

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

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 розділення бінарної суміші
ацетон - бензол. Розробити кожухотрубний випарник парів бензолу»

Виконав:

студент групи ХМ-61/1 КХІ

Науменко Владислав Сергійович

підпис

Залікова книжка

№ 17510287

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

Керівник:

к.т.н. ,професор

з оцінкою _____

Яхненко С.М.

" ____ " _____ 20__ р.

підпис, дата

Підпис голови

(заступника голови) комісії

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Обладнання нафто-та газопереробних виробництв "

Курс 4 Група ХМ-61/1 КХІ Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Науменко Владислав Сергійович

1 Тема проекту: «Ректифікаційна установка розділення бінарної суміші ацетон - бензол. Розробити кожухотрубний випарник парів бензолу»

2 Вихідні дані: Витрата бензолу в між трубному просторі 6500 кг/год під тиском 1,4 ат; гарячий теплоносій в трубах – водяна пара

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

1. Технологічна схема установки - 1 арк.

2. Складальне креслення апарату - 1 арк.

3. Креслення деталей і вузлів апарату - 2 арк.

4 Рекомендована література: 1. Основні процеси і апарати хімічної технології: Посібник з проектування / За ред. докт. техн. наук проф.Ю.І. Дитнерського.- М.: Хімія, 1983. - 272 с.

2. Касаткін А.Г. Основні процеси та апарати хімічної технології, 8-е вид. перероб. М.: Хімія, 1971. - 784 с.

3. Лашинський А.А., Толчинський А.Р. Основи конструювання і розрахунку хімічної апаратури / Під ред. інж. Н.Н.Логінова. 2-е вид. перероб. і доповн. Л.: Машинобудування, 1970. - 752 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

лютий 2020 р.

Керівник

підпис

Яхненко С.М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 с., 17 рис., 2 табл., 2 додатка, 10 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарату, складальне креслення вузла 2 листи, - всього 4 аркуша формату А1

Тема проекту: «Ректифікаційна установка розділення бінарної суміші ацетон - бензол. Розробити кожухотрубний випарник парів бензолу.

Наведено теоретичні основи і особливості процесу випаровування рідини, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконані технологічні розрахунки апарату, визначені його розміри, обґрунтований вибір матеріалів для виготовлення апарату.

Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарату.

Наведено відомості щодо проведення монтажу і ремонту розробленого апарату.

У розділі «Охорона праці» наведено причини забруднення і характер впливу повітря робочої зони на працівників.

Розрахунки фланцевого з'єднання проведені в програмі «ПАССАТ»

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, ВИПАРНИК, БЕНЗОЛ, ТЕПЛООБМІНИК, РОЗРАХУНОК.

ЗМІСТ

1. Технологічна частина	5
1.1.Опис технологічної схеми	5
1.2.Теоретичні основи теплообмінного процесу	6
1.3. Опис апарату і вибір матеріалів.....	8
2.Технологічні розрахунки процесу і апарату	12
2.1 Матеріальний і тепловий баланс процесу	12
2.2 Технологічні розрахунки	13
2.3.Конструктивні розрахунки	18
2.4.Гідравлічний опір апарату	20
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	21
3. Розрахунки на міцність апарату	26
3.1 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки	26
3.2 Розрахунок товщини стінки еліптичної кришки	27
3.3 Розрахунок і вибір опори	28
3.4 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	31
4. Організація монтажних та ремонтних робіт.....	33
5. Охорона праці	42

Список літератури

Додаток А - (Розрахунок фланцевого з'єднання проводиться в Програмі Пасат)

Додаток Б - Специфікації до креслень

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Випарник</i> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Науменко</i>						
<i>Провер.</i>		<i>Яхненко</i>					4	47
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, ХМ-61</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>								

Вступ

У термодинаміці процес кипіння визначається як випаровування рідини з утворенням в її обсязі великого парових бульбашок. Рідина при цьому може рухатися організованим потоком або знаходитися в само установленому вільному русі. Процеси пароутворення надають на інтенсивність теплообміну істотний вплив, пов'язане як зі зростанням і рухом парових бульбашок поблизу поверхні теплообміну, так і з наявністю парової фази в об'ємі рідини. Для кожного конкретного випадку важливо правильно оцінити ступінь впливу зазначених факторів на інтенсивність теплообміну, щоб вибрати з них визначають. Правильний вибір визначальних чинників дозволяє досягти необхідної точності при розрахунках площі поверхні теплообміну в апаратах без зайвого ускладнення розрахункових залежностей. На жаль, стан теорії часто не дозволяє надійно прогнозувати характеристики процесу теплообміну при кипінні в різноманітних умовах експлуатації апаратів. Тому, незважаючи на великий обсяг виконаних до теперішнього часу досліджень, остаточні рішення при проектуванні апаратів, в яких здійснюється процес кипіння, в ряді випадків можуть бути прийняті тільки на основі спеціально поставленого експерименту. Цим же пояснюється і переважно експериментальний характер робіт, присвячених дослідженням теплообміну при кипінні, а також той факт, що більшість розрахункових формул, що використовуються на практиці, являють собою більш-менш вдалі інтерполяційні залежності, отримані на основі експериментальних даних.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Технологічна частина [1,2,3,5,6]

1.1 Опис технологічної схеми установки

Принципова технологічна схема безперервно діючої ректифікаційної установки представлена на рисунку 1.1

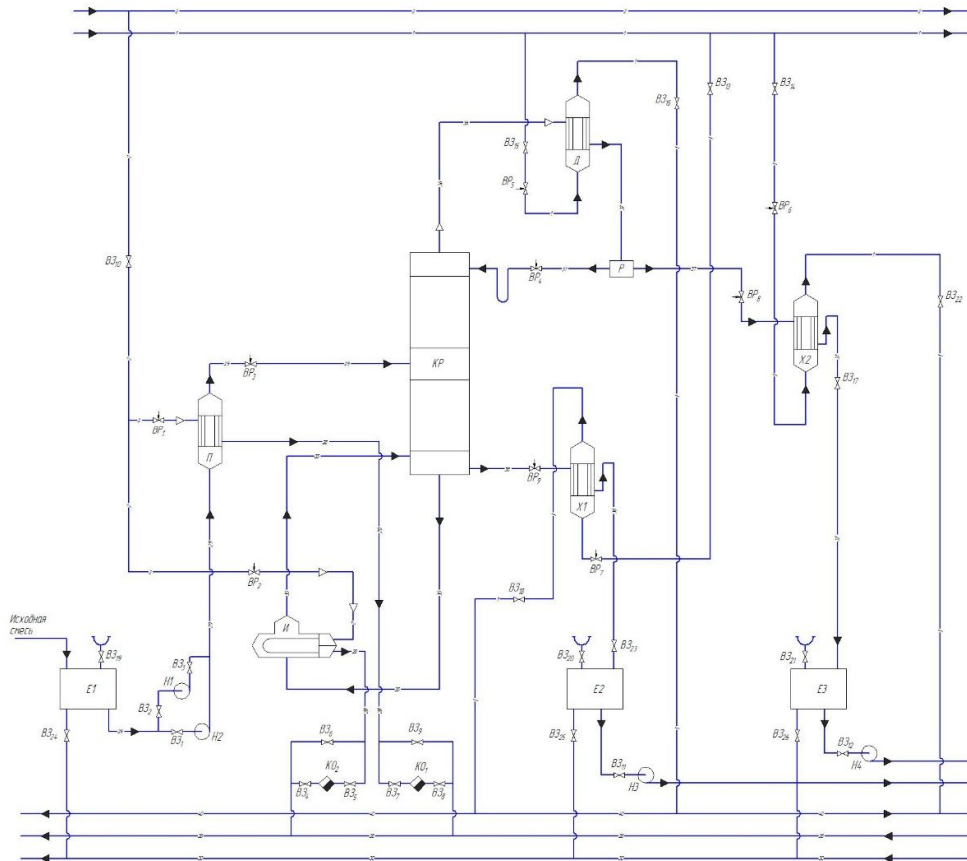


Рисунок 1.1 - Схема ректифікаційної установки безперервної дії

Вихідний розчин зі збірника-сховища 1 відцентровим насосом 2 подається в теплообмінник 3, де підігрівається до температури кипіння гріючою парою, що конденсується в міжтрубному просторі теплообмінника. Нагрітий розчин надходить в колону ректифікації, що складається з верхньої 4 частини і нижньої 5 - вичерпної частини. В результаті поділу суміші з нижньої частини колони відводиться кубовий залишок, який охолоджується водою в теплообміннику 6 і відводиться в збірник 7, звідки насосом 8 відкачується споживачеві.

									Арк.
									6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ				

Частина кубового залишку відбирається з нижньої частини колони і спрямовується в кип'ятильник - випарник 9, в якому за рахунок тепла конденсації пари, що гріє, що подається в міжтрубний простір, відбувається кипіння кубової рідини і утворення пари ВКК, що надходить в нижню частину колони і піднімається вгору.

Таким чином, в нижній частині колони ректифікації відбувається процес відгону (вичерпання) НКК з стікає вниз вихідного розчину.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення (зміцнення) піднімаються пари НКК за рахунок багатоступінчастого контактування їх на контактних пристроях зі стікає зверху вниз флегмою. Відводяться з верхньої частини колони пари надходять в дефлегматор 10, де конденсуються в міжтрубному просторі дефлегматора за рахунок відведення тепла хладагента - воді, що рухається в трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на її зрошення. Інша частина - дистиллят - додатково охолоджується в холодильнику 11 і направляється в збірник 12 в якості готового продукту з високою концентрацією НКК.

1.2 Теоретичні основи процесу

Якщо пар стикається зі стінкою, температура якої нижча за температуру насичення, то він конденсується на стінці і осідає на ній у вигляді рідини. Розрізняють три види конденсації пари на твердій поверхні.

Плівкова конденсація, коли конденсат стікає по поверхні у вигляді суцільної плівки (має місце на поверхнях при інтенсивній конденсації).

Крапельна конденсація коли конденсат випадає на поверхні у вигляді окремих крапель (має місце на не омиваючи поверхнях охолодження).

Змішана конденсація, коли частина поверхні покрита краплями, а частина - плівкою конденсату.

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При крапельної конденсації можна отримувати високі коефіцієнти тепловіддачі. Наприклад, коефіцієнти тепловіддачі при плівковій конденсації водяної пари атмосферного тиску мають порядок $(7 \div 12) \cdot 103 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а при крапельної конденсації - $(4 \div 10) \cdot 104 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Стійкий характер крапельна конденсація має лише в апаратах, поверхня охолодження яких не змочується конденсатом завдяки фізичним властивостям рідкої фази, наприклад в конденсаторах ртутного пара, а також при періодичному введенні в пар.

Практично в сучасних конденсаторах завжди відбувається плівкова конденсація пара.

Теплота, що виділяє при конденсації пари, повинна пройти до стінки через плівку конденсату. Якщо рух рідкої плівки ламінарне, то перехід теплоти здійснюється виключно шляхом теплопровідності. Вирішальним фактором у даному випадку є товщина плівки конденсату.

При плівковою конденсації на вертикальній поверхні у верхній частині плівки, коли її товщина i , відповідно, швидкість течії невеликі, має місце чисто ламінарний рух з плоскою межею поділу фаз.

Надалі на поверхні плівки починають виникати хвилі, що призводять до деякого зменшення товщини плівки конденсату. На поверхні конденсату встановлюється температура, практично рівна температурі насичення $t_{нас}$.

Зміст газів, в парі різко знижує тепловіддачу. Так, вміст у водяній парі 1% повітря зменшує коефіцієнт тепловіддачі на 60%, а вміст 3% повітря - на 80%. Накопичуючись у поверхні плівки стікає по трубі конденсату, ці гази створюють захисний шар, що перешкоджає доступу пара до поверхні теплообміну.

Оцінити швидкість переміщення плівки дуже важко, тому для опису гідродинаміки стікання плівки використовують критерії Галілея, який характеризує співвідношення сил тяжкості і тертя:

$$Ga = Re^2 / Fr = gl / v^2, \quad (1.1)$$

де Re - критерій Рейнольдса; Fr - критерій Фруда; g - прискорення вільного падіння; l - лінійний розмір; v - швидкість.

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний вигляд критеріальною залежності для визначення коефіцієнта тепловіддачі при конденсації має вигляд:

$$Nu = f(Ga, Pr, K) \quad (1.2)$$

Тут $K = r / (c_{ж} \Delta t)$ - критерій фазового переходу, або критерій конденсації, є мірою відносини теплоти, що витрачається на фазове перетворення, до теплоти переохолодження фази: r - питома теплота конденсації; $c_{ж}$ - питома теплоємність конденсату; $\Delta t = t_{нас} - t_{ст.}$

1.3 Опис апарату і вибір матеріалів

До випаровувачів пред'являються ті ж вимоги, що і до інших видів теплообмінників: висока інтенсивність теплопередачі, мала витрата металу і ін. Залежно від конструктивних особливостей розрізняють кожухотрубні, кожухозмійовикові, вертикальнотрубні і ін. випаровувачі.

Завданням конструктивного розрахунку випарника є визначення його основних розмірів. Випарник (рис. 1.2) являє собою горизонтальний циліндричний кожухотрубний теплообмінний апарат з паровим простором. Апарат утворений трубним і міжтрубному просторі.

Трубне простір, в якому рухається гарячий теплоносій, утворене розподільною камерою 2 і трубами 3.

Найбільшого поширення набули кожухотрубні випаровувачі.

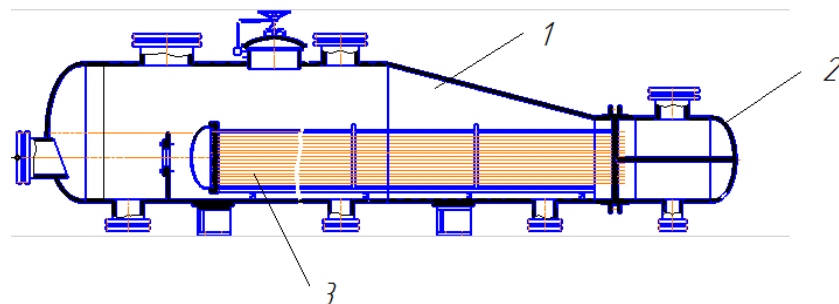


Рисунок 1.2 - Конструкція випарника з паровим простором типу П:

1 – корпус; 2 – розподільна камера, 3 – трубчатка.

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пар підводиться у верхню частину випаровувача в трубний простір. Бензол подається в нижню частину випаровувача.

Перевагами кожухотрубних випаровувачів є простота і компактність конструкції, значна інтенсивність теплопередачі, можливість пристрою закритої системи циркуляції охолоджуючої середовища.

Матеріал кожуха, звичайний для випаровувачів, зварена з листової сталі обичайка. Труби обрані сталевими, які завальцьовані в трубну решітку.

Завданням конструктивного розрахунку випаровувача є визначення його основних розмірів.

Як і у всякому іншого типу теплообміннику в випаровувачі здійснюється передача теплоти від більш нагрітого теплоносія до менш нагрітого. Причому передача тепла від гарячого теплоносія до холодного здійснюється через розділяє поверхню теплообміну.

Корпус апарату виконаний у вигляді циліндричної обичайки з листового матеріалу, причому внутрішній діаметр корпусу приймається відповідно до стандартного значенням ряду чисел. Товщина стінки корпусу визначається з розрахунку на міцність.

Кінці трубок закріплюють у трубну решітку. Трубна решітка представляє собою диск, в якому висвердлені отвори під трубки і служить разом з трубками для поділу трубного і міжтрубному простору. Розміщення отворів в решітці і їх крок регламентуються нормативними документами. Кріплення труб в трубній решітці повинна бути міцною, герметичним і забезпечувати легку заміну труб.

Розподільні камери і кришки призначені для розподілу потоку робочого середовища за теплообмінних труб. Для створення необхідного числа ходів розподільної камери встановлюють перегородки.

Також в конструкції теплообмінника присутні фланці, прокладки і кріпильні елементи, які призначені для з'єднання складових частин апарату і повинні забезпечувати герметичність з'єднання.

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектного елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості, що переробляється продукту і т. Д.), Слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення виробу.

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням речовини, що володіє малоагресивними властивостями, то для забезпечення умов роботи холодильної установки, прийнята сталь Ст3, що відрізняється хорошими механічними і технологічними характеристиками. Сталь добре деформується в гарячому і холодному стані і легко зварюється, що полегшує виготовлення корпусних деталей методом гнуття і забезпечує високу якість зварювальних швів. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 16ГС

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E · l 05 МПа	σт МПа	σв МПа	δ %
0,23- 0,3	0,5- 0,8	0,05- 0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. Д., Що не мають контакту з переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 10. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низької вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями.

Хімічний склад і механічні властивості сталі представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 10

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E · l 05 МПа	σт МПа	σв МПа	δ %
0,07- 0,14	0,35- 0,65	0,17- 0,37	0,15	0,25	0,3	0,08	0,04	0,04	2,0	210	340	31

Для виготовлення пристроїв, необхідних для забезпечення зручності обслуговування і зовнішнього огляду апарату, вибираємо прокат з листової та профільної сталі звичайної якості - ВСтЗпсЗ ГОСТ 380 - 71, що поставляється по групі В (поставляється за механічними властивостями і хімічним складом). На користь вибору цієї сталі приймається її низька вартість, добре обробляється і відмінна зварюваність.

Для захисту зовнішніх поверхонь апарату від впливу навколишнього середовища використовуємо покриття - Емаль ПФ8 жаростійка, яка наноситься розпиленням по ґрунту для жаростійких і атмосферостійких покриттів. Дане покриття стійке при тривалому впливі температури до 150° С.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Матеріальний і тепловий баланс процесу.

Витрата матеріалу, який випаровується в кг/с

$$G_1 = \frac{6500}{3600} = 1,81 \text{ кг/с.}$$

Температура кипіння парів бензолу при $P_{\text{вип}} = 1,4$ ама на рис. XV [2]

$$t_{\text{кип}} = 87 \text{ }^\circ\text{C}$$

Теплота випаровування бензолу при даній температурі кипіння за додатком VII [1]

$$r_1 = 392 \text{ кДж / кг.}$$

Кількість теплоти, поглиненої при випаровуванні рідини

$$Q_{\text{вип}} = G_1 \cdot r_1 \quad (1.1)$$

$$Q_{\text{вип}} = 1,81 \cdot 392 = 709.5 \text{ кВт.}$$

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання на випаровування рідини.

$$Q_{\text{нагр}} = G_1 \cdot C_1 \cdot (t_{\text{кип}} - t_n) \quad (1.2)$$

Початкову температуру бензолу приймаємо $t_n = 65^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{нагр}} = 1,81 \cdot 1.248 \cdot (87 - 65) = 49.7 \text{ кВт,}$$

де $C_1 = 1,248$ кДж/кг·К теплоємність рідкого бензолу при середній температурі

$$t_{1cp} = \frac{t_{\text{кип}} + t_n}{2} = \frac{87 + 65}{2} = 76 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Теплове навантаження апарату з урахуванням 5% втрат тепла

$$Q = 1,05 \cdot (Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}}) = 1,05 \cdot (709.5 + 49.7) = 872 \text{ кВт.} \quad (1.3)$$

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Технологічні розрахунки

Температура пари при тиску $p_n = 1,4$ ата за додатком LVII [2]

$$t_{2H} = 109 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура конденсату водяної пари

$$t_{2cp} = \frac{t_{2n} + t_{2к}}{2} = \frac{109 + 90}{2} = 99,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Фізичні параметри конденсату при $t_{2cp} = 99,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ (додаток I, II, III, IV) [1]:

щільність $\rho_2 = 958 \text{ кг / м}^3$;

в'язкість $\mu_2 = 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

теплоємність $c_2 = 4,19 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$;

теплопровідність $\lambda_2 = 0,681 \text{ Вт / м} \cdot \text{К}$;

теплота конденсації $r_2 = 2237 \text{ кДж / кг}$.

витрата пари

$$G_2 = \frac{Q}{r_2 + c_2 \cdot (t_{2n} - t_{2к})} \quad (1.4)$$

$$G_2 = \frac{872}{2237 + 4,19 \cdot (109 - 90)} = 0,376 \text{ кг/с}$$

Рекомендоване значення швидкості руху насиченої пари при тиску понад 105 Па, становить величину $\omega = 15 \dots 25 \text{ м / с}$, приймаємо $\omega_2 = 20 \text{ м / с}$.

Визначимо температуру t' визначальну кордон зон процесу теплообміну

$$t' = t_{2к} + \frac{Q_{\text{нагр}}}{G_1 \cdot C_1} \quad (1.6)$$

$$t' = 90 + \frac{49,7}{1,81 \cdot 2,024} = 103,6 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $C_1 = 2,024 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$ - теплоємність бензолу.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня різниця температур:

Для зони випаровування

$$\Delta t_{cp}^{вип} = \frac{(t_{2n} - t_{1к}) - (t' - t_{1к})}{\ln \frac{t_{2n} - t_{1к}}{t' - t_{1к}}} \quad (21.7)$$

$$\Delta t_{cp}^{вип} = \frac{(109 - 87) - (103,6 - 87)}{\ln \frac{109 - 87}{103,6 - 87}} = 19.1 \text{ К};$$

для зони нагрівання

$$\Delta t_{cp}^{нагр} = \frac{(t_{2к} - t_{1n}) - (t' - t_{1к})}{\ln \frac{t_{2к} - t_{1н}}{t' - t_{1к}}} \quad (1.8)$$

$$\Delta t_{cp}^{нагр} = \frac{(90 - 65) - (103,6 - 87)}{\ln \frac{90 - 65}{103,6 - 87}} = 20.5 \text{ К}.$$

Температуру стінки приймемо на 15°C вище [3] середньої температури бензолу, тобто

$$t_{ст} = t_{1cp} + 15 = 76 + 15 = 91^\circ \text{C}.$$

Для випадку конденсації на пучку горизонтальних труб середнє значення коефіцієнта тепловіддачі

$$\alpha_2 = 3,78 \cdot \varepsilon_t \cdot \lambda_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_2^2 \cdot d \cdot n}{\mu_2 \cdot G_2}}, \quad (1.9)$$

де $\varepsilon_t = 1$ - для водяної пари; λ_2, ρ_2, μ_2 - фізичні характеристики плівки конденсату.

тоді

$$\alpha_2 = 3,78 \cdot 1 \cdot 0,684 \cdot \sqrt[3]{\frac{958 \cdot 0,021 \cdot 19}{0,284 \cdot 10^{-3} \cdot 0,376}} = 733 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні рідини

$$\alpha_1 = b^3 \cdot \frac{\lambda_1^2 \cdot \rho \cdot (\Delta t)^2}{\mu_1 \cdot \sigma_1 \cdot (t_{\text{исп}} + 273)}, \quad (1.10)$$

де $\sigma_1 = 21.3 \cdot 10^{-3}$ Н / м - поверхневий натяг бензолу; $\mu_1 = 0,316 \cdot 10^{-3}$ Па·с - в'язкість бензолу; $\rho_1 = 815$ кг/м³-щільність бензолу; $\lambda_1 = 0,13$ Вт/м·К - теплопровідність бензолу;

$$\Delta t = t_{\text{ст}} - t_{\text{кип}} = 91 - 87 = 4 \text{ К}$$

b - безрозмірна функція, яка визначається за формулою

$$b = 0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_{\text{ж}} - \rho_n} \right)^{2/3} = 0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{2,67}{815 - 2,67} \right)^{2/3} = 0,092,$$

де щільність пару бензолу

$$\rho_n = \frac{M_r \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{сп}}} \quad (1.11)$$

$$\rho_n = 78 \frac{92 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 87)} = 2,67 \text{ кг/м}^3.$$

тоді

$$\alpha_1^{\text{кип}} = 0,092^3 \cdot \frac{0,13^2 \cdot 815 \cdot 4^2}{0,316 \cdot 10^{-3} \cdot 21,3 \cdot 10^{-3} (87 + 273)} = 463 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

коефіцієнт теплопередачі для зони випаровування

$$K_{\text{кип}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1^{\text{кип}}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r} \quad (1.12)$$

$$K_{\text{кип}} = \frac{1}{\frac{1}{463} + \frac{1}{733} + 0,43 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4}} = 265 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К},$$

де $r = 2 \cdot 10^{-4}$ м²К/Вт - сумарне термічний опір забруднення;

$$\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} = \frac{0,002}{46} = 0,43 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} - \text{термічний опір стінки, тут } \lambda_{\text{ст}} -$$

теплопровідність вуглецевої сталі.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попередньо виберемо випарник за значенням $K_{\text{вип}}$, без урахування $K_{\text{нагр}}$, тобто

$$F_{op} = \frac{Q_{\text{вип}}}{K_{\text{вип}} \cdot \Delta t_{\text{cp}}} \quad (1.13)$$

$$F_{op} = \frac{709.5 \cdot 10^3}{265 \cdot 19.1} = 140.2 \cdot \text{м}^2$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Параметри апарату:

Діаметр кожуха $D = 1600$ мм;

Число ходів $Z = 2$;

Число труб $n_T = 362$;

Поверхня теплообміну $F = 170$ м²;

Довжина труб $l = 6,0$ м;

Площа перерізу одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,055$ м².

Площа перетину міжтрубного простіру

$$F_{\text{мтр}} = 0,785 \cdot (D^2 - d_n^2 \cdot n_T) \quad (1.14)$$

$$F_{\text{мтр}} = 0,785 \cdot (1.6^2 - 0,025^2 \cdot 362) = 1.83$$

Периметр, що змочується бензолом

$$\Pi = \pi \cdot (D^2 - d_n^2 \cdot n_T) \quad (1.15)$$

$$\Pi = \pi \cdot (D^2 - d_n^2 \cdot n_T) = 3,14 \cdot (1.6^2 - 0,025^2 \cdot 362) = 7.32 \text{ м.}$$

Еквівалентний діаметр міжтрубного простору

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f_{\text{мтр}}}{\Pi} \quad (1.16)$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f_{\text{мтр}}}{\Pi} = \frac{4 \cdot 1.83}{7.32} = 1 \text{ м.}$$

Швидкість руху бензолу

$$\omega_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot f_{\text{мтр}}} \quad (1.17)$$

					<i>ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_1 = \frac{1,81}{815 \cdot 1,8} = 0,001 \text{ м/с.}$$

Значення функції Re для бензолу

$$\text{Re} = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{екв}} \cdot \rho_1}{\mu_1}, \quad (1.18)$$

$$\text{Re} = \frac{0,001 \cdot 0,021 \cdot 815}{0,316 \cdot 10^{-3}} = 542,$$

режим руху ламінарний.

Значення критерію Nu

$$\text{Nu} = 0,022 \cdot \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4} \left(\frac{\mu_1}{\mu_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \quad (1.19)$$

Значення критерію Pr для бензолу

$$\text{Pr}_1 = \frac{C_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} \quad (1.20)$$

$$\text{Pr}_1 = \frac{2,024 \cdot 10^3 \cdot 0,316 \cdot 10^{-3}}{0,13} = 4,92.$$

В'язкість бензолу при температурі стінки

$$\mu_{\text{ст}} = 0,289 \cdot 10^{-3}.$$

тоді

$$\text{Nu}_1 = 0,022 \cdot 542^{0,8} \cdot 4,92^{0,4} \left(\frac{0,316 \cdot 10^{-3}}{0,289 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = 54,7$$

Коефіцієнт тепловіддачі для рідкого бензолу

$$\alpha_1^{\text{наз}} = \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{екв}}} \quad (1.21)$$

$$\alpha_1^{\text{нагр}} = \frac{54,7 \cdot 0,13}{0,021} = 339 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для зони нагріву

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{нагр}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1^{\text{нагр}}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r} \quad (1.22)$$

$$K_{\text{нагр}} = \frac{1}{\frac{1}{339} + \frac{1}{733} + 4 \cdot 10^{-4}} = 212 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Розрахункова поверхню теплообміну

$$F_p = \frac{Q_{\text{вип}}}{K_{\text{вип}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}^{\text{вип}}} + \frac{Q_{\text{нагр}}}{K_{\text{нагр}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}^{\text{нагр}}} \quad (1.23)$$

$$F_p = \frac{709.5 \cdot 10^3}{265 \cdot 19.1} + \frac{49.7 \cdot 10^3}{322 \cdot 20.5} = 147.7 \text{ м}^2.$$

З ГОСТ 15121-79 мінімальне значення площі випарника, відповідне витраті бензолу, $F = 147,7 \text{ м}^2$, на якому і залишаємо свій вибір.

Параметри апарату:

Діаметр кожуха $D = 1600 \text{ мм}$;

Число ходів $Z = 2$;

Число труб $n_T = 362$;

Поверхня теплообміну $F = 170 \text{ м}^2$;

Довжина труб $l = 6,0 \text{ м}$;

Площа перерізу одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,055 \text{ м}^2$.

Коефіцієнт запасу поверхні теплообміну

$$\chi = \left(1 - \frac{F}{F_{\text{тр}}}\right) \cdot 100\% \quad (1.24)$$

Тоді коефіцієнт запасу

$$\chi = \left(1 - \frac{147.7}{170}\right) \cdot 100\% = 13.1 = 13.1\%$$

Діаметр штуцерів d , м, теплообмінного апарату для підведення-відведення теплоносіїв:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} \quad (1.21)$$

де V і G - об'ємний і масовий витрати рідини або пари відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

ρ - щільність потоку середовища, кг/м³;

w - швидкість витікання середовища, м / с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв (відповідно до [2-4]):
для рідин 0,1 ... 0,5 м/с при протіканні і 0,5 ... 2,5 м / с в напірних
трубопроводах;

- для пара 20 ... 40 м/с;

- для газів 5 ... 15 м/с.

Діаметр патрубку для входу бензолу в апарат d_n , м:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} \quad (1.22)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 6500/3600}{3,14 \cdot 815 \cdot 0,5}} = 0,075 \text{ м}$$

Діаметр патрубку для виходу парів бензолу з апарату d_k , м:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 6500/3600}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 20}} = 0,31 \text{ м}$$

Діаметр патрубку для входу пара в апарат $d_{вх}$, м:

$$d_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,376}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 20}} = 0,141 \text{ м}$$

Діаметр патрубку для виходу пара з апарату $d_{вих}$, м:

$$d_{вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,367}{3,14 \cdot 958 \cdot 0,5}} = 0,032 \text{ м}$$

Приймаються в проектуваному теплообмінному апараті штуцера для входу бензолу $D_y = 80$ мм і $p_y = 0,2$ МПа, для виходу парів бензолу $D_y = 350$ мм і $p_y = 0,2$ МПа кг/см², для входу пара $D_y = 150$ мм. $p_y = 0,25$ МПа і виходу конденсату $D_y = 40$ мм. $p_y = 0,25$ МПа

2.4 Гідрравлічний опір апарату

Об'ємна витрата пари, що гріє

$$V_{п} = \frac{G_{п}}{\rho_{п}}, \quad (1.28)$$

де $\rho_{п}$ – щільність пара, кг/м³.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_n = \frac{0,376}{0,793} = 0,895 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Дійсна швидкість пара

$$\omega_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{f_{\text{тр}}} \quad (1.29)$$

$$\omega_n = \frac{0,895}{0,031} = 28,9 \text{ м/с}.$$

Величина критерію Re

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\text{п}} \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}} \quad (1.30)$$

$$\text{Re} = \frac{28,9 \cdot 0,021 \cdot 0,793}{0,0123 \cdot 10^{-3}} = 39130.$$

отже, режим руху - турбулентний

Для турбулентного руху пара в круглих трубах коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \quad (1.31)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{39130^{0,25}} = 0,022.$$

Втрата тиску на тертя

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{n \cdot H}{d} \cdot \frac{\omega_{\text{п}}^2 \cdot \rho_{\text{п}}}{2}, \quad (1.32)$$

де n – число ходів.

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,022 \cdot \frac{2 \cdot 6}{0,021} \cdot \frac{28,9^2 \cdot 0,793}{2} = 2514 \text{ Па}.$$

Коефіцієнти лінійних опорів:

Вхід в міжтрубний простір і вихід з нього $\xi_1 = 1,5$,

Поворот на 90° в міжтрубному просторі. $\xi_2 = 1,0$.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta P_m = \sum \xi \cdot \frac{\omega_{\Pi}^2 \cdot \rho_{\Pi}}{2}.$$

(1.33)

$$\Delta P_m = (2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,0) \cdot \frac{28,9^2 \cdot 0,793}{2} = 916 \text{ Па.}$$

Загальна втрата тиску в трубному просторі

$$\Delta P_m = \Delta P_{mp} + \Delta P_m = 2414 + 916 = 3330 \text{ Па.}$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі бензолу в випаровувачі

Витрата бензолу

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{1,5}{777} = 0,0019 \text{ м}^3/\text{с.}$$

У випарнику під надлишковим тиском 0,025 Па. Температура бензолу 20°C; геометрична висота підйому 2 м. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлений один нормальний вентиль, на лінії нагнітання - один нормальний вентиль і дросильна заслінка, є також два коліна під кутом 90°. Прийmemo швидкість толуолу у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однаковою, рівною 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

трубопроводах однакової, равной 1 м/с. Тогда діаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}},$$

(2.29)

де ω – швидкість бензолу, м/с;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0019}{3,14 \cdot 1}} = 0,056 \text{ м.}$$

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо трубопровід зі сталі марки 12Х13, діаметром 45×3 мм.

Визначаємо величину критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

(2.30)

$$Re = \frac{1 \cdot 0,056 \cdot 777}{1,19 \cdot 10^{-3}} = 38688,$$

отже - режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість стінок труб, $e = 0,2$ мм [2], степінь шероховатості

$$\frac{d}{e} = \frac{56}{0,2} = 280.$$

По рис 1.5 [2, с. 22] знаходимо значення коефіцієнта тертя.

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів [4, с.26]:

для всмоктуючої лінії

- вхід в трубу $\varepsilon = 0,5$;

- нормальний вентиль, для $d = 0,056$ мм, $\varepsilon = 5,4$;

$$\Sigma \varepsilon_{bc} = 0,5 + 5,4 = 5,9;$$

для нагнітальної лінії

- вихід з труби $\varepsilon = 1,0$;

- нормальний вентиль $\varepsilon = 5,4$;

- дросельна заслінка $\varepsilon = 0,9$;

- коліно під кутом 90^0 $\varepsilon = 1,6$.

Отже,

$$\Sigma \varepsilon_n = 1 + 5,4 + 0,9 + 2 \cdot 1,6 = 10,5$$

Визначаємо втрати напору:

у всмоктувальній лінії

$$h_{ec} = \left(0,031 \cdot \frac{3}{0,056} + 5,9 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,42 \text{ м.}$$

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагнітальної лінії

$$h_n = \left(0,031 \cdot \frac{20}{0,056} + 10,5 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,35 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

$$h_n = 0,42 + 1,35 = 1,77 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір [2]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_r + h_n \quad (2.31)$$

где Δp – надлишковий тиск, Па; H_r - геометричний напір..

$$H = \frac{0,18 \cdot 10^6}{777 \cdot 9,81} + 2 + 1,77 = 29,43 \text{ м.}$$

Корисна потужність насоса

$$N_n = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot V}{1000} \quad (2.32)$$

где V – витрата етилацетату, м³/с;

$$N_n = \frac{777 \cdot 9,81 \cdot 29,43 \cdot 0,0019}{1000} = 0,659 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

$$N_{дв} = \frac{N_n}{\eta_n \cdot \eta_{п}}$$

(2.33)

де η_n – к.п.д. насоса; $\eta_{п}$ – к.п.д. передачі.

$$N_{дв} = \frac{0,659}{0,6 \cdot 1,0} = 1,08 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{уст} = \frac{1,2 \cdot N_{дв}}{\eta_{дв}} = \frac{1,2 \cdot 1,08}{0,8} = 1,6 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо при $V = 0,00280 \text{ м}^3/\text{с} = 10,08 \text{ м}^3/\text{г}$ відцентровий насос марки ХМ 50-32 з наступною характеристикою: продуктивність $0,00347 \text{ м}^3/\text{с}$, напір 32 м.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насос забезпечений електродвигуном номінальною потужністю 2,2 кВт і частотою обертання 2900 об / хв.

Далі здійснюємо вибір проміжної ємності для толуолу, пред-призначеної для забезпечення безперебійної подачі толуолу в випарник.

Приймаємо, що запас толуолу в проміжній ємності повинен забезпечувати його подачу в перебігу години, тобто необхідна ємність судини

$$V = V_p \cdot 3600 = 0,0022 \cdot 3600 = 7,98 \text{ м}^3.$$

Зазвичай співвідношення довжини L судини до його діаметру D

$$\frac{L}{D} = 2 \div 3,$$

тоді при прийнятому співвідношенні

$$L = 2,5 \cdot D$$

визначимо діаметр судини.

маємо

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2,5 \cdot D = 7,98 \text{ м}^3,$$

звідки діаметр судини

$$D = \sqrt[3]{\frac{7,98 \cdot 4}{3,14 \cdot 2,5}} = 1,73 \text{ м.} \quad (2.34)$$

Приймаємо стандартне значення внутрішнього діаметра посудини D = 1800 мм.

Тоді довжина обичайки судини

$$L = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 7,98}{3,14 \cdot 1,8^2} = 3,96 \text{ м,}$$

приймаємо L = 4,0 м.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розрахунки на міцність апарату

3.1 Розрахунок товщини стінки стінки циліндричної обичайки

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\eta = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі Ст3 при $t = 109 \text{ }^\circ\text{C}$ [6]

$$p = 130 \text{ МПа.}$$

Тиск бензолу в міжтрубному просторі

$$p = 1,4 \text{ ата} = 0,14 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 130 = 130 \text{ МПа.}$$

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 2.1

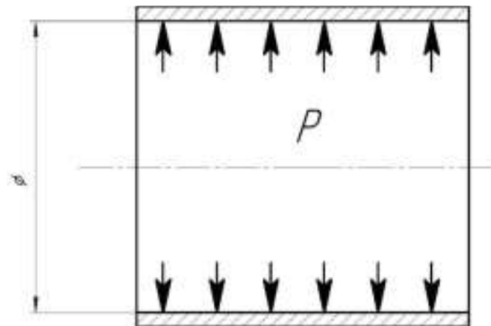


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \eta \cdot [\sigma] - p} \quad (2.1)$$

$$s_p = \frac{0,14 \cdot 1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 130 - 0,14} = 0,82 \text{ мм.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при дозволяється за напрузі

$$[\sigma]_п = \frac{\sigma_T}{1,1} = \frac{210}{1,1} = 191 \text{ МПа,}$$

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]} \quad (2.2)$$

$$p_n = 1,25 \cdot 0,14 \cdot \frac{191}{130} = 0,26 \text{ МПа.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - p} \quad (2.3)$$

$$s_p = \frac{0,26 \cdot 1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,26} = 1,2 \text{ мм.}$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщини за весь термін служби (10 років) апарату $z = 3,0$ мм, тоді виконавча товщина стінки кожуха

$$s = s_p + z = 1,2 + 3 = 4,2 \text{ мм.}$$

З запасом приймаемо стандартне значення товщини стінки кожуха $s = 6,0$ мм.

3.2 Розрахунок товщини стінки еліптичної кришки

Розрахункова схема днища приведена на малюнку 2.2

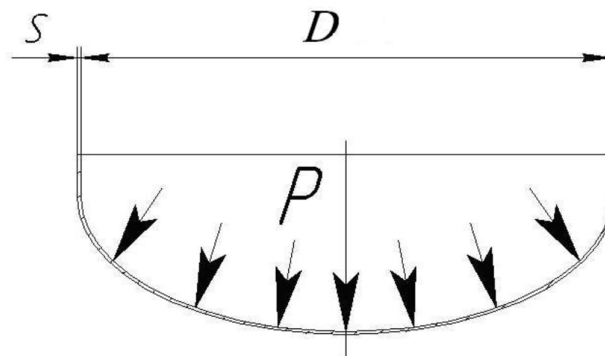


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема днища еліптичного

Тиск пара під кришкою

$$p_n = 1,4 \text{ ата} = 0,14 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_p = \frac{p_n \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n} \quad (2.5)$$

$$s_p = \frac{0,26 \cdot 1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,5 \cdot 0,26} = 1,2 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 1,2 + 3,0 = 4,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо $s_{кр} = 6,0$ мм.

3.3 Розрахунок і вибір опори

Маса обичайки кожуха

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho \quad (2.5)$$

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (1,6 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7860 = 950 \text{ кг,}$$

де $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$ - щільність сталі.

Маса кришки і днища

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (2.6)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 1^2 \cdot 0,004 \cdot 7860 = 950 \text{ кг.}$$

маса труб

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho \quad (2.7)$$

$$m_{тр} = \frac{314}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 362 \cdot 7860 = 1552 \text{ кг,}$$

Маса фланця з ґратами

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho \quad (2.8)$$

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 1,75^2}{4} \cdot 0,1 \cdot 7860 = 1890 \text{ кг,}$$

де D_{ϕ} - зовнішній діаметр фланця, h_{ϕ} - висота фланця.

Обсяг міжтрубного простору

$$V_M = f_{\text{мтр}} \cdot l \quad (2.9)$$

$$V_M = 0,75 \cdot 6 = 4,5 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\phi = 0,7$ маса бензолу

$$m_T = V_M \cdot \rho_T \cdot \phi \quad (2.10)$$

$$m_{\phi} = 4,5 \cdot 815 \cdot 0,7 = 2570 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані

$$G = g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + 2 \cdot m_{\phi} + m_T) \quad (2.11)$$

$$G = 9,81 \cdot (950 + 2 \cdot 78 + 1552 + 2 \cdot 1890 + 2570) = 57900 \text{ Н} = 97,9 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} \quad (2.12)$$

$$Q = \frac{97,9}{2} = 49,0 \text{ кН.}$$

Вибираємо опору з допустимим навантаженням $Q = 50$ кН.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

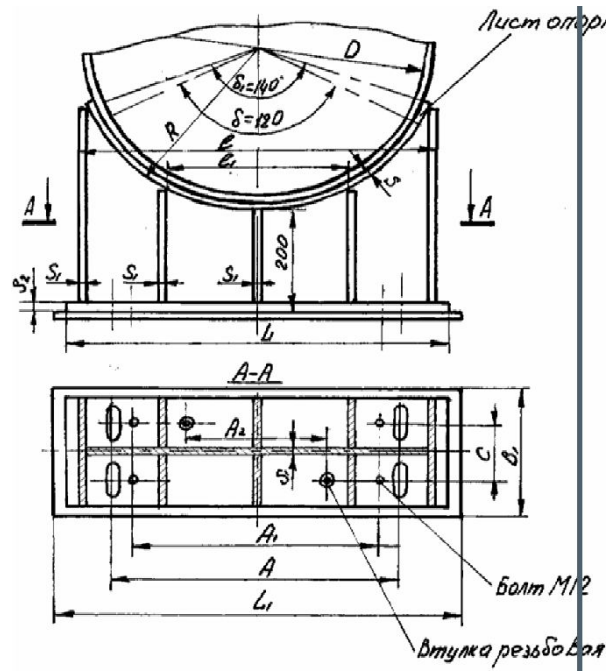


Рисунок 2.3 - Схема опори

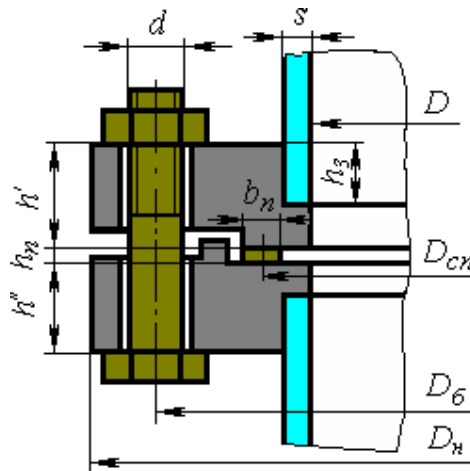
Вибираємо сідлову опору типу 1 з допустимим навантаженням $Q = 50$ кН.

Опора 50-1600-1 ОСТ 26-1665-75

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

3.4 Фланцеве з'єднання №1

Розрахунок на міцність та герметичність по РД 26-15-88



1.1. Вихідні дані

Тип фланців: Плоскі приварні
 Виконання: Виступ-западина
 Теплоізоляція: Так
 Діаметр болтової окружності $D_б$: $0,96 \cdot 10^3$ мм

Болти:

Матеріал: 35
 Зовнішній діаметр, d : 20 мм
 Кількість, n : 60
 Контроль затяжки: Немає

Прокладка:

Матеріал прокладки: Фторопласт-4 ТУ 6-05-810 при товщині 1-3 мм
 Товщина, $hп$: 3 мм
 Середні діаметри $D_{сп}$: $1,00 \cdot 10^3$ мм
 Ширина b_n : 15,5 мм

Дані першого фланця (кільця):

Матеріал фланця (кільця): 20К

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Суміжний елемент:

Матеріал суміжного елемента: 12X18H10T

Внутрішній діаметр фланця (кільця), D: $0,9 \cdot 10^3$ мм

Зовнішній діаметр фланця (кільця), Dн: $1,03 \cdot 10^3$ мм

Висота фланця (кільця), h: 45 мм

Товщина стінки суміжного елемента: 6 мм

Сума надбавок, с (задається в суміжному елементі): 0 мм

Дані другого фланця (кільця):

Матеріал фланця (кільця): 20К

Суміжний елемент:

Матеріал суміжного елемента: 12X18H10T

Внутрішній діаметр фланця (кільця), D: $0,9 \cdot 10^3$ мм

Зовнішній діаметр фланця (кільця), Dн: $1,03 \cdot 10^3$ мм

Висота фланця (кільця), h: 45 мм

Товщина стінки суміжного елемента: 6 мм

Сума надбавок, с (задається в суміжному елементі): 0 мм

Розрахунок фланцевого з'єднання проводиться в Програмі Пасат та наданий в додатку А.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Організація монтажних та ремонтних робіт

Випарник - це теплообмінник, в якому відбувається обмін теплової енергії між рідиною і парами газу. Відбувається фізичний принцип передачі теплової енергії: від більш нагрітого тіла до більш холодного.

Випарні апарати - пристрої, в яких здійснюється теплообмін між двома або кількома теплоносіями або між теплоносіями і твердими тілами (стілкою, насадкою). Теплообмінні апарати є дуже поширеним типом апаратури. Наприклад, на нафтопереробних заводах і підприємствах основної хімії частка теплообмінної апаратури становить близько 40%.

Способи монтажу і ремонту теплообмінників різні і визначаються їх конструкцією, розташуванням в просторі і щодо інших апаратів технологічної установки, а також умовами експлуатації.

Кожухотрубний випарник - являє собою пучок трубок, помічених в циліндричний кожух (корпус) таким чином, що корпус всередині є міжтрубному просторі. Теплообмінні трубки за Вальцьована в кінцевих трубних дошках, приварених до корпусу теплообмінника. У деяких кромки трубок додатково обварюються для гарантії герметичності з'єднання. Проміжні трубні решітки призначені як для підтримки трубок, так і для організації поперечного струму середовища. До трубним дошках кріпляться камери з патрубками для відведення середовища, поточної всередині трубок. Залежно від наявності та кількості в камерах перегородок, теплообмінники можуть бути одноходових, двох або багатходові по руху середовища, що тече в трубках. Також корпус забезпечений патрубками для підведення пари і відведення конденсату.

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

Випарники встановлюють горизонтально або вертикально на різних висотних відмітках відповідно до проекту. Опорною конструкцією для них можуть служити: фундаменти у вигляді двох бетонних або залізобетонних стовпів

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні) і балки висотних металоконструкцій (при вертикальному розташуванні і горизонтальному розташуванні на великих висотах).

У переважній більшості випадків випарники встановлюють в проектне положення за допомогою самохідних кранів. Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується установка випарників двома кранами, що працюють узгоджено. На рис.4.1 наведені схеми підйому і установки теплообмінників при різному їх розташуванні. Теплообмінники, розташовані в два яруси і більше, доцільно піднімати великими блоками з кількох апаратів після їх взаємної трубопровідної обв'язки, якщо це дозволяють підйомні кошти. Для стикування однотипних теплообмінників та уніфікації їх трубопровідної обв'язки строго витримують при виготовленні установчі розміри штуцерів на корпусі і на розподільчій камері. При підйомі блок обв'язаних теплообмінників включають в ґратчастий твердий контейнер.

До трубопровідної обв'язки приступають після остаточної перевірки стану корпусу і закріплення болтів, що з'єднують його опори або лапи з постаментом. Положення теплообмінника вивіряють рівнем або вереском, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки. При горизонтальному розташуванні теплообмінників температурні деформації корпусу між опорами можуть досягати декількох міліметрів, тому одна з опор повинна бути рухливою. Нерухому опору, звичайно встановлюється з боку нерухомих трубних решіток, закріплюють намертво; гайки болтів рухомої опори, має овальні вирізи, не затягуйте на 1-1,5 мм, але фіксують контргайками. Зазор між болтами і овальними вирізами повинен бути розташований в сторону можливого продовження теплообмінника. Поверхні ковзання захищають так, щоб виключити защемлення.

Змонтовано теплообмінники повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі-виробнику, тому на монтажному майданчику їх окремо НЕ опресовують, а обмежуються тільки перевіркою загальної системи теплообміну разом з трубопровідної обв'язкою після завершення монтажних робіт. У тих випадках, коли відсутня акт заводського випробування або апарат тривалий час перебував на

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складі або монтажному майданчику, перед монтажем теплообмінник піддають ревізії і, якщо в цьому є необхідність, ремонту.

Знос випарного апарату виражається в наступному: 1) зменшення товщини стінки корпусу, днища, трубних решіток; 2) випучення і вм'ятини на корпусі і днищах; 3) свищі, тріщини, прогари на корпусі, трубках і фланцях; 4) збільшення діаметра отворів для труб в трубних решітках; 5) прогин трубних решіток і деформація трубок, 6) заклинювання плаваючих головок і пошкодження їх струбцин; 7) пошкодження лінзових компенсаторів; 8) пошкодження сальникових пристроїв, коткових і пружинних опор; 9) порушення гідро - та теплоізоляції.

Підготовка до ремонту включає виконання наступних заходів:

1) знижується надлишковий тиск до атмосферного і апарат звільняється від продукту;

2) відключається арматура і відносяться заглушки на всіх підводних і відвідних трубопроводах;

3) проводиться продування азотом або водяною парою з наступним промиванням водою і продувкою повітрям;

4) виконується аналіз на наявність отруйних і вибухонебезпечних продуктів;

5) складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту; складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються наступні роботи:

1) зняття днищ апарату, люків, демонтаж обв'язки і арматури;

2) виявлення дефектів вальцювання і зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним та пневматичним випробуванням на робочий тиск;

3) часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб гнуття або зварюванням;

4) ремонт футеровки і антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною;

5) ремонт або заміна арматури, зносилися, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- б) зміна ущільнень розбірних з'єднань;
- 7) виписка трубок, чистка внутрішньої поверхні корпусу апарату і теплообмінних трубок, зачистки отворів в трубних решітках, зачистки кінців трубок;
- 8) заміна частини корпусу, днищ (кришок) і зношених деталей;
- 9) виготовлення нових трубок;
- 10) монтаж трубного пучка і вальцювання труб в ґратах;
- 11) ремонт плаваючих головок;
- 12) монтаж різьбових з'єднань;
- 13) гідравлічне випробування міжтрубної і трубної частин апарату пробним тиском;
- 14) пневматичне випробування апарату.

Основними конструктивними недоліками теплообмінних апаратів є: 1) велика трудомісткість розбирання-збирання апарату при чищенні і заміні трубного пучка; 2) мала надійність вальцювальних з'єднань трубок з трубною дошкою; 3) складність ущільнення кришкою трубної дошки плаваючою головки.

Витягати трубні пучки можна тільки з теплообмінників з плаваючою головкою. Найменш механізованим способом є отримання трубного пучка за допомогою лебідок і домкратів. Більш прогресивні спеціальні пристрої для вилучення - екстрактори. Екстрактори - пристосування, які кріпляться на фланці теплообмінника і за допомогою домкрата або лебідки виштовхують трубний пучок. Пучок, витягується, рухається разом з візком, на якій кріпиться його передня частина.

Демонтаж проводиться в певній послідовності: 1) знімаються кришки теплообмінного апарату; 2) демонтуються деталі плаваючої головки; 3) проводиться попереднє зрушення трубчатки; 4) тракторної лебідкою трубний пучок витягується з апарату; 5) за допомогою хомутів і стропів трубчатка підвішується до гака автомобільного крана, після остаточного вилучення трубчатка опускає її на причіп для транспортування на місце очищення та ремонту.

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

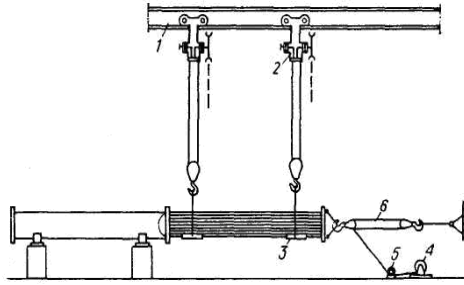


Рисунок 4.1 -. Пристосування для зміни пучків теплообмінників:

1 - напрямна балка; 2 - тельфер; 3 - підкладка під пучок; 4 - лебідка; 5 - відвідний блок; 6 - поліспасть.

На рис. 4.1 представлений спосіб вилучення трубного пучка за допомогою стаціонарного монорельса з лебідкою. На монорейці розміщуються два тельфери, що дає можливість без труднощів проводити демонтаж і монтаж трубчатки. Видобуток трубчатки здійснюється відвідним блоком 5 і поліспасти 6. Для цього може також застосовуватися пересувна монорельса (рис. 4.2).

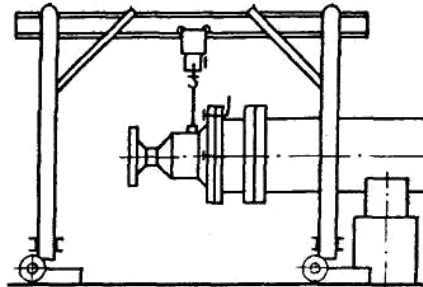


Рисунок 4.2 - Пересувна монорельса.

Видобуток трубчатки за допомогою пересувного візка представлено на рис.4.3. Візок 6 жорстко кріпиться до фланця трубного пучка за допомогою сполучної планки 4 і болтів 3. Для цієї мети на плиті 8 встановлений опорний сухар 7. Для регулювання висоти трубного пучка опорна плита 8 з'єднується з платформою візки за допомогою чотирьох гвинтових домкратів 9. Виписка трубчатки здійснюється лебідкою 1, при цьому зусилля лебідки додається до коляски.

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

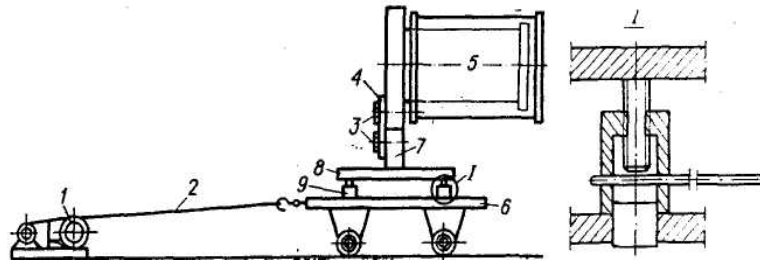


Рисунок 4.3. Пристосування для вилучення трубчатки з горизонтального теплообмінника:

1 - лебідка 2 - трос; 3 - болти; 4 - сполучна планка; 5 - теплообмінник; 6 - візок; 7 - опорний сухар; 8 - плита; 9 - домкрат для підйому опорної плити.

Для теплообмінників, розташованих на висоті, найбільш зручним вантажопідйомним механізмом залишається автомобільний кран. Витяг трубного пучка з вертикальних теплообмінників простіше, ніж з горизонтальних і проводиться принципово тими ж способами.

Для встановлення трубного пучка в корпус крім уже описаних пристосувань застосовується також спеціальне монтажне пристосування, замінює лебідку (рис. 4.4). Воно складається з корпусу 3 з фланцем і приводом. У привід входять електродвигун 1 і планетарний редуктор 6. Соосно з редуктором встановлений барабан 5 для намотування сталевого троса. У корпусі 3 для направлення троса встановлені два ролика 4. Пристосування кріпиться до корпусу теплообмінника замість кришки (рис.4.5). Монтаж трубного пучка здійснюється за підтримки тельферами або візком.

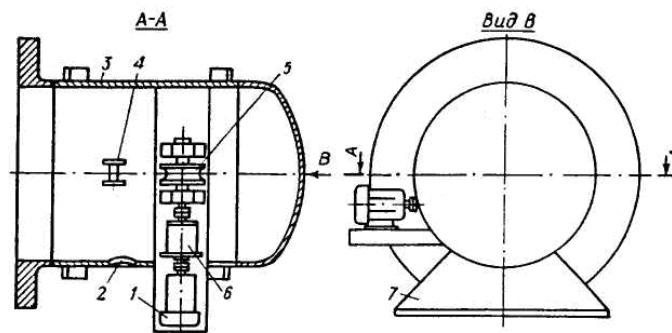


Рисунок 4.4- Переносний пристрій:

1 - електродвигун; 2 - вікно; 3 - корпус; 4 - ролики; 5 - барабан; 6 - редуктор; 7 - опори.

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

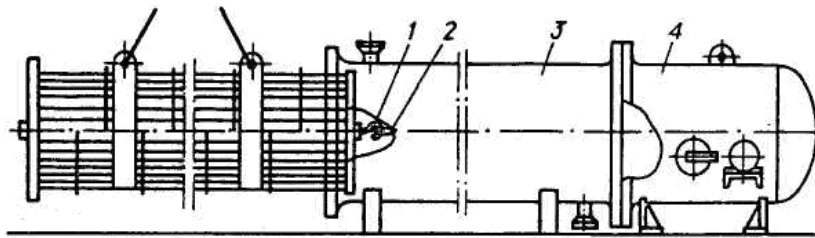


Рисунок 4.5 - Установка трубного пучка в корпус:

1 - гак; 2 - трос; 3 - теплообмінник; 4 - переносний пристрій.

Очищення трубок від відкладень включає в себе обробку як внутрішніх, так і зовнішніх поверхонь. Використовуються такі методи очистки:

1) хімічні; 2) абразивні (для нерозчинних відкладень) 3) спеціальні.

Хімічне очищення здійснюється без розтину і розбирання теплообмінника. Для очищення від накипу застосовують 5-15% розчин соляної кислоти з добавками інгібіторів. Для очищення від відкладень використовуються вуглецеві розчинники. Очищення від твердих відкладень виявляється ефективною при заповненні теплообмінника на добу 5% розчином соляної кислоти з добавкою рідкого скла. Твердий осад розпушується в цьому розчині і потім легко змивається водою.

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

Механічне очищення проводиться за допомогою шомполів, свердел, щіток, шарошок, різців, бурів з подачею води або повітря для видалення продуктів очищення. Найпростішим пристосуванням є сталевий пруток з ершом зі сталевого дроту, приварених до прутка.

Для чищення U-образних трубок застосовується гнучкий шланг. Очищення трубок за допомогою води і повітря називається гідропневматичною. В забруднену трубку одночасно подаються вода і стисле повітря. Стиснене повітря, розширюючись, різко збільшує швидкість руху води, починає переміщатися по трубці послідовними водяними «пробками» з інтенсивними завихреннями.

Спільне рух води і повітря швидко руйнує відкладення на стінках трубок, очищаючи їх. Одночасна подача в трубку води і повітря здійснюється за допомогою водоповітряного пістолета. Повітря під тиском 0,7-0,8 МПа і вода під тиском 0,5-0,6 МПа при співвідношенні 1: 1 подаються за допомогою шлангів.

Гідромеханічне очищення полягає в наступному. Насосом високого тиску по напірним шлангах вода подається в порожнисту штангу, на кінці якої встановлено сопло з декількома отворами. Струмінь води виходить з сопла під великим тиском, ріже і відриває відкладення від стінок поверхонь очищають. Гідність такого методу - можливість очищення внутрішньої і зовнішньої поверхонь трубок, а також корпусу безпосередньо на місці установки апарату. При цьому ступінь очищення досягає значно вище, ніж при інших методах.

Піскоструминне очищення дозволяє досягти найбільш повного очищення труб, в результаті чого коефіцієнт теплопередачі відновлюється до значень, що відповідають відсутності термічних опорів, обумовлених забрудненнями. Сутність піскоструминного очищення полягає в обробці поверхні суспензією піску в повітрі або воді, яка подається з великою швидкістю. Засмоктування піску здійснюється ежекційного установками.

До спеціальних методів очищення відноситься ультразвукової. Ультразвукові перетворювачі за допомогою головок з вібраторами, встановлюються в рідину (воду) всередині ємності, що підлягає очищенню, що дозволяє повністю видалити тверді відкладення, які руйнуються під дією ультразвукових коливань і які вимиваються звукопередаючим середовищем (водою).

При ремонті трубного пучка допускається установка пробок на 15% трубок в кожному потоці пучка. При виході з ладу понад 15% трубок всі вони замінюються повністю. Допускається застосування вживаних трубок, якщо вони втратили внаслідок зносу не більше 30% початкової ваги.

Виправлення вм'ятин в трубах здійснюються за допомогою пристосування, показаного на рис. 4.6. Штанга 2 протягується через трубу до упору оправлення 1 в вм'ятину. Після цього на штангу надягають клубу 3 і гайка 4. При затягуванні

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гайки оправлення випрямляє ум'яти ділянку. Видалення дефектних приварених труб здійснюється вирубкою звареного кільцевого шва. Нові трубки, вставляють, відрізають по довжині трубного пучка зі збільшенням на 8-10мм довжини. Кінці трубок зачищають до металевого блиску на довжину, рівну товщині решітки зі збільшенням 10мм на сторону. У трубних решітках всі отвори зачищають від задирок, іржі і бруду. Наявність поздовжніх рисок в отворах трубних решіток не допускається. Перед установкою трубок отвори в решітці продувають повітрям і насухо протирають.

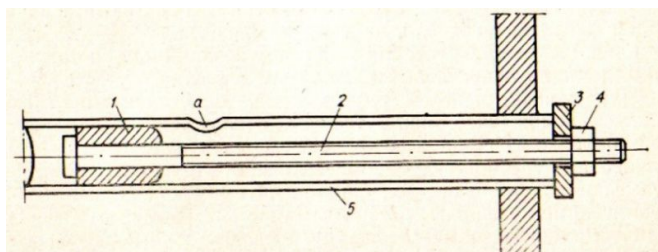


Рисунок 4.6 - пристосування для виправлення вм'ятин в трубах:

1-оправлення; 2-штанга з різьбленням; 3-клубу; 4-гайка; 5-труба; а - вм'ятина

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

5 . Охорона праці

Нормальна життєдіяльність людини вагомо залежить від умов зовнішнього середовища, зокрема виробничого. Адже в процесі трудової діяльності на організм людини чиниться своєрідний “тиск” несприятливими виробничими факторами, що прямо чи опосередковано впливають на її здоров’я та працездатність. Серед виробничих факторів прийнято розрізняти небезпечні та шкідливі.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров’я працівника./p>

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров’я, зниження працездатності працівника.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать: рухомі машини та механізми; пересувні частини виробничого устаткування; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура поверхонь устаткування, матеріалів чи повітря робочої зони; підвищений рівень шуму, вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації; підвищені чи понижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря; небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів; відсутність чи нестача природного світла; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; пряме та відбите випромінювання, що створює засліплюючу дію.

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на:

– загальнотоксичні, що викликають отруєння всього організму;

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– подразнюючі, що викликають подразнення дихального тракту та слизових оболонок;

– сенсibiliзуючі, що діють як алергени;

– канцерогенні, що викликають ракові захворювання;

– мутагенні, що призводять до змін наслідкової інформації;

– такі, що впливають на репродуктивну (дітонароджувальну) функцію.

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні грибки та ін.) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини).

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Один і той же небезпечний і шкідливий виробничий фактор за природою своєї дії може належати одночасно до різних груп.

Залежно від наслідків впливу на працюючих шкідливих та небезпечних виробничих факторів розрізняють виробничі травми, професійні захворювання та професійні отруєння, внаслідок яких може відбутись зниження або втрата працездатності (тимчасова чи постійна, повна чи часткова), можливий і фатальний кінець.

Виробнича травма – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок дії виробничих факторів.

Професійне захворювання – патологічний стан людини, обумовлений роботою і пов'язаний з надмірним напруженням організму або несприятливою дією шкідливих виробничих факторів.

Професійне отруєння – це порушення стану здоров'я в результаті дії шкідливих речовин при їх проникненні в організм людини у виробничих умовах. Довготривалий вплив незначних доз шкідливих речовин (однак дещо вищих за ГДК) призводить до хронічних отруєнь. Проникнення в організм великої кількості шкідливих речовин за короткий час (не більше доби) спричинює гострі отруєння.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будь-якій виробничій діяльності людини притаманний так званий енергетичний компонент. Праця, скажімо гірника чи верстатника, як і наукового працівника чи вчителя, завжди характеризується виконанням певної “зовнішньої” роботи, що передбачає і супроводжується деякими енергетичними витратами. Зрозуміло, що обсяги цих витрат для кожної професійної діяльності можуть відрізнятися, інколи навіть суттєво. Враховуючи це, було запропоновано класифікувати окремі види роботи за розмірами енерговитрат, необхідних для їх виконання. В таблиці 5.1 наведено поділ робіт на категорії (легкі, середньої важкості, важкі) залежно від енерговитрат організму.

Проте взяті ізольовані витрати енергії не можуть бути безумовним критерієм для оцінки будь-якої виробничої діяльності. Так, інтенсивна розумова робота, хоча й характеризується незначними енергетичними витратами, однак відрізняється, як правило, значним нервово-емоційним напруженням. Тому для більшої достовірності виробничу діяльність необхідно оцінювати комплексно, враховуючи як механічний, так і психічний компонент, хоча частка цих компонентів у різних видах діяльності людини неоднакова. Під час фізичної праці переважає м’язова діяльність (механічний компонент), а під час розумової – активізуються процеси мислення (психічний компонент).

Розглянемо детальніше характеристику фізичної та розумової діяльності людини.

Фізична діяльність визначається, в основному, роботою м’язів, до яких в процесі роботи посилено припливає кров, забезпечуючи надходження кисню та видалення продуктів окислення. Цьому сприяє, перш за все, активна робота серця та органів дихання. Так, частота серцевих скорочень, яка в стані спокою становить 65–70 скорочень за хвилину, при виконанні важких робіт може зростати до 150–170. Легенева вентиляція, що складає 6–8 літрів повітря на хвилину у стані спокою може досягати 150 л/хв під час важкої фізичної роботи. Значні фізичні навантаження зумовлюють суттєві зміни і в деяких інших органах та системах організму людини.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Категорії робіт за енерговитратами організму

Категорія роботи	Енерговитрати, Вт	Характеристика роботи
Легка Іа	До 139	Роботи, які виконуються сидячи, та супроводжуються незначним фізичним напруженням
Легка Іб	140-174	Роботи, які виконуються сидячи, або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням
Середньої важкості Іа	175-232	Роботи, які пов'язані з постійним ходінням, переміщенням дрібних (до 1кг) виробів або предметів у положенні стоячи або сидячи і які потребують незначного фізичного напруження
Середньої важкості Іб	233-290	Роботи, які пов'язані з ходінням та переміщенням вантажів масою до 1 кг
Важка	Понад 290	Роботи, які пов'язані з постійним переміщенням, пересуванням та перенесенням значних (понад 10 кг) вантажів і які потребують значних фізичних зусиль

М'язова робота має статичний та динамічний характер. При статичній роботі підвищується обмін речовин, збільшується витрата енергії, однак меншою мірою, ніж при динамічній роботі. Особливістю статичної роботи є її виражена втомлююча дія, обумовлена довготривалим скороченням і напруженням м'язів та відсутністю умов для кровообігу. Динамічна робота є менш виснажливою з огляду на те, що скорочення та напруження м'язів мають переривчастий характер. Чергування напруженої роботи м'язів та відпочинку сприяє повноцінному кровопостачанню.

Працездатність людини при фізичній роботі залежить від низки чинників: індивідуальних особливостей людини, ступеня тренуваності, фізичного розвитку, професійної підготовки.

Розумова діяльність людини визначається в основному участю в трудовому процесі центральної нервової системи та органів чуття. При розумовій роботі уповільнюється частота серцевих скорочень, підвищується кров'яний тиск, послаблюються обмінні процеси, зменшується кровопостачання кінцівок та черевної порожнини, водночас збільшується кровопостачання мозку (у 8–10 разів порівняно зі станом спокою). Розумова діяльність дуже тісно пов'язана з роботою

органів чуття, в першу чергу органів зору та слуху. Порівняно з фізичною діяльністю при окремих видах розумової діяльності (робота конструкторів, операторів ЕОМ, учнів та вчителів) напруженість органів чуття зростає в 5–10 разів. Це зумовлює більш жорсткі вимоги щодо рівнів шуму, вібрації, освітленості саме при розумовій діяльності.

Незважаючи на суттєві відмінності, поділ трудової діяльності на фізичну та розумову досить умовний. З розвитком науки та техніки, автоматизації та механізації трудових процесів, межа між ними все більше згладжується.

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого приміщення, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цього приміщення, який визначається температурою, відносною вологістю, рухом повітря та тепловим випромінюванням нагрітих поверхонь, що в сукупності впливають на тепловий стан організму людини.

В процесі трудової діяльності людина перебуває у постійній тепловій взаємодії з виробничим середовищем. За нормальних мікрокліматичних умов в організмі працівника, завдяки терморегуляції, підтримується постійна температура тіла (36,6 °С).

Кількість тепла, що утворюється в організмі, залежить від фізичного навантаження працівника, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов виробничого приміщення. Віддача тепла організмом людини здійснюється, в основному, за рахунок випромінювання і випаровування вологи з поверхні шкіри.

Чим нижча температура повітря і швидкість його руху, тим більше тепла віддається випромінюванням. При високій температурі значна частина тепла втрачається випаровуванням поту. Разом з потом організм втрачає воду, вітаміни, мінеральні солі, внаслідок чого збезводнюється, порушується обмін речовин. Тому працівники “гарячих” цехів забезпечуються газованою підсоленою водою.

Вологість повітря істотно впливає на віддачу тепла випаровуванням. Через високу вологість випаровування утруднюється і віддача тепла зменшується.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зниження вологості покращує процес тепловіддачі випаровуванням. Однак надто низька вологість викликає висихання слизових оболонок дихальних шляхів.

Рухомість повітря визначає рівень тепловіддачі з поверхні шкіри конвекцією і випаровуванням. У жарких виробничих приміщеннях при температурі рухомого повітря до 35 °С рух повітря сприяє збільшенню віддачі тепла організмом. З підвищенням температури рухоме гаряче повітря саме буде віддавати своє тепло тілу людини, викликаючи його нагрівання.

Рухоме повітря при низькій температурі викликає переохолодження організму. Різкі коливання температури в приміщенні, яке продувається холодним повітрям (протягом), значно порушують терморегуляцію організму і можуть викликати простудні захворювання.

Можливості організму пристосовуватись до метеорологічних умов значні, однак небезмежні. Верхньою межею терморегуляції людини, що знаходиться у стані спокою, прийнято вважати 30–31 °С при відносній вологості 85% чи 40 °С при відносній вологості 30%. При виконанні фізичної роботи ця межа значно нижча. Так, при виконанні важкої роботи теплова рівновага зберігається при температурі повітря 12–14 °С.

Таким чином, для нормального теплового самопочуття людини важливе певне співвідношення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря. На сьогодні основним нормативним документом, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень є санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99. В таблиці 4.2 наведені оптимальні та допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні виробничих приміщень для різних категорій важкості робіт в теплий та холодний періоди року. Період року визначається за середньодобовою температурою зовнішнього середовища $t_{сд}$. При $t_{сд} < +10^{\circ}\text{C}$ – холодний період року, а якщо $t_{сд} \geq +10^{\circ}\text{C}$ – теплий.

Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють комплекс мікрокліматичних чинників, які в умовах тривалої та систематичної дії на людину

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створюють комфортні теплові відчуття та збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів терморегуляції.

Допустимі мікрокліматичні умови – комплекс мікрокліматичних чинників, які в умовах тривалої та систематичної дії на людину можуть викликати дискомфортні відчуття та зміни теплового стану організму, однак вони швидко минають і нормалізуються за рахунок напруження механізмів терморегуляції в межах фізіологічних пристосувальних можливостей.

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря. Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах.

Шкідливі речовини можуть проникати в організм людини через органи дихання, органи травлення, а також шкіру та слизові оболонки. Через дихальні шляхи потрапляють пари, газо - та пилоподібні речовини, через шкіру переважно рідкі речовини. Через шлунково-кишкові шляхи потрапляють речовини під час ковтання або при внесенні їх в рот забрудненими руками.

Основним шляхом надходження промислових шкідливих речовин в організм людини є дихальні шляхи. Завдяки величезній (понад 90 м²) всмоктувальній поверхні легенів утворюються сприятливі умови для потрапляння шкідливих речовин у кров.

Шкідливі речовини, що потрапили тим, чи іншим шляхом в організм можуть викликати отруєння (гострі чи хронічні). Ступінь отруєння залежить від токсичності речовини, її кількості, часу дії, шляху проникнення, метеорологічних умов, індивідуальних особливостей організму. Гострі отруєння виникають в результаті одноразової дії великих доз шкідливих речовин (чадний газ, метан, сірководень).

Хронічні отруєння розвиваються внаслідок тривалої дії на людину невеликих концентрацій шкідливих речовин (свинець, ртуть, марганець). Шкідливі речовини, потрапивши в організм, розподіляються в ньому

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нерівномірно. Найбільша кількість свинцю накопичується в кістках, фтору – в зубах, марганцю – в печінці. Такі речовини мають властивість утворювати в організмі так зване “депо” і затримуватись в ньому тривалий час.

При хронічному отруєнні шкідливі речовини можуть не лише накопичуватись в організмі (матеріальна кумуляція), але й викликати “накопичення” функціональних ефектів (функціональна кумуляція).

Ступінь несприятливого впливу шкідливих речовин, що присутні в повітрі робочої зони, визначається також низкою інших чинників. Наприклад, підвищена температура і вологість, як і значне м’язове напруження, в більшості випадків, підсилюють дію шкідливих речовин.

Суттєве значення мають індивідуальні особливості людини. З огляду на це для робітників, які працюють у шкідливих умовах, проводяться обов’язкові попередні (при вступі на роботу) та періодичні (1 раз на 3, 6, 12 та 24 місяці, залежно від токсичності речовин) медичні огляди.

Шкідливі речовини, що потрапили в організм людини, спричинюють порушення здоров’я лише в тому випадку, коли їхня кількість в повітрі перевищує граничну для кожної речовини величину. Під гранично допустимою концентрацією (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони розуміють таку концентрацію, яка при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 годин чи іншої тривалості (але не більше 40 годин на тиждень) за час всього трудового стажу не може викликати професійних захворювань або розладів у стані здоров’я, що визначаються сучасними методами як у процесі праці, так і у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь.

За величиною ГДК в повітрі робочої зони шкідливі речовини поділяються на чотири класи небезпеки (ГОСТ 12.1.007-76):

- 1-й – речовини надзвичайно небезпечні, ГДК менше 0,1 мг/м³ (свинець, ртуть, озон);
- 2-й – речовини високонебезпечні, ГДК 0,1... 1,0 мг/м³ (кислоти сірчана та соляна, хлор, фенол, їдкі луги);

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– 3-й – речовини помірно небезпечні, ГДК 1,1...10,0 мг/м³ (вінілацетат, толуол, ксилол, спирт метиловий);

– 4-й – речовини малонебезпечні, ГДК більше 10,0 мг/м³ (аміак, бензин, ацетон, гас).

Гранично допустимі концентрації деяких шкідливих речовин в повітрі робочої зони в таблиці 4.3.

Необхідно зазначити, що в списку ГДК, поряд з величиною нормативу, може стояти літера, яка вказує на особливість дії цієї речовини на організм людини:

О – гостронаправленої дії;

А – алергічної дії;

К – канцерогенної дії;

Ф – фіброгенної дії.

					ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. Основні процеси і апарати хімічної технології: Посібник з проектування / За ред. докт. техн. наук проф.Ю.І. Дитнерського.- М .: Хімія, 1983. - 272 с.
2. Касаткін А.Г. Основні процеси та апарати хімічної технології, 8-е вид. перероб. М .: Хімія, 1971. - 784 с.
3. Лашинський А.А., Толчинский А.Р. Основи конструювання і розрахунку хімічної апаратури / Під ред. інж. Н.Н.Логінова. 2-е вид. перероб. і доповн. Л .: Машинобудування, 1970. - 752 с.
4. Павлов К.Ф., Романків П.Г., Носков А.А. Приклади і задачі по курсу процеси та апарати хімічної технології: Навчальний посібник для вузів (Під ред .П.Г.Романкова, 9-е вид., Перероб. та доповн. Л .: Хімія, 1981. - 560 с.
5. Чорнобильський І.І., Бондар А.Г., Гаєвський Б.А. та ін. Машини і апарати хімічних виробництв. / Під ред. І.І.Чернобильського, 3-е вид., Перероб. та доповн. М .: Машинобудування, 1975. - 456 с.
6. Лашинський А.А. Конструювання зварних хімічних апаратів: Довідник / За ред. канд. техн. наук А.Р. Толчинського. Л .: Машино-будування, 1981 - 382 с.
7. Фарамаз С.А. Ремонт і монтаж обладнання хімічних і нафтопереробних заводів. 2-ге вид., Перероб.-М. : Хімія, 1980.-312 с.
8. Єрмаков В.І., Шеїн В.С. Ремонт і монтаж хімічного обладнання. Л., "Хімія", Ленінградське відділення, 1981
9. Долін П.А. Охорона праці в промисловості будівельних матеріалів та будівництва. М. Енергія 1980р.
10. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. "Охорона праці в хімічній промисловості". М .: Хімія, 1977, - 568с.
11. Яхненко С. М. Монтаж, експлуатація та ремонт хімічного обладнання : конспект лекцій / С.М. Яхненко, А. В. Литвиненко / Суми : Сумський державний університет, 2013. – 192 с

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		