

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Тема роботи: Виробництво бензолу. Розробити
кожухотрубний теплообмінник для випаровування бензолу

Виконав:
студент групи ХМз – 81с
Касьянов Денис Михайлович

підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК
з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

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 – 81с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Касьянову Денису Михайловичу

1 Тема проекту: Виробництво бензолу. Розробити кожухотрубний теплообмінник для випаровування бензолу

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу у кількості 2900 кг/год. під тиском 1,25 ат. У якості гарячого теплоносія використовується насичена водяна пара під абсолютним тиском 1,4 ат.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Виробництво бензолу</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарата</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальні креслення 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.; 2. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 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 2021 р.

Керівник

підпис

доцент Юхименко М.П.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва бензолу	7
1.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	19
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	23
2.1 Технологічні розрахунки	23
2.2 Конструктивні розрахунки	20
2.3 Гідравлічний опір апарата	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	29
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	34
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	34
3.2 Розрахунок опори апарата	37
4 Монтаж та ремонт апарата	41
4.1 Монтаж розробленого апарата	41
4.2 Ремонт апарата	42
5 Охорона праці	45
Список літератури	50
Додаток – Специфікації до графічної частини	

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Касьянов			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Юхименко				4	51
Реценз.					СумДУ, ХМз – 81с		
Н. Контр.							
Затверд.		Склябінський					
Кожухотрубний теплообмінник							
Пояснювальна записка							

Вступ

Теплообмінниками називаються апарати, у яких відбувається теплообмін між робочими середовищами незалежно від їхнього технологічного чи енергетичного призначення (підігрівачі, випарні апарати, конденсатори, пастеризатори, випарники, деаератори, економайзери). Технологічне призначення теплообмінників різноманітне. Зазвичай різняться власне теплообмінники, у яких передача тепла є основним процесом, і реактори, у яких тепловий процес грає допоміжну роль [1].

У хімічних виробництвах до 70 % теплообмінних апаратів застосовують для середовищ рідина – рідина та пара – рідина при тиску до 1 МПа та температурі до 200°C. Для зазначених умов розроблено та серійно виготовлено теплообмінні апарати загального призначення кожухотрубного та спірального типів [1].

Перевагою кожухотрубного випарника є можливість отримання значної поверхні теплообміну при порівняно невеликих габаритах та добре освоєність; недоліком – більша витрата матеріалу, порівняно із деякими сучасними типами теплообмінних апаратів (спіральними, пластинчастими теплообмінниками). За оцінками експертів виготовлення трубчастих теплообмінників витрачається близько третини всього металу, споживаного машинобудуванням [2].

Тому розробка методів інтенсифікації теплообміну, що сприяють зниженню маси теплообмінників, економії матеріалів, є актуальною проблемою, якою займаються фахівці багатьох країн. Одним із найпростіших та ефективніших шляхів інтенсифікації теплообміну є зміна форми та режиму руху теплоносія.

Стандартом регламентоване виготовлення апаратів двох різновидів: з конічним або еліптичним днищем та компенсацією температурних подовжень застосуванням U-подібних трубок; з конічним або еліптичним днищем та компенсацією температурних подовжень застосуванням плаваючої голівки [2].

Кожухотрубні горизонтальні випарники із плаваючою голівкою типу ВП виготовляють із діаметром корпусу 800–1600 мм при одному трубному пучку із площею поверхні теплообміну 38–170 м², при застосуванні двох або трьох трубних пучків діаметр корпусу становить 2400–2800 мм, загальна площа поверхні теплообміну становить 192–340 м². Для випаровування технологічних середовищ під тиском 1–2,5 МПа, що працюють у діапазоні температур мінус 40–60°C, у хо-

					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>		

лодильних установках загальнопромислового призначення застосовують кожухотрубні горизонтальні випарники типу ВТ-11. У них об'єм парового простору значно зменшений, але передбачений сухопарник, який відокремлює краплі рідини та виключає попадання їх в усмоктувальну лінію компресора. Такі випарники виготовляють із діаметром корпусу 400–2000 мм при довжині труб 3000–6000 мм, числі ходів у трубному просторі 2–8 [2].

У даній кваліфікаційній роботі проектуємо випарник із плаваючою голівкою (типу ВП) для випаровування бензолу. Загалом кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва бензолу

Принципова схема ректифікаційної установки виробництва бензолу приведена на рис. 1.1.

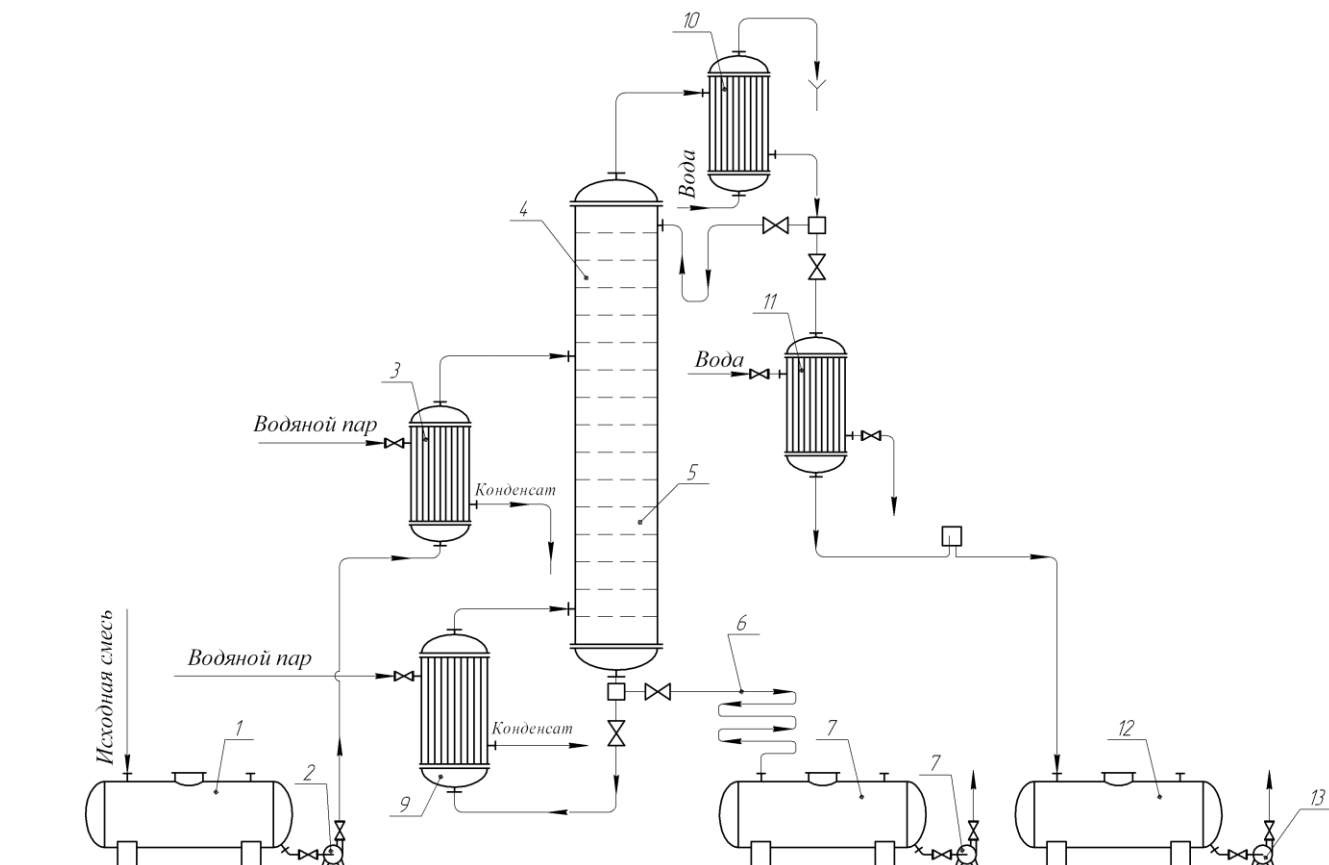


Рисунок 1.1 – Принципова схема виробництва бензолу: 1, 7, 12 – збірники; 2, 8, 13 – відцентрові насоси; 3 – підігрівач вихідної суміші; 4, 5 – верхня і нижня частини ректифікаційної колони; 6, 11 – холодильники; 9 – випарник; 10 – дефлегматор

Вихідний розчин зі збірника 1 за допомогою відцентрового насосу 2 подається в теплообмінник 3, де підігрівається до температури кипіння потоком гріючої пари, що конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника. Нагрітий розчин надходить на тарілку живлення ректифікаційної колони, яка складається із верхньої 4 (зміцнюючої) частини і нижньої 5 (вичерпної) частини. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної суміші. У результаті поділу суміші з нижньої частини колони відводиться кубовий залишок (у нашому випадку – це бензол), який охолоджується водою в теплообміннику 6 і відводиться у збірник

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

7, звідки насосом 8 відкачується споживачеві. Частина кубового залишку відбирається з нижньої частини колони і виходить у випарник 9, у якому за рахунок тепла насиченої водяної пари, що подається в трубний простір апарата, відбувається вскипання кубової рідини і утворення пари високо киплячого компонента (ВКК). Останній повертається у колону, під нижню її тарілку, у якості парового зрошення. Таким чином, у нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес відгону (вичерпання) ВКК зі стікаючого вниз рідкого розчину.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення (зміцнення) пари низько киплячим компонентом (НКК) за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху вниз флегмою. Пара, яка відводиться з верхньої частини колони, надходить у дефлегматор 10, де конденсуються в міжтрубному просторі теплообмінника за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення верхньої її частини. Інша частина (дистиллят) додатково охолоджується в холодильнику 11 і направляється в збірник 12 у якості готового продукту з високою концентрацією НКК.

1.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів

Теоретичні основи процесу теплообміну, які представлені у даному підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [4–8].

Перенесення тепла, що відбувається між тілами з різною температурою, називається теплообміном. Тепло мимовільно переходить від більш нагрітого до менш нагрітого тіла. Тіла, що у теплообміні, називаються теплоносіями. Теплоносії з вищою температурою називаються гарячими (вони віддають тепло), і з нижчою – холодними (вони сприймають тепло).

Теплообмінними апаратами, або теплообмінниками, називаються апарати передачі тепла від більш нагрітого теплоносія до іншого, менш нагрітому.

Теплообмінники як самостійні агрегати або частини інших апаратів та пристроїв широко застосовуються на хімічних підприємствах, тому що проведення технологічних процесів здебільшого супроводжується виділенням чи поглинанням тепла.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Процес теплообміну може проводитися для різних цілей – нагрівання або охолодження; теплоносіями можуть бути рідини, гази або тверді сипкі матеріали; процес теплообміну може супроводжуватися зміною агрегатного стану одного або обох теплоносіїв або проводитись без цієї зміни.

За принципом дії розрізняють:

– *рекуперативні теплообмінники* (теплопередача відбувається через стінку, що розділяє обидва теплоносія);

– *регенеративні теплообмінники* (тепло більш нагрітого теплоносія віддається твердому тілу – насадці, а потім менш нагрітій теплоносій, омиваючи насадку, охолоджує її, сам при цьому нагріваючись);

– *змішувальні теплообмінники* (обмін тепла між теплоносіями відбувається при їх безпосередньому зіткненні між собою).

Перші два види теплообмінників називаються поверхневими через те, що у цих теплообмінниках поверхня теплообміну геометрично визначна. У змішувальних теплообмінниках існує фізична поверхня теплообміну, але її геометрично визначити неможливо.

Різноманітність у призначенні теплообмінників, умов, у яких вони працюють, властивостей теплоносіїв, матеріалів, з яких виготовлені теплообмінники є причиною існування безлічі різних конструкцій..

Рекуперативні теплообмінники класифікуються за такими ознаками:

– за призначенням (холодильники, нагрівачі, конденсатори, випарники, реактори та теплообмінники, вбудовані в апарати);

– по току теплоносіїв (прямоточні, протиточні та змішаного току);

– за конструкційним матеріалом (металеві та неметалеві);

– за конструкцією та формою поверхні (теплообмінники з поверхнею, зробленою із труб та теплообмінники з поверхнею, зробленою з листа);

– за способом компенсації температурних подовжень (без компенсації або жорсткої конструкції, з компенсацією пружним елементом, компенсацією за рахунок вільних переміщень).

На вибір типу та конструкції теплообмінника, а також на схему його включення впливають такі причини:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- кількість переданого тепла;
- термодинамічні параметри (температури, тиски, обсяги та агрегатні стани теплоносіїв);
- фізико-хімічні властивості (щільність, в'язкість тощо);
- агресивність теплоносіїв до конструкційного матеріалу;
- ступінь забрудненості теплоносія та характер відкладень;
- властивості конструкційного матеріалу;
- призначення апарату та процеси, які у ньому протікають;
- напруги, що виникають як в результаті дії тиску теплоносіїв, так і різниці теплових подовжень різних частин теплообмінника і статичний напір, що викликаний теплоносієм.

Кількість тепла, що передається, є основою для визначення величини поверхні теплообміну. Воно дає конструктору непрямую вказівку та на вибір конструкції теплообмінника (наприклад, простий змійовик або кожухотрубний теплообмінник).

Термодинамічні параметри та фізико-хімічні властивості впливають на величину коефіцієнта теплоотдачі α і коефіцієнта теплопередачі K і, відповідно, на величину і форму поверхні теплообміну.

Термодинамічні параметри та фізико-хімічні властивості впливають на величину коефіцієнта тепловіддачі α та коефіцієнта теплопередачі K і, отже, на величину та форму поверхні теплообміну.

Коефіцієнт теплопередачі вимірює кількість тепла, що передається від одного тіла до іншого в одиницю часу через одиницю поверхні при різниці температур між теплоносіями 1°C .

Температури теплоносіїв визначають середню різницю температур Δt_{cp} та поверхню теплообміну F , а також вибір току теплоносіїв.

Об'єми теплоносіїв визначають перерізи каналів теплообмінника, викликаючи застосування одно- або багатоходових конструкцій. Агресивність теплоносіїв вимагає застосування тих чи інших конструкційних матеріалів, які визначають форму та конструкцію теплообмінника. Забрудненість теплоносіїв викликає за-

стосування заходів, що перешкоджають відкладенню осаду, та вибір конструкції, що полегшує чищення забруднених поверхонь.

Призначення апарату може спричинити появу додаткових пристроїв, наприклад мішалок для інтенсифікації тепло- та масообміну, сепараційних пристроїв у випарних апаратах тощо.

Допустима величина механічних напруг визначає необхідність температурної компенсації та конструкцію компенсуючого пристрою.

Основні співвідношення для теплообмінників.

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

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

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.

Для теплообмінників, у яких нагрівання відбувається паром, можна вважати, що $t_{\text{п}} = t_{\text{к}}$ і $t_{\text{ж}} = t_{\text{п}}$.

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

Тоді (як це часто вважають)

$$\Delta i = \tau . \quad (1.5)$$

Визначення поверхні теплообмінника проводиться за основним рівнянням теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K} , \quad (1.6)$$

де F – поверхня теплообміну, m^2 ;

Δt_{cp} – середня різниця температур, K ;

K – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

Температурний напір Δt_{cp} є рушійною силою будь-якого теплообміну і залежить від схеми руху теплоносіїв та збереження або зміни їхнього агрегатного стану. При зміні агрегатного стану обох теплоносіїв

$$\Delta t_{cp} = t_{конд} - t_{кип} , \quad K . \quad (1.7)$$

Якщо хоча б один із теплоносіїв не змінює свого агрегатного стану, то різниця температур при протіканні його вздовж стінки, що розділяє теплоносії, змінюватиметься. У таких випадках температурним тиском є середня різниця температур.

Для протитечії, паралельного току, а також у разі перебігу теплоносія вздовж стінки, що розділяє, одна сторона якої омивається теплоносієм, що зберігає постійну температуру в результаті зміни його агрегатного стану, температурним напором є середня логарифмічна різниця температур

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} , \quad (1.8)$$

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

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

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

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} . \quad (1.9)$$

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

Середня різниця температур при протитечії більше, ніж при паралельному тоці. Отже, поверхня теплопередачі, необхідна передачі заданої кількості тепла, виходить найменшою у разі протитечії. Крім того, при паралельному тоці кінцева температура теплоносія, що гріє, повинна бути обов'язково вище кінцевої температури теплоносія, що нагрівається. При протитечії кінцева температура теплоносія, що гріє, може бути і нижче кінцевої температури нагрівального теплоносія, завдяки чому в протиточних теплообмінниках вище ступінь рекуперації тепла. Із погляду економіки протиточні теплообмінники вигідніші, що пояснює їхнє переважне застосування. Застосування протитечії можуть завадити або більш важкі температурні умови роботи металу теплообмінної поверхні з боку входу гарячого теплоносія, або технологічні міркування, наприклад, небажання піддавати нагріванню 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_r , тобто

$$\Delta t'_{cp} = \varepsilon_r \cdot \Delta t_{cp}, \quad (1.10)$$

де ε_r – поправочний коефіцієнт.

Наступне завдання полягає у визначенні коефіцієнта теплопередачі. Для плоскої стінки коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \frac{s}{\lambda}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (1.11)$$

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, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Коефіцієнт тепловіддачі вимірює тепловий потік, яким обмінюються через одиницю поверхні рідина або газ та стінка при різниці температур між ними 1°C .

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

Коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки вимірює кількість тепла, що поширюється протягом 1 секунди в тілі від однієї поверхні площею 1 м^2 до іншої такої ж поверхні при товщині стінки 1 м і при різниці температур на поверхнях 1°C . Величина коефіцієнта теплопровідності залежить від природи речовини стінки (цегла, метал тощо), його структури та інших властивостей і практично не залежить від температури.

Більшість стінок доводиться розглядати як багатошарові, тому що вони під час роботи поступово покриваються шарами накипу, мулу, мастила або іржі. Забруднюючі матеріали мають малу теплопровідність, в десятки і сотні разів меншу, ніж теплопровідність металів. Термічний опір цих шарів, навіть при їх малій товщині, може набагато перевищити термічний опір самої металевої стінки.

Термічний опір багатошарової стінки дорівнює сумі опорів всіх шарів, тобто

$$\Sigma \frac{s}{\lambda} = \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots \quad (1.12)$$

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.

Завжди потрібно прагнути вибором технологічного режиму чи відповідних швидкостей теплоносіїв зменшувати швидкість наростання забруднюючих шарів. Небажано охолоджувальну воду виводити з теплообмінників із температурою вище $45\text{--}50^\circ\text{C}$, тому що при цих температурах починається виділення накипу. Швидкість охолоджуючої води, особливо, якщо вона береться прямо з річки і несе в собі багато завислих частинок, не рекомендується брати нижче 0,5 м/с, інакше поверхня незабаром заросте мулом.

При проектуванні та експлуатації теплообмінників доводиться вирішувати питання, пов'язані з розробкою ефективних теплообмінників, що мають високі *питомі теплові навантаження* $q = Q / F$, або зі збільшенням q . У таких випадках Q або F задані, середня різниця температур чи задана, чи може змінюватися дуже незначно. Тоді єдиною змінною величиною залишається коефіцієнт теплопередачі K

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda}} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (1.13)$$

Термічний опір тонких стінок з металів, що мають велику теплопровідність, є малим. Вважаючи $\frac{s}{\lambda} = 0$, отримаємо

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (1.14)$$

Ця спрощена формула для визначення K зручна для грубих розрахунків.

Із формули випливає, що K завжди менше найменшого коефіцієнтів тепловіддачі і в межі прагне до нього.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Якщо } \alpha_1 < \alpha_2, \text{ то } K < \alpha_1. \\ \text{Якщо } \alpha_1 \rightarrow \infty, \text{ то } K \rightarrow \alpha_1. \\ \text{Якщо } \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \text{ то } K = \frac{\alpha}{2}. \end{array} \right\} \quad (1.15)$$

Таким чином, розробляючи конструкцію або вживаючи заходів по інтенсифікації діючих теплообмінників, є сенс прагнути збільшити коефіцієнт тепловіддачі тільки з боку поверхні, з якої він малий. Прагнути поліпшити теплообмін шляхом збільшення обох коефіцієнтів теплообміну слід лише за $\alpha_1 \approx \alpha_2$.

Термічний опір стінки знижує K . Вплив термічного опору невеликий тільки в тих випадках, коли $\frac{s}{\lambda}$ є малим у порівнянні з $\frac{1}{\alpha_1}$ і $\frac{1}{\alpha_2}$. Може статися, що α_1 і α_2 є великими, скажімо при кипінні та конденсації, а труби зроблені з матеріалу з порівняно невеликою теплопровідністю, наприклад, з хромонікелієвої сталі ($\lambda=12$ Вт/(м²·К)), або з пластичної маси, або зроблені товстостінними. Тоді основним опором, що обмежує величину теплового навантаження, виявиться термічний опір стінки, і їм у жодному разі знехтувати вже не можна.

Після того як Q , K і Δt_{cp} знайдені, за основним рівнянням теплопередачі визначають поверхню теплообміну, яка для труби або трубного пучка дорівнюватиме

$$F = \pi \cdot d_p \cdot n \cdot l = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad \text{м}^2, \quad (1.16)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

де l – довжина трубок, м;

n – число трубок;

d_p – розрахунковий діаметр трубок, м.

Залежно від умов теплообміну поверхню визначають або за внутрішнім, зовнішнім, або по середньому діаметру трубок. Оскільки величина K визначається значенням меншого коефіцієнтів тепловіддачі α , то розрахунковий діаметр d_p беруть по той бік труби, з якої коефіцієнт тепловіддачі менший. При приблизно рівних коефіцієнтах тепловіддачі приймають у якості розрахункового середній діаметр, тобто

$$\left. \begin{array}{l} \text{якщо } \alpha_e < \alpha_n, \text{ то } d_p = d_e; \\ \text{якщо } \alpha_e > \alpha_n, \text{ то } d_p = d_n; \\ \text{якщо } \alpha_e \approx \alpha_n, \text{ то } d_p = \frac{d_e + d_n}{2}; \end{array} \right\} \quad (1.17)$$

Під час визначення коефіцієнтів теплопередачі іноді доводиться задаватися температурою стінки. Після визначення K цю температуру необхідно перевірити розрахунком. Якщо отримана температура помітно відрізняється від прийнятої, слід знову поставити температуру стінки і знову провести перевірку, доки не буде досягнуто задовільного збігу прийнятої та отриманої температури.

Температура стінки завжди буває ближче до температури теплоносія з великим коефіцієнтом α . Вона дорівнює середньої арифметичної тільки в порівняно рідкісних випадках, коли обидва коефіцієнти тепловіддачі приблизно рівні.

Температура стінки з боку теплоносія, що гріє

$$t_r = T - \frac{K}{\alpha_r} \cdot \Delta t_{cp} = T - \frac{q}{\alpha_r} \quad (1.18)$$

Температура стінки з боку холоднішого теплоносія, що нагрівається

$$t_x = t + \frac{K}{\alpha_x} \cdot \Delta t_{cp} = t + \frac{q}{\alpha_x} \quad (1.19)$$

де T – середня температура теплоносія, що гріє, К;

t – середня температура теплоносія, що нагрівається, К;

α_r, α_x – коефіцієнти тепловіддачі з боку гарячого та холоднішого теплоносіїв, Вт/(м²·К).

З цих рівнянь випливає, що зниження відведення тепла призводить до підвищення температур стінки та зменшення різниці між температурами обох сторін стінок.

Середня температура стінки

$$t_{cp} = \frac{t_x + t_r}{2}. \quad (1.20)$$

Визначення температури стінки апаратів необхідне для призначення допустимих напруг, з'ясування температурних подовжень, в оцінці температурних напруг, оцінці швидкості корозії та у багатьох інших випадках.

Зі сказаного ясна важливість по можливості точного визначення α_g і α_n для проектування ефективних теплообмінників.

Основні критерії подібності, які застосовуються у розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [5].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}; \quad (1.21)$$

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}; \quad (1.22)$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}; \quad (1.23)$$

Критерій Грасгофа характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}. \quad (1.24)$$

У рівняннях (1.21)–(1.24) наступні позначення: α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); λ – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К); μ – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с; c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К); ρ – густина теплоно-

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

сія, кг/м^3 ; β – коефіцієнт об’ємного розширення теплоносія, $1/\text{К}$; w – швидкість теплоносія, м/с ; l – визначальний геометричний розмір, м ; g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ; $\Delta\theta$ – частковий температурний напір (різниця між температурою гарячого теплоносія і температурою стінки або між температурою стінки і температурою холодного теплоносія), К .

Під час вимушеної конвекції теплоносії рухаються уздовж поверхні теплообміну з певною швидкістю під дією зовнішньої сили, наприклад, сили тяжіння або сили тиску, що розвивається насосом, компресором або вентилятором.

Критерії Re , Pr і Gr є визначеними, а критерій Nu – невизначеним (тобто залежить від інших критеріїв подібності).

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах рекомендуються [5] наступні критеріальні рівняння:

$$\text{– для ламінарного режиму} \quad Nu_2 = 0,74 \cdot (Re_2 \cdot Pr_2)^{0,2} \cdot (Gr_2 \cdot Pr_2)^{0,1}; \quad (1.25)$$

$$\text{– для перехідного режиму} \quad Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,9} \cdot Pr_2^{0,43}; \quad (1.26)$$

$$\text{– для турбулентного режиму} \quad Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4}. \quad (1.27)$$

У рівняннях (1.25)–(1.27) визначальним лінійним розміром є внутрішній діаметр труб $d_{\text{вн}}$, а визначальною температурою є середня температура гарячого теплоносія t_2 .

Рівняння тепловіддачі при кипінні рідин істотно розрізняються в залежності від виду термомеханічного режиму цього енергоємного гетерогенного процесу, що супроводжується фазовим перетворенням. У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі α можна виразити без прямого звернення до методів статистики через узагальнений критерій Нуссельта Nu^* і за допомогою модифікованого критерію Рейнольдса Re^* і критерію Прандтля Pr [8]:

$$Nu^* = C \cdot Re^{*n_1} \cdot Pr^{n_2}, \quad (1.28)$$

де C , n_1 , n_2 – постійні.

Також в умовах як вільного, так і вимушеного руху теплоносія можна вико-

ристовувати перетворене рівняння (1.28), якому надають спрощений вигляд – більш зручний для визначення усередненого значення коефіцієнта тепловіддачі α через рушійну силу процесу $\Delta T_{кин}$ [8]:

$$\alpha = b^3 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (\Delta T_{кин})^2}{\nu \cdot \sigma \cdot |T_{кин}|} \quad (1.29)$$

Чисельне значення безрозмірною функції b , визначаємо з рівняння [8]:

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{\rho_{II}}{\rho_P - \rho_{II}} \right)^{2/3}, \quad (1.30)$$

де ρ_P, ρ_{II} – відповідно густини рідини і пари, кг/м³.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

Загальний вигляд проектованого апарату (випарник з паровим простором типу ТП) представлений на рис. 1.2.

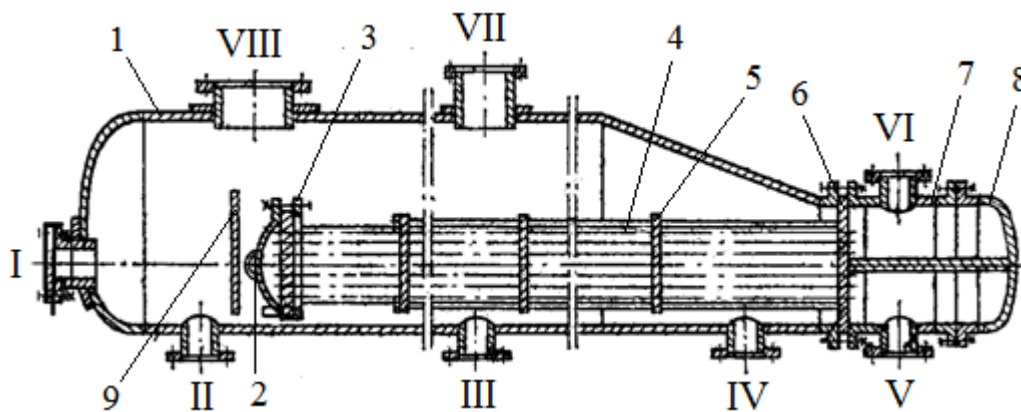


Рисунок 1.2 – Схема випарника з паровим простором типу ТП (виконання 1):

I – для монтажу пучка; II – вихід залишку продукту; III – дренаж; IV – вхід бензолу; V – вихід водяної пари (конденсату); VI – вхід водяної пари; VII – вихід парів бензолу; VIII – люк; 1 – кожух; 2 – плаваюча головка; 3 – рухома трубна решітка; 4 – теплообмінна труба; 5 – перегородка; 6 – нерухома трубна решітка; 7 – розподільна камера; 8 – кришка розподільчої камери

Принцип роботи випарника полягає в наступному. Через патрубок IV при температурі кипіння під абсолютним тиском 1,25 ат у міжтрубний простір випарника подається холодний теплоносій – бензол. При цьому через патрубок VI в розподільну камеру 7 надходить гарячий теплоносій – насичена водяна пара, яка при тиску 1,4 ат має температуру 109°C). За допомогою теплопередачі через стінку теплообмінних труб 4, відбувається активне випаровування бензолу. Відпрацьований водяна пара виводиться з апарату через патрубок V.

Утворені в результаті випаровування пари бензолу залишають апарат за допомогою патрубка VII. Рівень рідини у випарнику підтримується за допомогою переливної планки 9. Рідина, яка перевищила встановлений планкою рівень, виводиться за межі апарату за допомогою патрубка II. Перегородка 5 надає теплообмінним трубам жорсткість, запобігаючи їх провисанню. Також для монтажних і ремонтних робіт в апараті передбачені люк VIII і спеціальний патрубок I.

Вибір конструкційних матеріалів для виготовлення апарату проводився на підставі [9, 10]. Вибір матеріалу диктується в основному його корозійною стійкістю і теплопровідністю, причому конструкція теплообмінного апарату істотно залежить від властивостей вибраного матеріалу.

Матеріали для виготовлення кожухотрубного випарника з паровим простором вибираємо відповідно до специфіки його експлуатації, при цьому враховуємо можливу зміну вихідних фізико-хімічних властивостей матеріалів під впливом робочого середовища, температури і хіміко-технологічного процесу, що протікає.

Також слід враховувати: механічні властивості матеріалу – межа міцності, відносне подовження, твердість тощо; технологічність виготовлення (особливо зварюваність); хімічну стійкість проти роз’їдання; теплопровідність.

Вибір конструктивного матеріалу робимо, виходячи із його низької вартості і не дефіцитності, але щоб можна було забезпечити ефективну технологічність виготовлення.

Таким чином, на підставі вищезазначеного, для виготовлення корпусу, фланців, розподільних камер, а також деталей, які працюють під тиском раціонально використовувати сталь 16ГС. Фізико-механічні властивості сталі 16ГС приведені в табл. 1.1.

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

Таблиця 1.1 – Основні 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

Для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, крипіжних деталей (болти, гайки, шпильки), панелей, кронштейнів, ребер жорсткості і т. ін. використовуємо сталь 20. Фізико-механічні властивості сталі 20 приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні 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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

21

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апарата використовуємо пароніт – листовий прокладковий матеріал, що виготовляється пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

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

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок починається із визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв, а саме: щільності, динамічної в'язкості, теплоємності і теплопровідності [6, 7]. Отже, згідно вихідних даних, бензол надходить у випарник вже у киплячому стані (температура кипіння при абсолютному тиску 1,25 ат становить 89°C [7]).

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, $r_x = 398 \cdot 10^3$ Дж/кг [12].

$$Q = Q_{\text{исп}} = \frac{2900}{3600} \cdot 398 = 320 \text{ (кВт)}.$$

Витрата гарячого теплоносія (водяної пари):

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{\text{н2}} - t_{\text{к2}})}, \quad (2.2)$$

де c_2 – теплоємність водяної пари, $c_2 = 2,17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) [12];

$t_{\text{к2}}$ – кінцева температура водяної пари.

Для наближених (навчальних) розрахунків орієнтовно приймають, що температура кипіння робочого тіла повинна бути на $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$ нижче середньої температури охолоджуваного теплоносія [13].

Таким чином, температура кипіння робочої речовини ректифікаційної установки фактично визначає тиск, при якому випаровується робоча речовина.

Отже, за рекомендацією [13] приймаємо $t_{\text{к2}} = 95^{\circ}\text{C}$.

$$G_2 = \frac{320}{2,17 \cdot (109 - 95)} = 10,5 \text{ (кг/с)}.$$

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

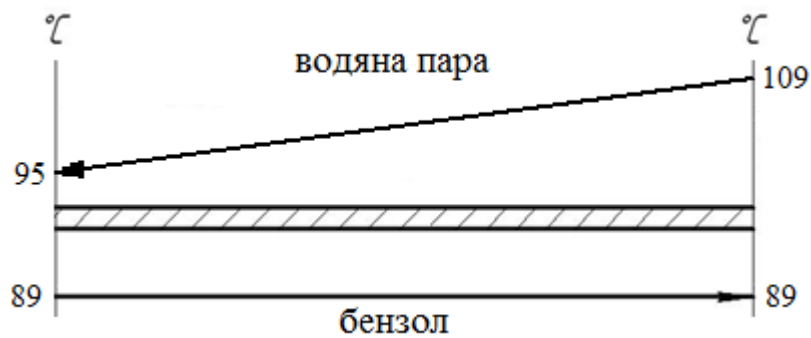


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу випаровування бензолу

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{20 - 6}{\ln\left(\frac{20}{6}\right)} = 12^\circ\text{C},$$

де більша різниця температур дорівнює $\Delta t_B = 109 - 89 = 20^\circ\text{C}$;

менша різниця температур дорівнює $\Delta t_M = 95 - 89 = 6^\circ\text{C}$.

Розраховуємо поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{320 \cdot 10^3}{450 \cdot 12} = 59 (\text{м}^2).$$

Вибираємо стандартизований теплообмінник з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 62 \text{ м}^2$; 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:

$$w_z = \frac{G_z}{\rho_z \cdot s_{mp} \cdot n}, \quad (2.3)$$

де ρ_z – густина водяної пари; при усередненій температурі $\rho_z = 0,82 \text{ кг/м}^3$;
 n – число ходів по трубах; згідно із прийнятою конструкцією $n = 2$.

$$w_z = \frac{10,5}{0,82 \cdot 23 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 27,8 (\text{м/с}).$$

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

– за рівнянням (1.22) – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{27,8 \cdot 0,021 \cdot 0,82}{12,4 \cdot 10^{-6}} = 38657.$$

– за рівнянням (1.23) – критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2,17 \cdot 10^3}{2,48 \cdot 10^{-2}} = 1,085.$$

За чисельним значенням критерію Рейнольдса можемо встановити, що режим руху водяної пари в трубах – турбулентний. Значить, для визначення критерію Нуссельта використовуємо рівняння (1.27):

$$Nu_2 = 0,023 \cdot 38657^{0,8} \cdot 1,085^{0,4} = 131.$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{131 \cdot 0,248}{0,021} = 1547 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони бензолу α_x визначаємо з рівняння (1.29), попередньо розрахувавши за рівнянням (1.30) значення безрозмірної функції b :

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{6,8}{800 - 6,8} \right)^{2/3} = 1,06.$$

Для бензолу: $\nu_x = 0,138$ м²/с, $\lambda_x = 0,121$ Вт/(м·К), $\sigma_x = 0,019$ Н/м.

$$\alpha = 1,06 \cdot \frac{0,121^2 \cdot 99^2}{0,138 \cdot 0,019 \cdot 89} = 652 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

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

Далі визначаємо реальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1547} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{652}} = 449,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{320 \cdot 10^3}{449,8 \cdot 12} = 59 (\text{м}^2).$$

Запас поверхні:

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

$$\Delta = \frac{62 - 59}{62} \cdot 100\% = 5\% .$$

Як бачимо, запас поверхні забезпечується.

Остаточо вибираємо випарник типу ТП з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 62 \text{ м}^2$; 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, $\text{м}/\text{с}$.

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

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

Діаметр патрубку IV (рис. 1.2) для входу бензолу в апарат:

$$d_{x.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2900 / 3600}{3,14 \cdot 800 \cdot 1,3}} = 0,0316(\text{м}).$$

Діаметр патрубку VII (рис. 1.2) для виходу парів бензолу:

$$d_{x.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2900 / 3600}{3,14 \cdot 6,8 \cdot 15}} = 0,100(\text{м}).$$

Діаметр патрубку VI (рис. 1.2) для входу водяної пари:

$$d_{z.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,5}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 20}} = 0,098(\text{м}).$$

Діаметр патрубку V (рис. 1.2) для виходу водяної пари:

$$d_{z.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,5}{3,14 \cdot 0,85 \cdot 20}} = 0,096(\text{м}).$$

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

2.3 Гідравлічний опір апарата

Розрахунок гідравлічного опору випарника визначає кількість енергії, витраченої на рух теплоносіїв через апарат. Гідравлічний опір міжтрубного простору не визначаємо, оскільки, враховуючи невеликі швидкості теплоносія, його значення дуже маленьке [14].

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики, що викладена у [14].

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

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

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

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;

$\Sigma \Delta P_{\Gamma}$ – 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.

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

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.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{76380} \right)^{0,25} = 0,163.$$

$$\Delta P_{TP} = 0,163 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{55^2 \cdot 0,82}{2} \approx 57700 \text{ (Па)}.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

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

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

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]).

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

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{55^2 \cdot 0,82}{2} \approx 7300 \text{ (Па)}.$$

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:

$$\Delta P = 57700 + 7300 = 65000 \text{ Па} = 65 \text{ кПа}.$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір збірника для вихідної суміші. Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.1), вихідна суміш, яка надходить на установку для подальшого розділення, потрапляє у збірник-сховище (поз. 1).

За вихідними даними, витрата бензолу, що надходить в проєктований випарник, становить 2900 кг/год. Отже, приймаємо таке припущення, що продуктивність ректифікаційної установки в цілому за вихідною сумішшю становить 10000 кг/год. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

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

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

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

τ – резерв робочого часу, $\tau = 7$ год.;

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

$$V_{EP} = \frac{10000 \cdot 7}{0,82 \cdot 800} = 106,7 \text{ м}^3.$$

Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 3,6$ м, тоді її висота складе:

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

$$H = \frac{106,7}{0,785 \cdot 3,6^2} = 10,5 \text{ м.}$$

Розрахунок і вибір насоса для подачі вихідної суміші в колону (рис. 1.1, поз. 2). Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймемо однакову швидкість плинину рідини, що дорівнює $w = 2$ 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.

$$d = \sqrt{\frac{3,47 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,047 \approx 0,050 \text{ м.}$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

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

$$Re = \frac{2 \cdot 0,050 \cdot 800}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 320000,$$

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

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,050} = 0,004.$$

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = 250; 560 \cdot \frac{1}{e} = 140000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 2500;$$

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

Для зони, автомодельної по відношенню до Re :

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

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,004^{0,25} = 0,028.$$

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) вентиля прямоточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$; 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$; 3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

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

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

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

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.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,028 \cdot \frac{8}{0,050} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,46 \text{ м.}$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії:

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,028 \cdot \frac{12}{0,050} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,51 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

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

$$h_{П.} = 1,46 + 2,51 = 3,97 \text{ м.}$$

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.

$$H = \frac{0,1}{800 \cdot 9,81} + 6 + 3,97 = 10,0 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

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

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

де Q – подача (витрата), $Q = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса.

$$N_{II} = 800 \cdot 9,81 \cdot 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot 10,0 = 272 \text{ Вт.}$$

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

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

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

Отримуємо:

$$N = \frac{272}{1 \cdot 0,6} = 454 \text{ Вт.}$$

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, споживана насосом $2,5 \text{ кВт}$; частота обертання 2200 об/хв .

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

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 0,125 МПа.

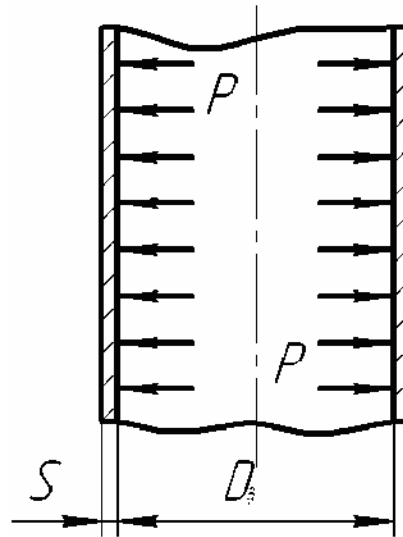


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 16ГС при розрахунковій температурі 89°C: $\sigma^* = 202$ МПа.

Допустиме напруження:

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

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

$$[\sigma] = 202 \cdot 1 = 202 \text{ МПа}.$$

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.

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа} .$$

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

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

де $P = 0,125$ МПа – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

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

$$P_r = 9,81 \cdot 850 \cdot 0,6 = 0,005 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,125 + 0,005 = 0,13 \text{ МПа}.$$

Оскільки розрахунковий тиск менше 0,5 МПа, то пробний тиск при гідрравлічних 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 $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196$ МПа – допустиме напруження сталі 16ГС при 20°C.

$$P_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \cdot 0,13 \cdot 196}{202} = 0,19 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,2 \text{ МПа}.$$

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		35

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

$$S_p^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,13 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,13} = 0,32 \text{ мм} \\ \frac{0,2 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,2} = 0,4 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,4 \text{ мм} .$$

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.

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

$$S_{ц} = 0,4 + 1,8 = 2,2 \text{ мм} .$$

Приймаємо $S_{ц} = 4 \text{ мм} .$

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

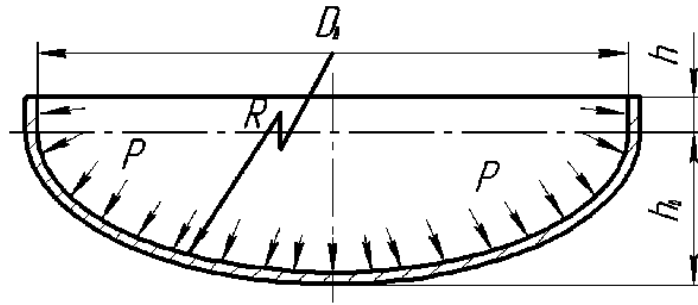


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Розрахункова товщина еліптичного днища:

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

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,13 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,13} = 0,32 \text{ мм} \\ \frac{0,2 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,4 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,4 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

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

$$S_E = 0,4 + 1,8 = 2,2 \text{ мм}.$$

Приймаємо $S_E = 4 \text{ мм}$.

3.2 Розрахунок опори апарата

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; $\rho = 7890 \text{ кг/м}^3$.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

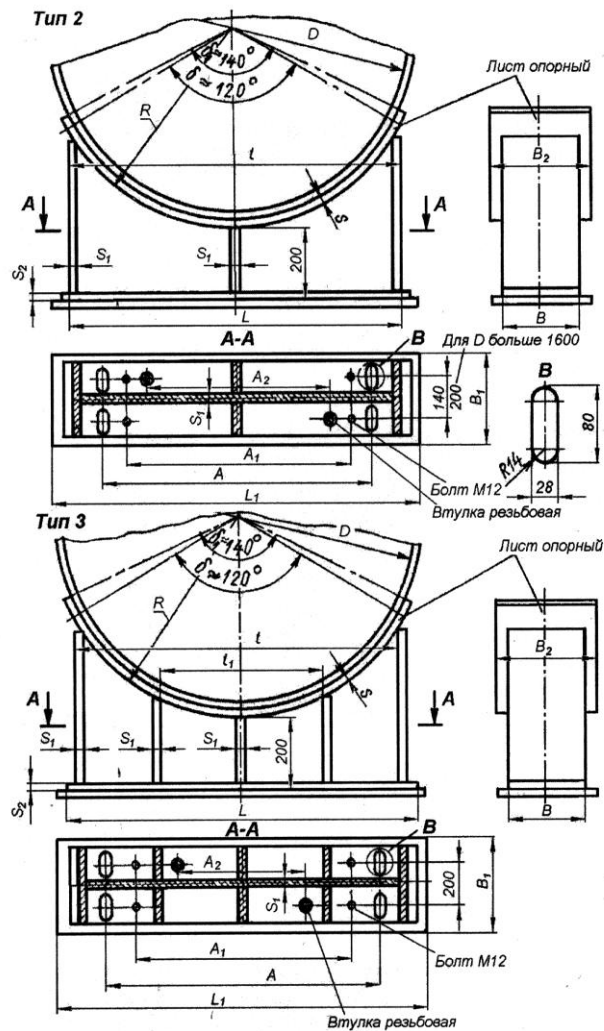


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема стандартних сідлових опор

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

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

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

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

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

Маса труб:

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

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

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		39

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		40

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж розробленого апарата [16]

Випарник бензолу з паровим простором відноситься до кожухотрубних теплообмінників. Технологія монтажу апаратів такої конструкції залежить від місця і способу їх установки. Вони можуть бути встановлені на відкритому майданчику, на постаменті чи в середині будівлі, а також горизонтально чи вертикально.

У нашому випадку мова йде про горизонтальний апарат, який розміщений на відкритому майданчику на нульовій позначці. Фундаменти виконують у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. При монтажі встановлюють нерухому і рухому опори. Гайки на болтах не закручують повністю (залишають зазор 1–2 мм), щоб апарат міг вільно переміщуватись в горизонтальному напрямку. При установці опор, які мають змогу переміщуватися, перевіряють рівномірність прилягання ковзаник до опорних поверхонь і їх перпендикулярність осі апарата. Горизонтальність апарату перевіряють за рівнеміром.

У деяких випадках при монтажі проводять контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубних теплообмінників. При цьому перевіряють наявність прокладок, комплектність знімних деталей, правильність їх взаємного розташування.

Для виявлення дефектів у розвальцьовуванні і обварці трубок трубний пучок спресовують (при знятій розподільній камері і кришці) шляхом подачі води в міжтрубний простір. При цьому також оглядають корпус теплообмінника. Дефекти розвальцьовування або обварки усувають.

Горизонтальне обладнання монтують за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Спосіб підйому і вантажопідйомність кранів вибирають в залежності від розміру і маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту під обладнання, наявності розташованих поруч будівельних конструкцій та ін.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів. Монтаж починають з підйому апарата із вихідного горизонтального положення без відриву його від землі. На рис. 4.1 показані найбільш сприятливі умови роботи кранів при монтажі апаратів.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

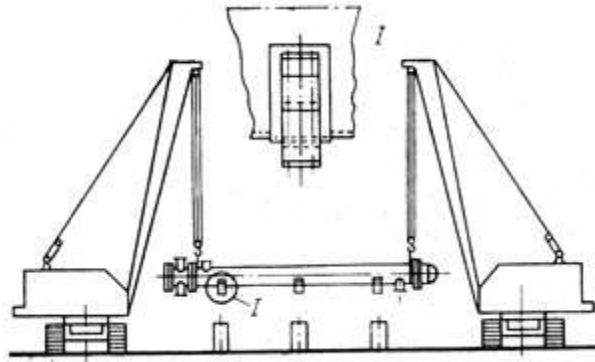


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника за допомогою двох кранів

Коли установка одного з кранів із зовнішньої сторони фундаментів неможлива, монтаж апаратів виконують лише маневруванням стріли крана. У тих випадках, коли при підйомі апаратів неможливо розташувати крани із зовнішньої сторони фундаментів і проїхати між фундаментами, збільшують виліт стріли кранів або переміщують крани з піднятим апаратом у межах їх вантажної характеристики.

4.2 Ремонт апарата [16]

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 трубочатки. 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.

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є наступні:

1. 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 загнушити до 10 % трубок. У кожному разі це питання треба вивчати окремо.

2. Наскрізна корозія трубок.

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

3. 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.

4. 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 середовища, рекомендується установка необхідних фільтрів. Якщо ж відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому

					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

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.

5. Покриття вапном (накипом) чи іншими відкладеннями.

Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв є рідина (вода) з невідповідним для даного процесу хімічним складом (наприклад, надмірно мінералізована). Варіанти вирішення: очистка за допомогою спеціальних хімічних засобів.

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.

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.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

5 Охорона праці [17, 18]

Навчання працівників безпечних способів праці.

Зміст та види інструктажів, хто і коли їх проводить

Типове положення встановлює порядок навчання та перевірки знань з питань охорони праці посадових осіб та інших працівників у процесі трудової діяльності, а також учнів, курсантів, слухачів та студентів навчальних закладів під час трудового і професійного навчання.

Типове положення спрямоване на реалізацію в Україні системи безперервного навчання з питань охорони праці посадових осіб та інших працівників, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварій.

Працівники під час прийняття на роботу і у процесі роботи, а також учні, курсанти, слухачі та студенти під час трудового і професійного навчання проходять на підприємстві за рахунок роботодавця інструктажі, навчання та перевірку знань з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки у разі виникнення аварії. На підприємствах на основі Типового положення, з урахуванням специфіки виробництва та вимог нормативно-правових актів з охорони праці, розробляються і затверджуються наказами керівників відповідні положення підприємств про навчання та перевірку знань з охорони праці.

Організацію навчання та перевірки знань з питань охорони праці працівників, у тому числі під час професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації на підприємстві здійснюють працівники служби кадрів або інші спеціалісти, яким роботодавцем доручена організація цієї роботи.

Навчання з питань охорони праці у частині організації навчального процесу (формування навчальних груп, розробка навчально-тематичних планів та програм, форм навчальної документації та порядок їх ведення тощо) здійснюється відповідно до вимог законодавства та нормативно-правових актів у галузі освіти.

					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

Навчання з питань охорони праці може проводитись як традиційними методами, так і з використанням сучасних видів навчання – модульного, дистанційного тощо, а також з використанням технічних засобів навчання: аудіовізуальних, комп'ютерних навчально-контрольних систем, комп'ютерних тренажерів.

Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити на підприємстві інструктажі з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці (далі – інструктажі) поділяються на: вступний; первинний; повторний; позаплановий; цільовий.

Вступний інструктаж проводиться: з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади; з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства; з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження трудового або професійного навчання; з екскурсантами у разі екскурсії на підприємство.

Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому Типовим положенням порядку проходів навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Вступний інструктаж проводиться в кабінеті охорони праці або в приміщенні, що спеціально для цього обладнано, з використанням сучасних технічних засобів навчання, навчальних та наочних посібників за програмою, розробленою службою охорони праці з урахуванням особливостей виробництва. Програма та тривалість інструктажу затверджуються керівником підприємства. Запис про проведення вступного інструктажу робиться в журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці (додаток 5), який зберігається службою охорони праці або працівником, що відповідає за проведення вступного інструктажу, а також у наказі про прийняття працівника на роботу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником: новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство або до фізичної особи, яка використовує найману працю; який переводиться з одного структурного підрозділу підприємства до іншого; який виконуватиме нову для нього роботу; відрядженим працівником іншого підприємства, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Проводиться з учнями, курсантами, слухачами та студентами навчальних закладів: до початку трудового або професійного навчання; перед виконанням кожного навчального завдання, пов'язаного з використанням різних механізмів, інструментів, матеріалів тощо.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться індивідуально або з групою осіб одного фаху за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань первинного інструктажу. Повторний інструктаж проводиться в терміни, визначені нормативноправовими актами з охорони праці, які діють у галузі, або роботодавцем (фізичною особою, яка використовує найману працю) з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше: на роботах з підвищеною небезпекою – 1 раз на 3 місяці; для решти робіт – 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці: при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також при внесенні змін та доповнень до них; при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці; при порушеннях працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що призвели до травм, аварій, пожеж тощо; при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів – для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт – понад 60 днів.

Позаплановий інструктаж з учнями, студентами, курсантами, слухачами проводиться під час проведення трудового і професійного навчання при пору-

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

шеннях ними вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо.

Позаплановий інструктаж може проводитись індивідуально з окремим працівником або з групою працівників одного фаху. Обсяг і зміст позапланового інструктажу визначаються в кожному окремому випадку залежно від причин і обставин, що спричинили потребу його проведення.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками: при ліквідації аварії або стихійного лиха; при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Цільовий інструктаж проводиться індивідуально з окремим працівником або з групою працівників. Обсяг і зміст цільового інструктажу визначаються залежно від виду робіт, що виконуватимуться.

Цільовий інструктаж проводиться з студентами в разі організації масових заходів (екскурсії, походи, спортивні заходи).

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі проводить безпосередній керівник робіт (начальник структурного підрозділу, майстер) або фізична особа, яка використовує найману працю.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі завершуються перевіркою знань у вигляді усного опитування або за допомогою технічних засобів, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів праці, особою, яка проводила інструктаж.

При незадовільних результатах перевірки знань, умінь і навичок щодо безпечного виконання робіт після первинного, повторного чи позапланового інструктажів протягом 10 днів додатково проводяться інструктаж і повторна перевірка знань. При незадовільних результатах перевірки знань після цільового інструктажу допуск до виконання робіт не надається. Повторна перевірка знань при цьому не дозволяється.

Про проведення первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів та їх допуск до роботи особа, яка проводила інструктаж, уносить запис до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці на робочому місці (додаток 6). Сторінки журналу реєстрації інструктажів повинні бути пронумеровані.

					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

вані, прошнуровані і скріплені печаткою. У разі виконання робіт, що потребують оформлення наряду-допуску, цільовий інструктаж реєструється в цьому наряді-допуску, а в журналі реєстрації інструктажів - не обов'язково.

Перелік професій та посад працівників, які звільняються від повторного інструктажу, затверджується роботодавцем. До цього переліку можуть бути зараховані працівники, участь у виробничому процесі яких не пов'язана із безпосереднім обслуговуванням об'єктів, машин, механізмів, устаткування, застосуванням приладів та інструментів, збереженням або переробкою сировини тощо.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

Список літератури

1. Кожухотрубний теплообмінник [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studwood.net/2138930/tovarovedenie/vvedenie>
2. Сучасні конструкції теплообмінного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266093/index.html>
3. 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.
4. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
5. Методичні вказівки та контрольні завдання для самостійної роботи з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв (частина 1)» / укладачі: Я.Е. Михайловський, М.П. Юхименко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 61 с.
6. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
8. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
9. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
10. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
11. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

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

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 Сум-ДУ, 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.

18. Курс «Охорона праці». Тема 5. Навчання з питань охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ztec.com.ua/ztec/e-lib/Охорона%20праці/Тема%205%20Навчання%20з%20питань%20ОП.pdf>.