоматичного гасіння пожежі. Ці системи можуть використовувати воду, піну, гази або хімічні розчини для гасіння пожежі. Вони активуються автоматично за допомогою детекторів пожежі або вручну за допомогою пультів управління.

Використання сухих хімічних порошків. Деякі пожежі можуть бути гаснуті за допомогою сухих хімічних порошків, таких як порошок АВС, який містить амонійний фосфат, бікарбонат натрію та калію. Ці порошки ефективно гасять пожежі, знімаючи кисень з полум'я і перешкоджаючи хімічним реакціям горіння.

Використання піни. Піна є ефективним засобом гасіння пожеж, особливо тих, які пов'язані з горінням рідин, нафтопродуктів або розчинників. Піна створює плівку, яка ізолює горючий матеріал від повітря, тим самим гасячи полум'я та поглинаючи тепло.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

Використання газу. Деякі типи пожеж можуть бути гаснуті за допомогою спеціальних газів, таких як CO₂ (вуглекислий газ) або інертні гази. Ці гази витісняють кисень і пригнічують горіння.

Використання погасителів горіння. Це спеціальні речовини, які застосовуються для пригнічення пожежі шляхом зниження концентрації кисню або інших факторів, що сприяють горінню. Погасителі горіння можуть бути газоподібними (наприклад, аргон, азот) або рідкими (наприклад, галони).

Використання підавалів води. Підавал води – це система, яка постачає велику кількість води під високим тиском на пожежу, що дозволяє швидко гасити вогонь. Цей метод часто використовується для гасіння пожеж у великих промислових спорудах або на відкритих майданчиках.

Використання піротехнічних пристроїв. Піротехнічні пристрої, такі як пожежні стріли або ручні бомби, можуть використовуватися для забезпечення швидкого поширення засобів гасіння або створення контрольованого вогню для гасіння пожежі.

Евакуація та безпека. Основний метод пожежогасіння – це запобігання пожежам шляхом вживання заходів безпеки, включаючи евакуацію людей, повідомлення про пожежу, застосування протипожежного обладнання та навчання персоналу з пожежної безпеки.

Вогнегасні речовини – це спеціальні речовини або суміші, які застосовуються для гасіння пожеж. Вони можуть бути використані в різних системах пожежогасіння, таких як вогнегасники, вогнегасні системи або автоматичні спринклерні системи. Вогнегасні речовини працюють, взаємодіючи з хімічними процесами горіння та знижуючи концентрацію кисню, температуру або енергію, що необхідна для підтримки горіння.

Основні типи вогнегасних речовин включають:

1. Вода є одним з найпоширеніших і найефективніших вогнегасників. Вона охолоджує горючий матеріал, поглинає тепло і пригнічує горіння шляхом перетворення води в пару, що займає багато простору і витісняє кисень.

2. Піна використовується для гасіння рідинних пожеж, особливо нафтопродуктів або розчинників. Вона створює плівку, яка ізолює горючий матеріал від повітря, пригнічує виділення пари і тепла, тим самим гасить пожежу.
3. Сухі хімічні порошки, такі як порошок АВС, містять речовини, які при взаємодії зі згоряючими матеріалами створюють реакцію гасіння. Вони можуть гасити пожежі різних типів, включаючи горіння твердих речовин, рідин і газів.
4. Деякі гази, такі як CO₂ (вуглекислий газ) або інертні гази, використовуються для гасіння пожеж шляхом витіснення кисню з області горіння.
5. Галони (галогеновані вуглеводні) – це вогнегасні речовини, які містять галогени (зазвичай бром або хлор). Вони реагують зі згоряючими матеріалами і утворюють стабільні хімічні сполуки, які пригнічують горіння.
6. Вогнегасний гель – це спеціальна речовина, яка забезпечує гасіння пожежі шляхом формування густої гелеподібної структури, що покриває поверхню горючого матеріалу і запобігає доступу кисню.
7. Аерозольні вогнегасники – це вогнегасники, які випускають вогнегасний матеріал у вигляді аерозольного хмару. Аерозольні вогнегасники мають високу ефективність гасіння і можуть бути використані для різних типів пожеж.
8. Газові пожежні системи. Деякі гази, такі як FM-200 або NOVEC 1230, використовуються в спеціальних газових пожежних системах. Ці системи випускають газ у приміщення, який пригнічує горіння шляхом зниження концентрації кисню і температури.
9. Деякі хімічні розчини, наприклад, амонійний сульфат або моноамонійний фосфат, використовуються як вогнегасні речовини. Вони реагують з горючим матеріалом і пригнічують горіння.

Ці вогнегасні речовини можуть використовуватись окремо або в комбінації для ефективного гасіння пожежі в залежності від типу горючого матеріалу та умов пожежі.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						47
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Засоби пожежогасіння – це спеціальні інструменти, обладнання та матеріали, призначені для припинення та контролю пожежі.

Основні засоби пожежогасіння включають:

1. Вогнегасники. Це портативні пристрої, які містять вогнегасні речовини, призначені для швидкого та ефективного загашування невеликих пожеж. Вогнегасники можуть мати різні типи вогнегасних речовин, такі як порошок, вода, вуглекислий газ, або спеціальні хімічні розчини.
2. Пожежні шланги. Шланги з'єднуються з пожежним гідрантом або іншим джерелом води та використовуються для подачі води до вогню. Пожежні шланги дозволяють пожежникам контролювати і загасити пожежу, направляючи струмінь води на вогневі джерела.
3. Пожежні гідранти. Це стаціонарні системи, які забезпечують постійний доступ до води для пожежогасіння. Пожежні гідранти зазвичай розташовані на вулицях та в будівлях і можуть бути використані для підключення пожежних шлангів та подачі води до пожежі.
4. Пожежні спрінклерні системи. Це автоматичні системи, які монтується на стелях або стінах будівель і вміщують спрінклерні головки. Коли спрінклер виявляє підвищену температуру або пожежу, він автоматично активується та розпилює воду або іншу вогнегасну речовину, щоб пригнічити або загасити пожежу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

12. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

13. Дячек П.И. Холодильные машины и установки: Учебное пособие / П.И. Дячек. – Ростов на Дону : Феникс, 2007. – 424 с.

14. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

15. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

16. 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.

17. Рогач І.М. Охорона праці в лікувально-профілактичних та санаторних закладах : Навчально-методичний посібник / І.М. Рогач, Р.І. Шніцер, С.П. Козодаєв. – Ужгород : Ужгородський національний університет, 2011. – 38 с.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50