

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ ТА 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 : «Ректифікаційна установка для розділення суміші метиловий спирт – етиловий спирт. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу»

Виконав:

студент групи ХМ-61

Абакумов Богдан Романович

підпис

Залікова книжка

№ 14010245

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

Керівник:

Михайловський Я.Е.

з оцінкою _____

" _____ " _____ 20____ р.

підпис, дата

Підпис голови

(заступника голови) комісії

Суми 2020

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 ХМ-61

Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студенту Абакумову Богдану Романовичу

1. Тема проекту: «Ректифікаційна установка для розділення суміші метиловий спирт – етиловий спирт. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу»

2. Вихідні дані: Холодний теплоносій – етиловий спирт, у кожусі у кількості 1800 кг/год під тиском 1 ат. Гарячий теплоносій – водяна насичена пара, під тиском 1 ат.

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

1. Технологічна схема установки 1 арк.

2. Складальне креслення апарата 1 арк.

3. Креслення деталей і вузлів апарата 1,5 арк.

4. Питання з охорони праці: _____

5. Рекомендована література: 1. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1982. – 772 с. 2. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. — 10-е изд., перераб. и доп. — Л.: Химия, 1987. — 576с..

6. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

Дата видачі завдання _____

лютий 2020

Керівник _____

Михайловський Я.Е.

підпис

Реферат

Пояснювальна записка: 49 ст., 10 рис., 4 табл., 2 додатки, 16 літературних джерел. Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальне креслення корпусу, креслення розподільної камери, креслення опори - всього 4 аркуша формату А1, 1 аркуш А2.

Тема проекту: «Ректифікаційна установка для розділення суміші метиловий спирт – етиловий спирт. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу". Наведено теоретичні основи і особливості процесу випаровування рідини, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконані технологічні розрахунки апарата, визначені його розміри, обґрунтований вибір матеріалів для виготовлення апарата.

Підібрано потрібну товщину стінки, а також вибрано потрібні опори для апарата. Проведено розрахунок фланцевого з'єднання. Підібрані особливості монтажу та ремонту апарата. Розкрито питання по охороні праці.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, ВИПАРНИК, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, ТЕПЛООБМІННИК, РОЗРАХУНОК.

Зміст

Вступ.....	5
1. Технологічна частина.....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу.....	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	12
2. Технологічні розрахунки процесу і апарата.....	18
2.1 Матеріальний та тепловий баланс процесу.....	18
2.2 Конструктивні розрахунки.....	23
2.3 Гідравлічний опір апарату.....	25
2.4 Вибір додаткового обладнання.....	27
3. Розрахунки апарату на міцність та герметичність.....	31
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки.....	31
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	33
3.3 Розрахунок опори апарата	33
4. Монтаж та ремонт апарата.....	36
4.1 Монтаж розробленого апарату.....	36
4.2 Ремонт апарату.....	38
5. Охорона праці.....	36
5.1 Вплив високої температури апаратури на здоров'я та умови праці людини. Основні заходи для безпечної праці в приміщеннях підприємства при високій температурі апаратів та виробництва.....	42
5.2. Розрахунок теплової ізоляції.....	47
Список літератури.....	48
Додаток А “Розрахунок фланцевого з'єднання”	
Додаток Б “Специфікації до креслень”	

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Випарник Пояснювальна записка					
Разраб.	Абакумов							Лит.	Лист	Листов
Провер.	Михайловський							4	43	
Реценз								СумДУ, гр.ХМ-61		
Н. Контр.										
Утверд.										

Вступ

Ректифікація являє собою процес багаторазового часткового випаровування рідини і конденсації пари. Процес здійснюється шляхом контакту потоків пари і рідини, що мають різну температуру, і проводиться зазвичай в колонних апаратах.

Проводячи послідовно ряд процесів випаровування рідини і конденсації пари в випарнику, можна отримати в результаті рідину (дистилят), що представляє собою практично чистий низькокиплячий компонент.

Аналогічно, виходячи з парової фази, що відповідає складу рідини шляхом проведення ряду послідовних процесів конденсації і випаровування можна отримати рідину (залишок), що майже повністю складається з висококиплячого компонента.

Термодинамічний процес кипіння визначається як процес випаровування рідини з утворенням в її обсязі досить великих парових утворень. Процеси пароутворення надають інтенсивності теплообміну вплив, що пов'язано як зі зростанням і рухом парових утворень в поверхні теплообміну, так і з вмістом парової фази в об'ємі рідини.

Перевагою використання кожухотрубчастих випарників в ректифікаційних установках є можливість отримання значної поверхні теплообміну при порівняно невеликих габаритах, тому даний вид апаратів широко використовується в хімічній промисловості, а їх конструкція та спосіб дії являється доволі актуальною темою для вивчення теплообмінних процесів.

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

1. Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Принципова схема ректифікаційної установки безперервної дії для розділення бінарної суміші проілюстрована на рис.1.1 і 1.2 .

Суміш вихідна із ємності-сховища - 1 насосом - 2 подається в підігрівник - 3, де нагрівається насиченою водяною парою до температури кипіння, нагріта суміш подається в середню частину ректифікаційної колони на тарілку живлення [1].

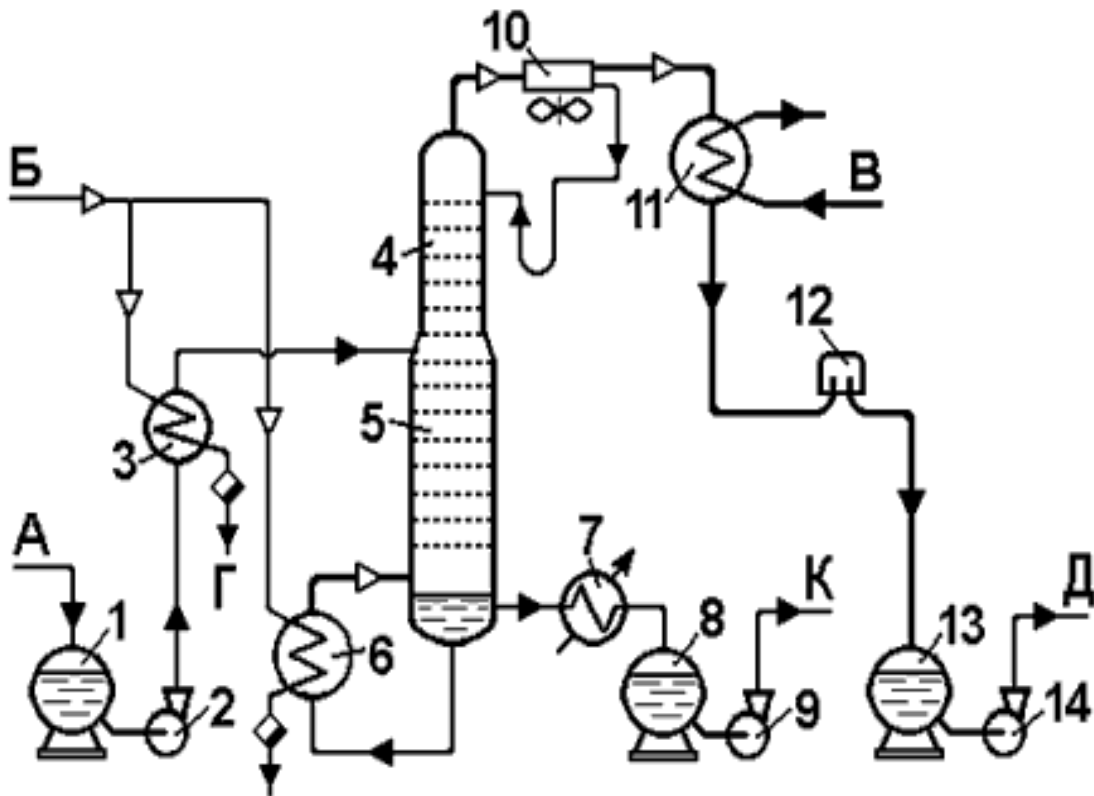


Рис. 1.1 - Схема ректифікаційної установки безперервної дії: Потоки: А - вихідна суміш; Б - гріюча пара; В - вода; Г - конденсат гріючої пари; Д - дистиллят; К - кубовий залишок; 1, 8, 13 - ємності-сховища; 2, 9, 14 - відцентрові насоси; 3 - підігрівач; 4, 5 - верхня і нижня частини ректифікаційної колони; 6 - кип'ятильник; 7 - холодильник; 10 - конденсатор; 11 - конденсатор-холодильник; 12 - концентратовимірник

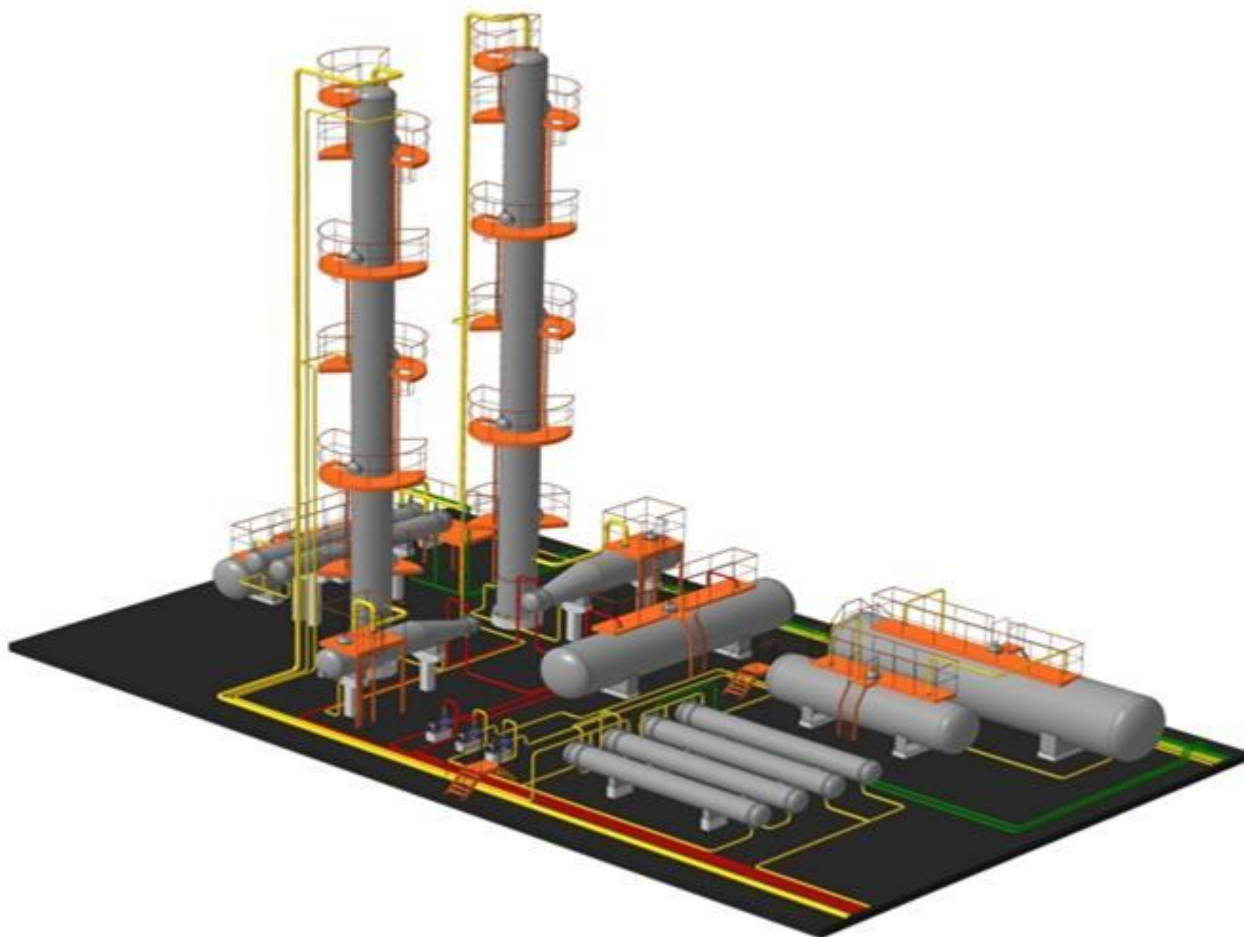


Рис. 1.2 - Двоколонна ректифікаційна установка

Ректифікаційна колона безперервної дії складається із двох складових верхньої (концентраційної) частини - 4 і нижньої (вичерпної) частини - 5.

У нижній частині колони з рідини вилучається НКК при взаємодії на тарілках пари, що піднімається по колоні знизу вгору, зі стікаючою рідиною зверху. Пара в нижній частині колони створюється за рахунок випаровування частини залишку в теплообміннику-випарнику - 6, що обігрівається насиченою водяною парою. Кубовий залишок виводиться з нижньої частини колони, і після охолодження в холодильнику - 7 надходить у ємність-сховище - 8, звідки відцентровим насосом 9 відкачується на подальшу переробку.

У верхній частині колони відбувається підвищення концентрації парової фази НКК за рахунок взаємодії пари, що піднімається по колоні, зі стікаючою флегмою, що подається на верхню тарілку колони. Висококонцентрована пара

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

НКК з колони надходить у конденсатор - 10, де частково конденсуються, конденсат у вигляді флегми повертається в колону. Частина пари, що складається переважно із чистого НКК, поступає в конденсатор-холодильник - 11, де повністю конденсується, при цьому отримують цільовий продукт - дистилят. Концентрацію дистиляту контролюють концентратовимірником - 12, дистилят відводять у ємність-сховище - 13 і насосом - 14 відкачують на подальшу переробку.

1.2 Теоретичні основи процесу

В хімічній промисловості теплові процеси проходять в різному діапазоні температур. Одним з видів процесів теплообміну є той, під час якого теплоносії змінюють свій агрегатний стан. Особливістю таких процесів є те, що при їх використанні передаються значно більші питомі теплові потоки у невеликих об'ємах теплообмінної апаратури. При цьому теплота підводиться до теплоносіїв чи відводиться від них при постійній температурі, поширюючись в двох фазах [5].

Процес пароутворення (перехід речовини від рідкого чи твердого стану в газоподібний), що характеризується виникненням нових вільних поверхонь поділу рідкої та парової фаз всередині рідини, нагрітої вище температури насичення являється кипінням. Рідина закипає, коли її температура $T_{жс}$ стає вище температури насичення T'' при даному тиску (рідина перегріта відносно її температури насичення $T_{жс} > T''$).

Визначається вид кипіння за дійсними значенням густини теплового потоку в поверхні нагрівання q_w , фізичними властивостями рідини і гідродинамічним режимом потоку [11].

Розрізняють два основних види (режими) кипіння – бульбашкове і плівкове.

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

Процес при якому на поверхні нагрівання утворюється суцільна плівка пари, що періодично проривається в об'єм рідини являється плівковим кипінням.

Процес при якому пара утворюється у вигляді бульбашок, що періодично зароджуються і ростуть на поверхні нагріву являється бульбашковим кипінням.

При даному процесі найбільш сприятлива фізична обстановка на поверхні нагріву, у тонкому шарі біля стінки рідина перегріта більше, ніж в іншому об'ємі, тому на стінці є зародки парової фази у формі мікробпадин, які заповнені газом або паром даної рідини [5].

Процес бульбашкового кипіння складається із двох етапів: зародження бульбашки, та росту і спливання.

Отже, кипіння рідини виникає на межі розділення холодного теплоносія з нагрітою стінкою, а температура стінки повинна бути вищою від рівноважного значення температури при даному тиску для конкретної речовини. Рушійною силою процесу тепловіддачі при кипінні є різниця температур між гарячою стінкою й температурою кипіння середовища. Під впливом рушійної сили на гарячій поверхні стінки відбувається утворення парових пухирців, що відриваються від стінки, піднімаються угору й розширюються в об'ємі за рахунок зменшення гідростатичного тиску [12].

Інтенсивність кипіння залежить від величини рушійної сили та питомого навантаження теплового потоку, при цьому розрізняють пухирчасте та плівкове кипіння. Дослідженнями встановлено, що найбільша інтенсивність теплообміну на межі між середовищем і стінкою досягається при певній критичній різниці температур $\Delta t_{кр}$ і певному критичному навантаженні теплового потоку $q_{кр}$, згідно графіку наведеного на рисунку 1.3 [16].

При кипінні стінка апарата покривається ізолюючим шаром тонкої парової плівки з низькою теплопровідністю, що призводить до перегріву стінки й можливого її пригорання. При значеннях різниці температур і щільності теплового потоку більше критичних величин ($\Delta T_{кр1}$ та $q_{кр1}$) коефіцієнт тепловіддачі різко зменшується, а потім зберігає майже постійне значення.

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

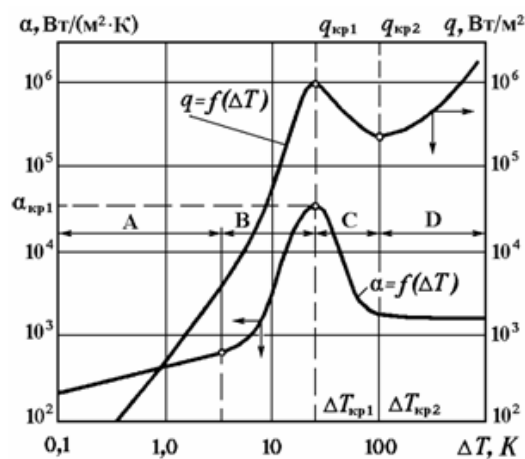


Рисунок 1.3 Залежність щільності теплового потоку (q) і коефіцієнта тепловіддачі (α) при кипінні води від різниці температур та режимів кипіння: А - природна конвекція; В - пухирчасте кипіння; С - перехідна область; D - плівкове кипіння

У промислових теплообмінних апаратах, щоб уникнути переходу до нестабільного плівкового режиму кипіння та перегрівання стінок, прагнуть працювати при теплових навантаженнях, що не перевищують $q = 10^5 \cdot \text{Вт}/\text{м}^2$ та менші від критичних [16].

В більшості випадках для розрахунків коефіцієнта тепловіддачі при розвиненому пухирчастому кипінні чистих рідин і розчинів у вертикальних трубах в умовах природної циркуляції рекомендують використовувати критеріальне рівняння такого вигляду:

$$\text{Nu} = 54 K_0^{0,6} \cdot \text{Pr}^{-0,3} \quad (1.1)$$

де:

- Nu- модифікований критерій Нуссельта, $\text{Nu} = \alpha(\sigma/\rho_{\text{ж}})^{0,5}/\lambda$;
- K - критерій кипіння, що враховує діаметр і частоту відриву пухирців пари при кипінні, $K_0 = q/r d_0 u_{\text{рп}}$;
- Pr - критерій (число) Прандтля для рідини.

В свою чергу процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий або твердий називають конденсацією. Розрізняють наступні види конденсації: в об'ємі пари або парогазовій суміші й конденсацію на поверхні твердого тіла або рідини, з якими пара (парогазова суміш) перебуває в контактi.

Пара починає конденсуватися на поверхні, якщо її температура підтримується нижче температури насичення при даному тиску. При цьому розрізняють плівкову й краплинну конденсації.

Процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий на гідрофільній поверхні твердого тіла, при якому утворюється суцільна плівка конденсату являє собою плівкову конденсацію [11].

В свою чергу процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий на гідрофобній поверхні твердого тіла, при якому на ній утворюються окремі краплі конденсату. являє собою краплинну конденсацію.

При плівковій конденсації на вертикальній стінці плівка конденсату під дією сили тяжіння стікає зверху вниз; товщина плівки в міру її просування вниз збільшується. У верхній частині товщина плівки мала і режим руху ламінарний. Якщо висота вертикальної поверхні досить велика, то на деякій відстані від верхнього краю товщина плівки досягає критичного значення та режим її руху переходить у турбулентний. При конденсації пари на поверхні горизонтальних труб довжина поверхні конденсації незначна, тому режим течії плівки конденсату практично завжди ламінарний [5].

При умовному процесі тепловіддачі зображеному на рисунку 1.4. від насиченої пари, що конденсується, до вертикальної поверхні стінки, що змочена конденсатом, через елементарну площину dF , при цьому швидкість утворення плівки конденсату щодо нормалі до поверхні теплообміну дорівнює w [16].

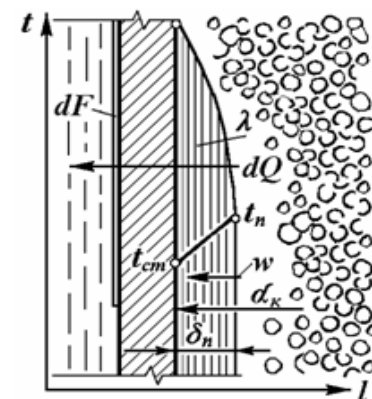


Рисунок 1.4 Розрахункова схема процесу конденсації пара на вертикальній поверхні стінки

Кількість тепла, передана від пари, що конденсується, до елементарної площини за одиницю часу дорівнює

$$dQ = m_k r = w \cdot dF \cdot \rho \cdot r \quad (1.2)$$

- де m_k - масова витрата пари, кг/с;
- r - питома теплота конденсації пари, Дж/кг;
- ρ - густина конденсату, кг/м³.

1.3.Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Згідно з завдання до проектування та розрахунку балаклавської випускної роботи кожухотрубного теплообмінника з паровим простором для випаровування етанолу була проведена робота по вивченню даного апарата в даному розділі.

До даної категорії теплообмінних апаратів пред'являються ті ж вимоги, що і до інших видів теплообмінників: висока інтенсивність теплопередачі, мала витрата металу та ін.

Завданням конструктивного розрахунку випарника є визначення його основних розмірів. Випарник (рис. 1.3) являє собою горизонтальний циліндричний кожухотрубний теплообмінний апарат з паровим простором, утворений трубним і міжтрубним простором.

Трубний простір, в якому рухається гарячий теплоносій, утворений розподільною камерою і трубами[2].

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

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

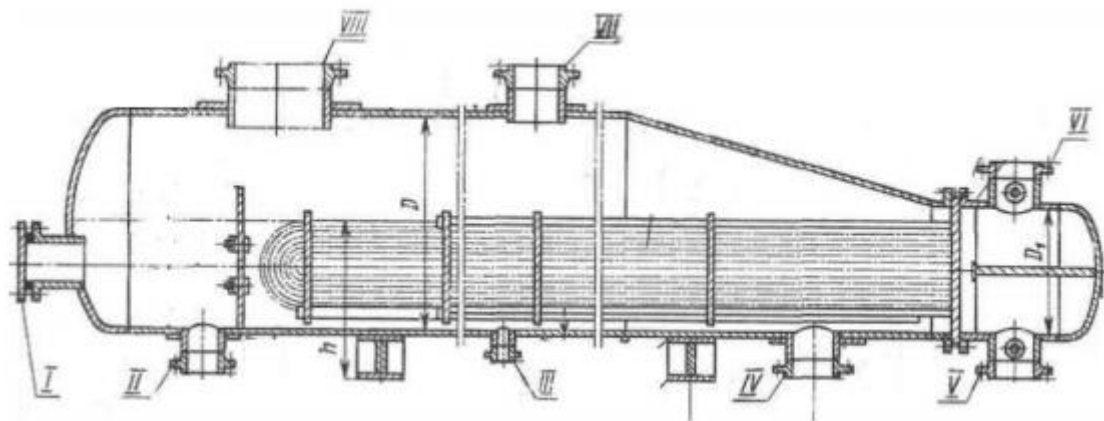


Рисунок 1.5 - Конструкція випарника з паровим простором типу У

Нижче в таблиці 1.1. відображено призначення штуцерів для даного апарата, згідно рис 1.3.

I	Ду200	Для монтажу пучка
II	Ду4	Для виходу залишку продукту
III	Ду50	Дренаж
IV	Ду3	Для входу рідкого продукту
V	Ду2	Для виходу конденсату
VI	Ду2	Для входу пару
VII	Ду1	Для виходу парів продукту
VIII	Ду500	Люк

Таблиця 1.1. Призначення штуцерів для випарника з паровим простором типу У

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.

Визначення основних розмірів випаровувача являється основним завданням конструктивного розрахунку.

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

В даному апараті здійснюється передача тепла від гарячого теплоносія до холодного, через розділену поверхню теплообміну.

Корпус апарата 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 трубній решітці. 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 апарата і повинні забезпечувати герметичність з'єднання.

Пучок труб даного апарата знаходиться постійно зануреним в рідину яка знаходиться в колоні. Це обумовлено наявністю переливної перегородки, яка забезпечує постійний рівень в апараті. Висота перегородки, як правило, на 5 - 15 см вище пучка, щоб забезпечити гарантоване затоплення труб. Кожух апарата має набагато більший розмір діаметра по відношенню до пучка в порівнянні зі стандартними кожухотрубними теплообмінниками. Діаметр пучка становить 40-60% від діаметра кожуха (парового простору) [3]

Перевагами даного апарата є те, що цей вид:

- підходить для роботи під вакуумом;
- підходить для високої швидкості випаровування (до 80% від отриманого потоку);

Недоліками даного апарата є те, що цей вид:

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

- теплопередача в порівнянні з іншими типами теплообмінних апаратів нижче середньої;

- не підходить для потоків з високою схильністю до забруднення.

Основними конструктивними елементами цього апарата є:

- обичайка розподільного барабана;

- монтажного штуцера 2-х еліптичних днищ трубного пучка;

- зливної пластини;

- патрубків входу та виходу продукту;

- монтажного люка;

Встановлюється даний апарат на дві сідлові опори, змонтовані на бетонній основі.

Розрізняють такі типи кожухотрубних випарників за типом теплообмінної частини апарата:

- теплообмінні апарати з нерухомими трубними;

- теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками та з лінзовим компенсатором на кожусі;

- теплообмінні апарати з плаваючою головкою;

- теплообмінні апарати з U- образними трубами.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з U-подібними трубами мають одну трубну решітку, в яку завальцьовані обидва кінця U-образних теплообмінних труб. Відсутність інших жорстких зв'язків теплообмінних U-образних труб з кожухом забезпечує вільне подовження труб при зміні їх температури. Крім того, перевага теплообмінників з U-подібними трубами полягає в відсутності роз'ємного з'єднання всередині, що дозволяє успішно застосовувати їх при підвищених тисках теплоносіїв, що рухаються в трубному просторі [12].

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

Недоліком таких апаратів є труднощі чищення внутрішньої і зовнішньої поверхні труб, внаслідок чого вони використовуються переважно для чистих продуктів.

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища і т.д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості та не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення виробу.

Для забезпечення умов роботи даного апарата, прийнята сталь Ст3, що має непогані 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 наведені в таблиці 1.2.

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E · 105 МПа	σ _т МПа	σ _в 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

Таблиця 1.2 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 3

Матеріалом зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з середовищем, приймаємо конструкційну сталь 10. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняній дешевизні та хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями.

Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.3

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E · 105 МПа	σ_T МПа	σ_B 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

Таблиця 1.3 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 10

Для виготовлення пристроїв, необхідних для забезпечення зручності обслуговування і зовнішнього огляду апарата, вибираємо прокат з листової та профільної сталі звичайної якості - ВСт3пс3 згідно ГОСТ 380-71. На користь вибору цієї сталі приймається її низька вартість, гарна оброблюваність та добра зварюваність.

Для захисту зовнішніх поверхонь апарата 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.

2. Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Матеріальний та тепловий баланс процесу

Витрата холодного теплоносія у кожусі в кг/с:

$$G_1 = \frac{1800}{3600} = 0,5 \text{ кг/с.}$$

Температура кипіння етанолу при $P_{\text{вип}} = 1,0$ ат вказана на таб. XLIV [4]

$$t_{\text{кип}} = 78,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Теплота випаровування етанолу при даній температурі кипіння за додатком VII [4]

$$r_1 = 840 \text{ кДж / кг.}$$

Кількість теплоти, поглиненої при випаровуванні рідини

$$Q_{\text{вип}} = G_1 \cdot r_1 \text{ (2.1)}$$

$$Q_{\text{вип}} = 0,5 \cdot 840 = 420 \text{ кВт.}$$

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання на випаровування рідини буде дорівнювати 0, оскільки за умовами проектування температура фазового переходу постійна.

$$Q_{\text{нагр}} = G_1 \cdot C_1 \cdot (t_{\text{кип}} - t_{\text{н}}) \text{ (2.2)}$$

$$Q_{\text{нагр}} = 0 \text{ кВт}$$

Теплове навантаження апарата з урахуванням 5% втрат тепла

$$Q = 1,05 \cdot (Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}}) = 1,05 \cdot (420 + 0) = 441 \text{ кВт (2.3)}$$

Температура пари при тиску $p_{\text{н}} = 1,0$ ат за додатком LVII [5]

$$t_{2\text{н}} = 99,1 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Це значення відповідатиме середній температурі конденсату водяної пари.

Фізичні параметри конденсату при $t_{2\text{ср}} = 99,1 \text{ }^\circ\text{C.}$ (додаток I, II, III, IV) [4]:

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

- теплоємність $c_2 = 4,19 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$;
- теплопровідність $\lambda_2 = 0,681 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$;
- щільність $\rho_2 = 0,579 \text{ кг / м}^3$;
- в'язкість $\mu_2 = 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- теплота конденсації $r_2 = 2237 \text{ кДж / кг}$.

Витрати пару:

$$G_2 = \frac{Q}{r_2 + c_2(t_{2н} - t_{2к})} \quad (2.4)$$

$$G_2 = \frac{441}{2237 + 4,19(99,1 - 99,1)} = 0,2 \text{ кг / с}$$

Для визначення зон процесу теплообміну, знаходимо значення температури t' :

$$t' = t_{2к} + \frac{Q_{нагр}}{G_1 + C_1} \quad (2.5)$$

Оскільки $Q_{нагр} = 0$, то значення температури $t' = t_{2к} = 99,1^\circ \text{С}$.

Середня різниця температур для зони випаровування дорівнюватиме 0, оскільки температура під час процесу не змінюється в жодному теплоносії, змінюються лише їх фазові стани.

Прийmemo температуру стінки апарата на 15°С вище середньої температури етилового спирту [6], тобто:

$$t_{ст} = t_{1ср} + 15 = 78,3 + 15 = 93,3^\circ \text{С} \quad (2.6)$$

Оскільки водяна пара конденсується в горизонтальних трубах апарата, за формулою 4.58 знаходимо значення коефіцієнта тепловіддачі [5]:

$$\alpha_{конд} = 1,85 \cdot A^2 \cdot \Delta t_{конд} \cdot l^{0,7} \cdot d^{-0,5} \quad (2.7)$$

де A – коефіцієнт, фізико-хімічних констант; $q_{конд}$ – питома теплова навантаження при конденсації пари; l – довжина труб, $l = 6 \text{ м}$; d – внутрішній

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

діаметр труб, $d = 21 \cdot 10^{-3}$ м.

При конденсації пари в горизонтальній трубі визначаємо коефіцієнт A , який наведено на рис. 4.8 [5].

Коефіцієнт A , для пари визначаємо за температурою $t_{\text{кон}} = 99,1^\circ\text{C}$.

$$A = 8,5$$

$$\alpha_{\text{конд}} = 1,85 \cdot 8,5^2 \cdot \Delta t_{\text{конд}} \cdot 6^{0,7} \cdot 0,021^{-0,5} = 3233 \cdot \Delta t_{\text{конд}} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

відповідно:

$$q_{\text{конд}} = \alpha_{\text{конд}} \cdot \Delta t_{\text{конд}} = 3233 \cdot \Delta t_{\text{кон}}^2 \text{ (2.8)}$$

Коефіцієнт тепловіддачі киплячого етилового спирту знаходимо за формулою 4.65. [5]:

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \cdot \varphi \cdot p^{0,4} \cdot q_{\text{кип}}^{0,7} \text{ (2.9)}$$

де φ - множник, що враховує фізичні властивості рідини, $\varphi = 0,45$; p – тиск виражений в кгс / см², $p = 1$ кгс / см².

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \cdot 0,45 \cdot 1^{0,4} \cdot q_{\text{кип}}^{0,7} = 1,224 \cdot q_{\text{кип}}^{0,7} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Для розрахунку початкового значення $K_{\text{вих}}$, приймаємо, що при даному встановленому режимі теплопередачі (сталому теплообмінному процесі), маємо

$$q_{\text{конд}} = q_{\text{ст}} = q_{\text{кип}} \text{ (2.10)}$$

де:

$$q_{\text{конд}} = \alpha_{\text{конд}} \cdot (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}}) \text{ (2.11)}$$

$$q_{\text{ст}} = (t_{\text{ст1}} - t_{\text{ст2}}) / \Sigma r_{\text{ст}} \text{ (2.12)}$$

$$q_{\text{кип}} = \alpha_{\text{кип}} \cdot (t_{\text{ст2}} - t_{\text{кип}}) \text{ (2.13)}$$

Приймаємо теплову провідність забруднення стінки зі сторони гріючого (конденсуючого) пару:

					<i>ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$1/r_{\text{загр1}} = 5800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

зі сторони киплячої рідини, а саме етилового спирту, згідно табл. XXXI [5]:

$$1/r_{\text{загр2}} = 2900 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Отже, розрахунок теплової провідності стінки матиме наступний вигляд:

$$\frac{1}{\sum r_{\text{ст}}} = \frac{1}{\frac{1}{r_{\text{загр1}}} + \frac{0,002}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_{\text{загр2}}}} \quad (2.14)$$

де, $\lambda_{\text{ст}}$ – коефіцієнт теплопровідності сталі, згідно табл. XXVIII [5]

$$\lambda_{\text{ст}} = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Знаходимо значення теплової провідності стінки:

$$\frac{1}{\sum r_{\text{ст}}} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{2900}} = 1785 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Оскільки значення $t_{\text{ст}}$, та q заздалегідь не відомі, для розрахунку коефіцієнту теплопередачі використовуємо метод послідовних наближень.

Для визначення $K_{\text{вих}}$, виражаємо $\alpha_{\text{кип}}$, з формули (2.9) через $q_{\text{конд}}$ згідно формули (2.8):

$$\alpha_{\text{кип}} = 1,224 \cdot q_{\text{кип}}^{0,7} = 1,224 \cdot (3233 \cdot \Delta t_{\text{кон}}^2)^{0,7} = 350 \Delta t_{\text{кон}}^{1,4}$$

Розраховуємо початкові значення $q_{\text{вих}}$ та $K_{\text{вих}}$, приймаючи значення $\Delta t_{\text{кон}} = 1 \text{ К}$ [5]:

$$K_{\text{вих}} = \frac{1}{\frac{1}{3825} + \frac{1}{1785} + \frac{1}{394}} = 298 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$q_{\text{вих}} = K_{\text{вих}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} \quad (2.15)$$

де $\Delta t_{\text{ср}}$ – середня різниця температур (рушійна сила), $\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{кон}} - t_{\text{кип}} = 99,1 - 78,3 = 20,8 \text{ К}$;

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

$$q_{\text{вих}} = K_{\text{вих}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 298 \cdot 20,8 = 6198 \text{ Вт/м}^2$$

Відповідно отримуємо значення $(\Delta t_{\text{конд}})_I = q_{\text{вих}}/3233 = 6198/3233 = 1,92 \text{ К} = 1,92 \text{ }^\circ\text{С}$

Створюємо таблицю для внесення наступних розрахунків наближення [5]:

Таблиця 2.1.

№ розрахунку	Конденсація гріючої пари						
	$t_{\text{конд}} \text{ }^\circ\text{С}$	$t_{\text{ст1}} \text{ }^\circ\text{С}$	$\Delta t_{\text{конд}} \text{ К}$	$\alpha_{\text{конд}} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	$q_{\text{конд}} \text{ Вт/м}^2$		
1	99,1	97,18	1,92	6207	11917		
2	99,1	97,3	1,8	5819	10474		
№ розрахунку	Стінка та її забруднення		Кипіння етанолу				
	$1/\Sigma r_{\text{ст}} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	$\Delta t_{\text{ст}} \text{ К}$	$t_{\text{ст2}} \text{ }^\circ\text{С}$	$t_{\text{кип}} \text{ }^\circ\text{С}$	$\Delta t_{\text{кип}} \text{ К}$	$\alpha_{\text{кип}} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	$q_{\text{кип}} \text{ Вт/м}^2$
1	1785	6,68	90,8	78,3	12,5	873	10913
2	1785	5,87	91,31	78,3	13,01	798	10382

В першому наближенні:

$$(t_{\text{ст1}})_I = \Delta t_{\text{конд}} - (\Delta t_{\text{конд}})_I = 99,1 - 1,92 = 97,18 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$(\alpha_{\text{конд}})_I = 3233 \cdot (\Delta t_{\text{конд}})_I = 3233 \cdot 1,92 = 6207 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)};$$

$$(q_{\text{конд}})_I = (\alpha_{\text{конд}})_I \cdot (\Delta t_{\text{конд}})_I = 6207 \cdot 1,92 = 11917 \text{ Вт/м}^2;$$

$$(\Delta t_{\text{ст}})_I = \Sigma r_{\text{ст}} \cdot (q_{\text{конд}})_I = 11917/1785 = 6,68 \text{ К} = 6,68 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$(t_{\text{ст2}})_I = (t_{\text{ст1}})_I - (\Delta t_{\text{ст}})_I = 97,48 - 6,68 = 90,8 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$(\Delta t_{\text{кип}})_I = (t_{\text{ст2}})_I - t_{\text{кип}} = 90,8 - 78,3 = 12,5 \text{ К} = 12,5 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$(\alpha_{\text{кип}})_I = 1,224 \cdot (q_{\text{конд}})_I^{0,7} = 1,224 \cdot 11917^{0,7} = 873 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)};$$

$$(q_{\text{кип}})_I = (\alpha_{\text{кип}})_I \cdot (\Delta t_{\text{кип}})_I = 873 \cdot 12,5 = 10913 \text{ Вт/м}^2.$$

Для другого наближеного розрахунку розраховуємо значення величини

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

K_I , підставляючи необхідні значення з отриманих під час першого наближеного розрахунку:

$$K_I = \frac{1}{\frac{1}{6207} + \frac{1}{1785} + \frac{1}{873}} = 536 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

отже:

$$q_I = K_I \cdot \Delta t_c = 536 \cdot 20,8 = 11149 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Проводимо розрахунок аналогічно першому, результати занесено в табл. 2.1. Величину $(\Delta t_{\text{конд}})_I$ розраховуємо приймаючи наступну тотожність $(q_{\text{конд}})_{II} = q_I$ при $(\alpha_{\text{конд}})_I = 6207 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$\text{Знаходимо } (\Delta t_{\text{конд}})_{II} = q_I / (\alpha_{\text{конд}})_I = 11149 / 6207 = 1,8 \text{ К} = 1,8 \text{ }^\circ\text{С}.$$

По другому наближеному розрахунку розходження між значеннями $q_{\text{конд}}$ та $q_{\text{кип}}$ дорівнює: $(10447 - 10382) / 10382 \cdot 100 = 0,63\% < 5\%$

За отриманими результатами другого наближеного розрахунку, знаходимо коефіцієнт теплопередачі K [5]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5819} + \frac{1}{1785} + \frac{1}{798}} = 504 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (2.16)$$

Знаходимо необхідну поверхню теплообміну апарата:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{441 \cdot 10^3}{504 \cdot 20,8} = 42 \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

Згідно з [4] маємо поверхню теплообміну апарата необхідно брати с запасом до 30 %, тобто приймаємо апарат з площею теплообміну 51 м^2 , оскільки $(51 - 42) / 42 \cdot 100 = 21,5\%$

2.2 Конструктивні розрахунки

Вибираємо випарний апарат за попереднім значення поверхні теплообміну F , без урахування $K_{\text{наг}}$ – коефіцієнту теплопередачі зон нагріву.

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

Згідно з мінімального значення площі поверхні теплообміну відповідного витраті етилового спирту з ГОСТ 15121-79 вибираємо наступні параметри випарного апарата:

- поверхня теплообміну $F = 51 \text{ м}^2$;
- число трубних пучків – 1;
- число труб в одному пучку $n_T = 134$;
- число ходів $Z = 2$;
- площа прохідного перерізу одного ходу по трубах $F_T = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
- зовнішній діаметр труб $d_n^2 = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- внутрішній діаметр труб $d_{вн}^2 = 21 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- діаметр трубного пучка $D_{тр} = 400 \text{ мм}$;
- внутрішній діаметр кожуху $D = 800 \text{ мм}$;
- довжина труб $L = 6 \text{ м}$;

Наступним кроком розраховуємо для випарного апарата штуцери для підводу-відводу теплоносіїв, розрахунок проводиться за наступною формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} \quad (2.18)$$

де V та G - об'ємна та масова витрати рідини (етилового спирту) або водяної пари відповідно, в $\text{м}^3/\text{с}$ та $\text{кг}/\text{с}$; w - швидкість витікання середовища, $\text{м}/\text{с}$; ρ - щільність потоку середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рух теплоносіїв, а саме їх швидкість для випарних апаратів рекомендовано повинні відповідати наступним значенням [4]:

- для рідини при протіканні 0,1-0,5 $\text{м}/\text{с}$, та в напірних трубопроводах 0,5-2,5 $\text{м}/\text{с}$;
- для газів 5-15 $\text{м}/\text{с}$;
- для пару 20-40 $\text{м}/\text{с}$.

Розраховуємо для входу та виходу в випарний апарат холодного теплоносія (етилового спирту) діаметри патрубків $d_{вх1}$, $d_{вих1}$ (для цього

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

розрахунку ρ – щільність парів етилового спирту), м :

$$d_{\text{вх1}} = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1800/3600}{3,14 \cdot 735 \cdot 0,5}} = 0,042 \text{ м}$$

$$d_{\text{вих1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1800/3600}{3,14 \cdot 2,043 \cdot 15}} = 0,144 \text{ м}$$

Наступним кроком розраховуємо для входу та виходу в випарний апарат гарячого теплоносія (насиченої водяної пари) діаметри патрубків $d_{\text{вх2}}$, $d_{\text{вих2}}$ (для цього розрахунку ρ – щільність конденсованої води):

$$d_{\text{вх2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 0,597 \cdot 20}} = 0,146 \text{ м}$$

$$d_{\text{вих2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 958 \cdot 0,5}} = 0,0036 \text{ м}$$

Для проектування даного випарного апарата вибираємо наступні розміри штуцерів, а саме:

- для входу етилового спирту $D_y = 50$ мм, $P_y = 0,2$ МПа;
- для виходу парів етилового спирту $D_y = 150$ мм, $P_y = 0,2$ МПа;
- для входу насиченої пари $D_y = 150$ мм, $P_y = 0,25$ МПа;
- для виходу конденсованої рідини $D_y = 40$ мм, $P_y = 0,25$ МПа.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Розраховуємо об'ємну витрату гарячого теплоносія (пари), що віддає тепло:

$$V_{\text{п}} = G_{\text{п}}/\rho_{\text{п}} \quad (2.19)$$

$$V_{\text{п}} = 0,2/0,597 = 0,335 \text{ м}^3/\text{с}$$

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

Визначаємо дійсну швидкість гарячого теплоносія (пари):

$$w_{\text{п}} = V_{\text{п}} / F_{\text{т}} \quad (2.20)$$

$$w_{\text{п}} = 0,335 / 26 \cdot 10^{-3} = 12,88 \text{ м/с}$$

Згідно формули 4.13 [5], визначаємо значення критерія Re для гарячого теплоносія (пари):

$$\text{Re} = (w_{\text{п}} \cdot d \cdot \rho_{\text{п}}) / \mu_{\text{п}} \quad (2.21)$$

де $\mu_{\text{п}}$ визначено з додатку LVI [5]:

$$\text{Re} = (12,88 \cdot 0,021 \cdot 0,597) / 0,0123 \cdot 10^{-3} = 13128$$

за значенням числа Re, робимо висновок, що режим руху пари – перехідний. Визначаємо коефіцієнт тертя в трубах для перехідного режиму руху:

$$\lambda = 0,316 / \text{Re}^{0,25} \quad (2.22)$$

$$\lambda = 0,316 / 13128^{0,25} = 0,0295$$

Розраховуємо в прямих трубах втрату тиску на тертя:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot (n \cdot l) / d \cdot (w_{\text{п}}^2 \cdot \rho_{\text{п}}) / 2 \quad (2.23)$$

де n – число труб

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,0295 \cdot (2 \cdot 6) / 0,021 \cdot (12,88^2 \cdot 0,597) / 2 = 834 \text{ Па}$$

Визначаємо через коефіцієнти лінійних опорів втрати тиску на опорах.

$\zeta_1 = 1,5$ – для вхідної та вихідної камери;

$\zeta_2 = 1,0$ – для входу та виходу з труби.

$$\Delta P_{\text{м}} = \sum \zeta \cdot (w_{\text{п}}^2 \cdot \rho_{\text{п}}) / 2 \quad (2.24)$$

$$\Delta P_{\text{м}} = (2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,0) \cdot (12,88^2 \cdot 0,597) / 2 = 248 \text{ Па}$$

Розраховуємо в трубному просторі загальну витрату тиску, як суму втрат тиску в трубах на тертя та втрат тиску на опорах:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}} \quad (2.25)$$

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

$$\Delta P = 834 + 248 = 1082 \text{ Па}$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Для даного апарата проводимо вибір та спрощений розрахунок допоміжного обладнання. В якості допоміжного обладнання вибираємо ємність для холодного теплоносія (етилового спирту) та центробіжний насос для його подачі до апарата[5].

Для нормальної роботи даного апарата необхідна ємність для подачі холодного теплоносія.

Розраховуємо об'єм ємності для вихідної речовини, тобто етилового спирту:

$$V = G \cdot \tau / \rho \cdot \varphi \quad (2.26)$$

де:

- G_c – витрата етилового спирту, $G_c = 0,5 \text{ кг/с}$;

- τ – час який потрібен для зберігання вихідної речовини, приймаємо $\tau = 3600 \text{ с}$;

- ρ_c – густина етилового спирту, $\rho_c = 785 \text{ кг/м}^3$;

- φ – коефіцієнт заповнення ємності, $\varphi = 0,8$.

$$V = (0,5 \cdot 3600) / (785 \cdot 0,8) = 2,87 \text{ м}^3$$

Вибираємо стандартизовану ємність для етилового спирту відповідно до розрахованого вище об'єму.

Згідно каталогу вибираємо горизонтальний сталевий двустерний резервуар (ємність) РГД (РГСД).

Характеристики ємності:

- об'єм 3 м^3 ;

- діаметр ємності 1400 мм ;

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

- довжина ємності 2060 мм;
- число опор 2 шт;
- маса 830 кг;
- площа внутрішня 16 м².

В залежності від фазового стану теплоносія, для котрого розраховувалась втрата тиску в апараті необхідно вибрати насос [11].

Вибір типорозміру насосу з числа стандартних здійснюється по значенням витрати рідини та напору. Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводу приймемо однакову швидкість середовища $w = 0,5$ м/с. Тоді згідно формули (2.18) визначаємо діаметр труб:

$$d = 0,042 \text{ м}$$

Відповідно до табличних значень та ГОСТ 10704-91 вибираємо сталю трубу с зовнішнім діаметром 50 мм, з товщиною стінки 3,5 мм. Тоді внутрішній діаметр буде дорівнюватиме 43 мм.

Розраховуємо фактичну швидкість рідини в трубопроводі:

$$w = \frac{4G}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 0,043^2 \cdot 735} = 0,47 \text{ м/с}$$

Приймаємо, що корозія трубопроводу незначна.

Визначаємо втрати на тертя місцевих опорів. За формулою (2.21) визначаємо число Рейнольдса для визначення режиму руху рідини [5].

$$Re = (0,47 \cdot 0,043 \cdot 735) / 0,435 \cdot 10^{-3} = 34148$$

Робимо висновок, що режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість рівній $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Тоді:

$$e = \Delta/d \text{ (2.27)}$$

$$e = 2 \cdot 10^{-4} / 0,043 = 4,65 \cdot 10^{-3}$$

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

Далі отримаємо наступні значення:

$$1/e = 215; 560/e = 120430; 10/e = 2150; 215 \leq Re \leq 120430$$

Таким чином в трубопроводі присутнє змішане тертя, отже розрахунок λ необхідно проводити за формулою:

$$\lambda = 0,11 \cdot (e + 68/Re)^{0,25} \quad (2.28)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (4,65 \cdot 10^{-3} + 68/34148)^{0,25} = 0,0314$$

Визначимо суму коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \xi_{\text{вс}} = 0,5 \cdot (2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,0) = 2,5$$

$$\sum \xi_{\text{н}} = 1,1 \cdot (2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,0) = 5,5$$

Знаходимо втрачений напір в всмоктувальній та нагнітаючій лінії:

$$h = \left(\frac{\lambda \cdot e}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (2.29)$$

$$h_{\text{вс}} = \left(\frac{0,0314 \cdot 4,65 \cdot 10^{-3}}{0,043} + 2,5 \right) \cdot \frac{0,47^2}{2 \cdot 9,81} = 0,028 \text{ м}$$

$$h_{\text{н}} = \left(\frac{0,0314 \cdot 4,65 \cdot 10^{-3}}{0,043} + 5,5 \right) \cdot \frac{0,47^2}{2 \cdot 9,81} = 0,062 \text{ м}$$

Визначаємо загальну втрату напорів

$$h_{\text{п}} = h_{\text{вс}} + h_{\text{н}} = 0,028 + 0,062 = 0,09 \text{ м}$$

Знаходимо напір насоса згідно формули 1.31 [11]:

$$H = \Delta P / (\rho \cdot g) + H_{\text{г}} + h_{\text{п}} \quad (2.30)$$

Для представленого виду апарату приймаємо значення геометричної висоти підйому рідини $H_{\text{г}} = 0$, згідно схемою установки, оскільки насос та випарний апарат знаходяться на одному рівні.

$$H = 1082 / (735 \cdot 9,81) + 0 + 0,09 = 0,24 \text{ м}$$

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

Оскільки значення напору доволі невелике, то при заданій продуктивності можемо забезпечити одноступінчатим центробіжним насосом.

Враховуючи поширення даних насосів в промисловості та враховуючі їх достатньо високе значення к.к.д., компактності та зручності вибираємо саме цей вид насосів.

Корисну потужність насоса розраховуємо згідно формули 1.32 [11]:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2.32)$$

$$N = 735 \cdot 9,81 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 0,24 = 1211 \text{ Вт} = 1,21 \text{ кВт}$$

Прийmemo $\eta_{\text{п}}=1$ и $\eta_{\text{н}}=0,6$ (для центробіжного насоса середньої продуктивності) для знаходження потужності на валу двигуна, згідно формули 1.34 [11]:

$$N_{\text{н}} = N_{\text{п}} / \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{н}} \quad (2.33)$$

$$N_{\text{н}} = 1,21 / 0,6 \cdot 1 = 2 \text{ кВт}$$

Відповідно до таблиці 2.5. [5] вибираємо необхідний насос. Більш всього розрахованим параметрам відповідає центробіжний насос марки X8/18, для котрого при оптимальних умовах роботи $Q=2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=11,3 \text{ м}$, $\eta_{\text{н}}=0,5$. Насос забезпечений електродвигуном АО2 -31-2 номінальною потужністю $N_{\text{н}} = 3 \text{ кВт}$, $\eta_{\text{дв}} = 0,82$.

					<i>ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

3 Розрахунок апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата та кришки.

В конструйованому апараті приймаємо, що використовувалось ручне дугове електрозварювання, тому приймаємо коефіцієнт зварних швів, тобто їх міцності $\varphi = 0,9$. Вибираємо напругу для конструкційного матеріалу, а саме для Ст3 при $t \approx 100^\circ\text{C}$ допустиме напруження $\sigma = 149\text{ МПа}$ [5].

Відповідно в міжтрубному просторі маємо наступний тиск етилового спирту:

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

Визначаємо допустиму напругу для листового металу:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 149 = 149 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

На рисунку 3.1 представлена схема розрахунку обичайки апарата.

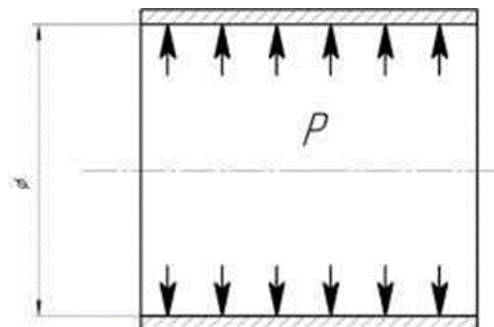


Рис. 3.1 Схема розрахунку обичайки

Розраховуємо товщину стінки кожуху апарата:

$$s = (p \cdot D) / (2 \cdot \varphi [\sigma] - p) \quad (3.2)$$

$$s = (0,1 \cdot 800) / (2 \cdot 0,9 \cdot 149 - 0,15) = 0,3 \text{ мм}$$

Визначаємо пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при допустимій напрузі:

$$[\sigma]_{\text{п}} = \sigma_{\text{T}} / 1,1 = 210 / 1,1 = 191 \text{ МПа} \quad (3.3)$$

тоді пробний тиск дорівнюватиме:

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

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot p \cdot [\sigma]_{\text{п}} / [\sigma] = 1,25 \cdot 0,1 \cdot 191 / 149 = 0,16 \text{ МПа} \quad (3.4)$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки кожуха:

$$s_p = (p_{\text{п}} \cdot D) / (2 \cdot \varphi [\sigma]_{\text{п}} - p_{\text{п}}) = (0,16 \cdot 800) / (2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,16) = 0,37 \text{ мм}$$

Вибираємо за весь термін служби випарного апарата (10 років) надбавку до розрахункової товщини стінки кожуха надбавку $c = 3,0$ мм:

$$s = s_p + c = 0,37 + 3 = 3,37 \text{ мм} \quad (3.5)$$

На малюнку 3.2 представлена розрахункова схема днища апарата.

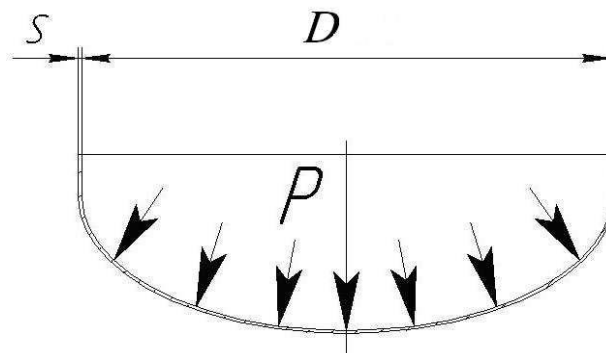


Рисунок 3.2 Схема розрахунку еліптичного днища апарата

Приймаємо стандартне значення товщини стінки кожуху s з запасом, та маємо значення товщини стінки кожуху $s = 4,0$ мм.

Наступним кроком розраховуємо товщину кришки випарного апарата, тиск насиченої пари під кришкою:

$$p_{\text{п}} = 1 \text{ ата} = 0,1 \text{ МПа}$$

Визначаємо при проведенні гідравлічних випробуваннях розрахункову товщину стінки кришки:

$$s_p = (p_{\text{п}} \cdot D) / (2 \cdot \varphi [\sigma]_{\text{п}} - 0,5 \cdot p) = (0,16 \cdot 800) / (2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,5 \cdot 0,16) = 0,37 \text{ мм}$$

Аналогічно до значення товщини стінки кожуху приймаємо значення товщини стінки кришки s з запасом до стандартного. А саме, виконавча товщина кришки:

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

$$s_{кр} = s_p + c = 0,37 + 3 = 3,37 \text{ мм}$$

Отже приймаємо товщину кришки $s_{кр} = 4 \text{ мм}$.

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Вибір і перевірочний розрахунок фланцевого з'єднання корпус-розподільча камера представлений в додатку А до пояснювальної записки дипломного проекту.

3.3 Розрахунок опори апарата

Для визначення сили тяжіння апарата в робочому стані та визначення необхідної опори визначаємо маси конструкційних елементів:

визначаємо масу обичайки кожуха апарата:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho \quad (3.6)$$

де ρ - щільність сталі, згідно з додатком І [5] $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 2 \cdot 7860 = 159 \text{ кг}$$

визначаємо масу кришки та днища апарата:

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.7)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7860 = 25 \text{ кг}$$

визначаємо масу труб апарата:

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho \quad (3.8)$$

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 2 \cdot 134 \cdot 7860 = 635 \text{ кг}$$

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

визначаємо масу фланцю з ґратами апарата:

$$m_{\phi} = \frac{\pi D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho \quad (3.9)$$

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

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,92^2}{4} \cdot 0,03 \cdot 7860 = 157 \text{ кг}$$

визначаємо обсяг міжтрубного простору:

$$V_M = F_{\text{мтр}} \cdot l \quad (3.10)$$

$$V_M = 0,75 \cdot 2 = 1,5 \text{ м}^3$$

Визначаємо масу холодного теплоносія (етилового спирту) в апараті

$$m_{\text{хт}} = V_M \cdot \rho \cdot \varphi \quad (3.11)$$

де φ – коефіцієнт заповнення апарата, $\varphi = 0,7$

$$m_{\text{хт}} = 1,5 \cdot 735 \cdot 0,7 = 772 \text{ кг}$$

На рисунку 3.3 зображено ескіз опори апарата.

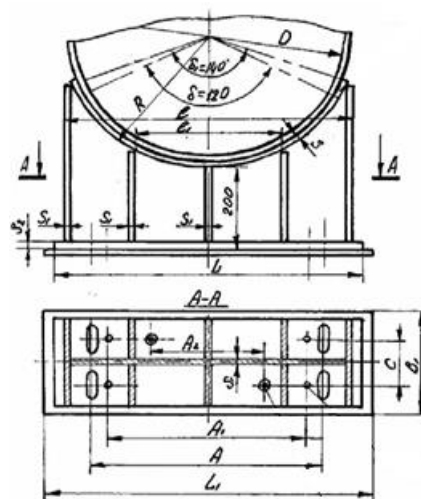


Рис. 3.3 Ескіз опори апарата

Після визначення даних елементів можемо провести розрахунок сили тяжіння апарата в робочому стані та визначення необхідної опори:

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

$$G = g \cdot (m_k + 2m_{кр} + m_{тр} + 2m_{ф} + m_{хт}) \quad (3.12)$$

$$G = 9,81 \cdot (159 + 2 \cdot 50 + 635 + 157 + 772) = 17884 \text{ Н} = 17,9 \text{ кН}$$

Для даного типу випарного апарата приймаємо кількість опор рівнім 2, $n = 2$, після чого визначаємо навантаження на одну опору для можливості вибрати з переліку стандартних конструкцій.

$$Q = G/n = 17,9/2 = 8,95 \text{ кН}$$

Для розрахункового апарата вибираємо сідлову опору типу 1, Опора 10-800-1 ОСТ 26-1665-75, з допустимим навантаженням $Q = 10 \text{ кН}$ для забезпечення запасу.

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

4. Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж розробленого апарата

Теплообмінні апарати являються одним з найпоширеніших типом апаратури на заводах і підприємствах, теплообмінна апаратура може становити до 40 % всієї апаратури

Способи монтажу й ремонту теплообмінників різноманітні й визначаються їхньою конструкцією, розміщенням у просторі й стосовно інших апаратів технологічної установки, а також умовами експлуатації.

Маса й розміри кожухотрубних теплообмінників, що випускаються сьогодні, дозволяють транспортувати їх до місця монтажу в повністю зібраному вигляді на заводі-виготовлювачі. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомашини, сани й інші способи перевезення.

Теплообмінники встановлюють горизонтально або вертикально за різними оцінками відповідно до проекту. Опорною конструкцією для них можуть бути: фундаменти у вигляді двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні) і балки висотних металоконструкцій (при вертикальному розташуванні й горизонтальному розташуванні на більших висотах) [7].

У переважній більшості випадків теплообмінники встановлюють у проектне положення за допомогою самохідних кранів. Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується установка теплообмінників за допомогою двох кранів, що працюють строго узгоджено. На рис.3.1 наведені схеми підйому й установки теплообмінників при різному їхньому розташуванні. Теплообмінники, розміщені у два яруси й більше, доцільно піднімати великими блоками з декількох апаратів після їх взаємної трубопровідної обв'язки, якщо це дозволяють підймальні засоби. Для стикування однотипних теплообмінників і уніфікації їхньої трубопровідної обв'язки строго витримують при виготовленні настановні розміри штуцерів на

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

корпусі й на розподільній камері. При підйманні блок обв'язаних теплообмінників поміщають у ґратчастий твердий контейнер, за який і роблять стропування.

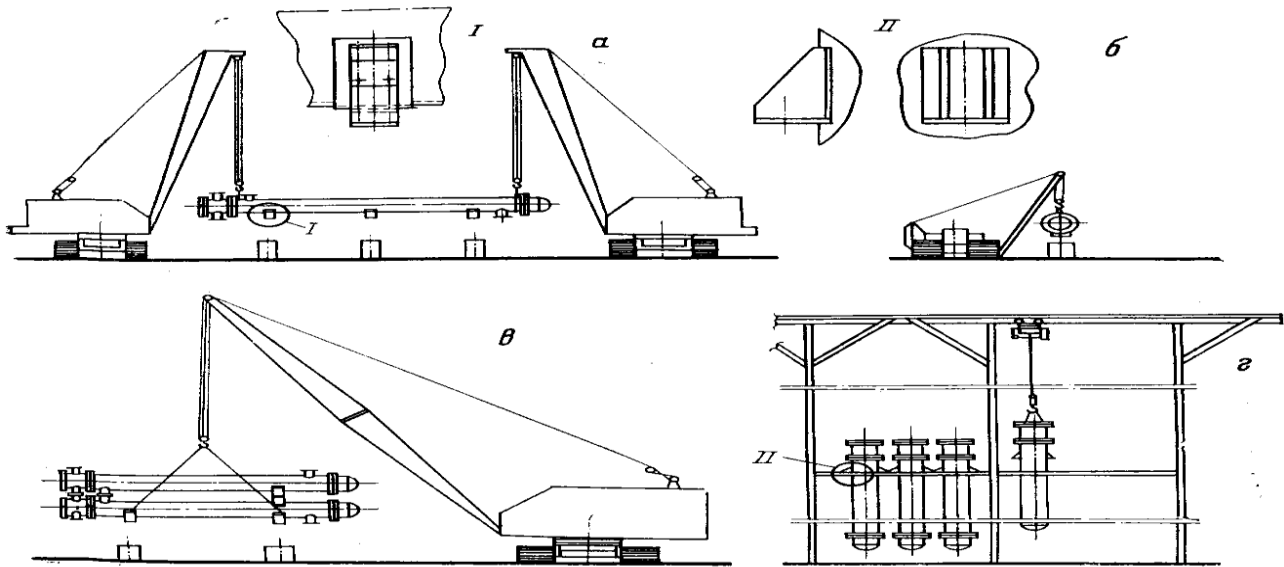


Рисунок 4.1 — Способи монтажу теплообмінних апаратів:

а – за допомогою двох кранів; б - трубоукладачем; в – блок теплообмінників краном; г – вертикальних теплообмінників монобалкою; I – опора горизонтальних теплообмінників; II- опора вертикальних теплообмінників

Трубопровідну обв'язку розпочинають після остаточної перевірки положення корпусу й закріплення болтів, що з'єднують його опори або лабети з постаментом. Положення теплообмінника перевіряють рівнем або важком, 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 рухомою. Нерухому опору, як правило, встановлювану з боку нерухомих трубних ґрат, закріплюють намертво; гайки болтів рухомої опори, що має овальні вирізи, не затягують на 1-1,5 мм, але фіксують контргайками. Зазор між болтами й овальними вирізами повинен бути розміщений у бік можливого подовження теплообмінника. Поверхні ковзання захищають так, щоб виключити защемлення[8].

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

Змонтовані теплообмінники повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі-виготовлювачі, тому на монтажній площадці їх роздільно не опресовують, а обмежуються тільки перевіркою загальної системи теплообміну разом із трубопроводною обв'язкою після завершення монтажних робіт. У тих випадках, коли відсутній акт заводського випробування або ж апарат тривалий час перебував на складі або монтажній площадці, перед монтажем теплообмінник піддають ревізії і, якщо в цьому є необхідність, ремонту.

4.2 Ремонт апарату

У процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забрудненню й зношуванню. Поверхня їх обкипає маслом, відкладеннями солей і смол, окиснюється й т. п. Зі збільшенням відкладень зростає термічний опір стінки й погіршується теплообмін.

Зношування теплообмінного апарата виражається в таких змінах:

1) зменшенні товщини стінки корпусу, днища, трубних ґрат; 2) опуклостях і вм'ятинах на корпусі й днищах; 3) свищах, тріщинах, прогарах на корпусі, трубках і фланцях; 4) збільшенні діаметра отворів для труб у трубних ґратах; 5) прогинах трубних ґрат і деформації трубок; 6) заклинюванні плаваючих головок й ушкодженні їхніх струбцин; 7) ушкодженні лінзових компенсаторів; 8) ушкодженні чепцевих пристроїв, каткових і пружинних опор; 9) порушенні гідро- і термоізоляції.

Підготовка до ремонту даних видів апаратів передбачає виконання таких заходів:

- знижується надлишковий тиск до атмосферного і апарат звільняється від продукту;

- відключається арматура і ставляться заглушки на всіх підвідних та відвідних трубопроводах;

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

- проводиться продувка азотом або водяною парою із наступним промиванням водою і продувкою повітрям;

- виконується аналіз на наявність отруйних і вибухонебезпечних продуктів;

- складається план і отримується дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту; складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються такі роботи:

- зняття кришок апарата, люків, демонтаж обв'язки й арматури;

- виявлення дефектів вальцювання й зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним і пневматичним випробуваннями на робочий тиск;

- часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб вальцюванням або зварюванням;

- ремонт футерівки і антикорозійних покриттів деталей із частковою заміною;

- ремонт або заміна арматури, що зносилася, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;

- зміна ущільнень розбірних з'єднань;

- витягування трубок, чищення внутрішньої поверхні корпусу апарата й теплообмінних трубок, зачищення отворів у трубних решітках, зачищення кінців трубок;

- заміна частини корпусу, днищ (кришок) і зношених деталей;

- виготовлення нових трубок;

- монтаж трубного пучка й вальцювання труб у решітках;

- ремонт плаваючих голівок;

- монтаж нарізних з'єднань;

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- гідравлічне випробування міжтрубної і трубної частин апарата пробним тиском;

- пневматичне випробування апарата.

Основними конструктивними недоліками теплообмінних апаратів є наступні фактори: 1) велика трудомісткість розбирання-складання апарата при чищенні й заміні трубного пучка; 2) мала надійність вальцювальних з'єднань трубок із трубною дошкою; 3) складність ущільнення кришкою трубної дошки плаваючої голівки. Відмови теплообмінників відбуваються в основному через пропускання продукту через вальцювальні з'єднання, через ущільнення кришки плаваючої голівки і через корозію труб трубного пучка. Найбільш трудомісткими операціями при ремонті теплообмінної апаратури є: 1) монтаж і демонтаж нарізних з'єднань, очищення теплообмінної апаратури; 2) добування трубних пучків, ремонт і виготовлення трубних пучків і їх установка; 3) випробування теплообмінників.

Зниження трудомісткості робіт з монтажу й демонтажу нарізних з'єднань досягається застосуванням пневматичних і гідравлічних гайковертів. Після розхитування знімається кришка апарата. Зменшення трудозатрат на опускання й підймання важкої кришки забезпечується виготовленням поворотних кронштейнів, які дозволяють після розхитування відвести у бік кришку й розподільну голівку. Витягати трубні пучки можна тільки з теплообмінників із плаваючою голівкою. Найменш механізованим способом є витягування трубного пучка за допомогою лебідок і домкратів. Більш прогресивні спеціальні пристрої для добування – екстрактори. Вони являють собою пристрої, які кріпляться на фланці теплообмінника і за допомогою домкрата або лебідки виштовхують трубний пучок. Пучок, що витягується, рухається разом із візком, на який кріпиться його передня частина.

У більшості випадків як екстрактор використовується пристрій для захоплення трубного пучка разом із вантажопідйомним механізмом. Трубний пучок, що витягується з горизонтальних теплообмінників, підтримується в

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

горизонтальному положенні автомобільним краном за допомогою талі і пересувної монорейки або візка. Схема витягування трубного пучка за допомогою тракторної лебідки й автомобільного крана наведена на рис. 3.2.

Демонтаж проводиться в певній послідовності: 1) знімаються кришки теплообмінного апарата; 2) демонтуються деталі плаваючої голівки; 3) проводиться попереднє зрушення трубчаткі; 4) тракторною лебідкою трубний пучок витягується з апарата; 5) за допомогою хомутів і строп трубчатка підвішується до гака автомобільного крана, який після остаточного добування трубчаткі опускає її на причіп для транспортування на місце очищення й ремонту.

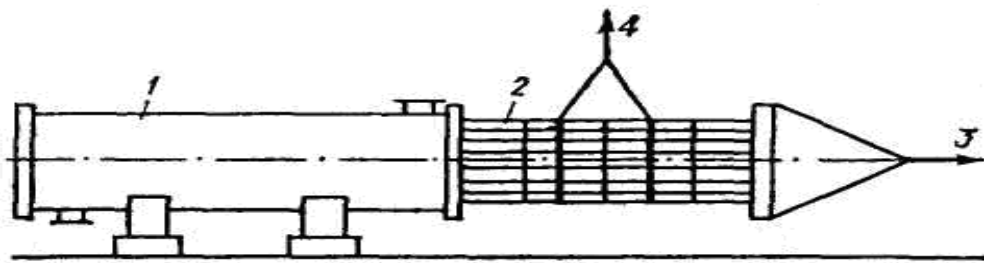


Рис. 4.2. Схема витягування трубного пучка за допомогою тракторної лебідки й автомобільного крана

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

5. Охорона праці

5.1 Вплив високої температури апаратури на здоров'я та умови праці людини. Основні заходи для безпечної праці в приміщеннях підприємства при високій температурі апаратів та виробництва.

Охорона праці – це система правових соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Дія закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах[9].

Абсолютно безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Основним завданням охорони праці є зведення до мінімуму вірогідності ураження або захворювання робітника з одночасним забезпеченням комфорту для досягнення максимальної продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним називається такий виробничий фактор, дія якого на працівника в певних умовах може призвести до травми, або іншого раптового погіршення здоров'я (ГОСТ 12.0.002-80).

Прикладами небезпечних факторів можуть бути: відкриті струмоведучі частини устаткування, деталі машин і механізмів, що рухаються, розпечені деталі і заготовки, робота з вибухонебезпечними речовинами і т.д.

Як відомо людина є білковим живим організмом, білки в людському організмі при різкому підвищенні температури починають процес денатурації, який починається при підвищенні температури людського тіла 40 С. Тобто тривала робота з апаратами які працюють при підвищеній температурі, у порівнянні з температурою тіла людини, негативно впливає на здоров'я та є небезпечним для життя робітника фактору.

Джерелами теплоти повітря на виробництві є:

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

— технологічне устаткування, яке має високі температури нагріву (плавильні, сушильні печі, котли, паропроводи та ін.);

— нагріті до високих температур деталі й розплавлені матеріали, наприклад метал, скло;

— теплова енергія, яка виділяється рухомими механізмами.

Тепло від усіх цих джерел викликає значне підвищення температури повітря у робочих приміщеннях. Наприклад, у гарячих цехах у теплий період року температура повітря може досягати 40 С. Високий температурний режим спостерігається в мартенівських цехах у металургії, термічних і ливарних цехах у машинобудуванні, у фарбувальних, сушильних цехах тощо. На деяких виробництвах люди працюють при зниженій температурі (на складах, у суднобудівній промисловості, елеваторах).

Для вимірювання параметрів мікроклімату використовуються різні прилади: ртутні та спиртові термометри (для вимірювання температури), психрометри (для визначення відносної вологості повітря), анемометри й кататермометри (для встановлення швидкості руху повітря).

Результати досліджень свідчать про те, що у виробничих умовах усі метеорологічні фактори впливають на людину одночасно. Тому важливо виявити їх сумарний вплив на працівника. Одним із способів оцінки сумарного впливу метеорологічних факторів є спосіб обліку ефектних і еквівалентно-ефективних температур. Показник ефективної температури включає вплив температури і вологості повітря на людину на робочому місці.

Розрізняють оптимальні, допустимі та шкідливі мікрокліматичні умови. Оптимальні, допустимі й шкідливі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря для виробничих приміщень та відкритих територій у спекотну і холодну пору року наведені в ДСН 3.3.6 042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

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

Розглядаючи механізми впливу метеорологічних факторів виробничого середовища (температури, вологи, швидкості руху повітря, чинності променевої енергії нагрітих деталей і агрегатів) на людину, маємо на увазі, що людський організм прагне підтримати відносну динамічну сталість своїх функцій за різноманітних метеорологічних умов. Ця сталість забезпечує насамперед один з найважливіших фізіологічних механізмів — механізм терморегуляції.

Згідно з результатами досліджень людина є працездатною і нормально себе почуває, якщо температура навколишнього повітря не виходить за межі 18—20С, відносна вологість — 40—60 %, швидкість руху повітря — 0,1—0,2 м/с.

Висока температура послаблює організм, викликає млявість, а низька — сковує рухи, що при обслуговуванні машин спричиняє підвищену небезпеку травмування. За високої температури та вологості може статися перегрів тіла, навіть тепловий удар. Він може бути викликаний також інфрачервоним випромінюванням.

Теплові апарати, що використовуються на підприємствах, є джерелом інфрачервоного випромінювання. Останнє негативно впливає на функціональний стан нервової системи, викликає зміни у серцево-судинній системі, негативно впливає на очі, викликає кон'юнктивіт, помутніння рогівки й таке професійне захворювання, як катаракта.

Зниження негативного впливу мікроклімату можна досягти за рахунок вжиття таких заходів:

- впровадження раціональних технологічних процесів (наприклад, заміни гарячого способу обробки металу холодним);
- механізації та автоматизації виробничих процесів;
- дистанційного управління, що дозволяє вивести людину в більшості випадках з несприятливих умов;
- захисту працівників різними видами екранів;

					<i>ПОХНП. Т.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- раціональної теплової ізоляції устаткування;
- раціонального розміщення устаткування;
- ефективного планування і конструкторського рішення виробничих приміщень (гарячі цеха розміщуються в одноповерхових приміщеннях);
- раціональної вентиляції та опалювання;
- раціоналізації режимів праці й відпочинку, перерви;
- спеціального питного режиму (забезпечення білково-вітамінними напоями, хлібним квасом, підсоленою водою).

Працівники гарячих цехів отримують газовану підсолену воду (з вмістом від 0,2 до 0,5 % хлористого натрію). Пиття такої води зменшує спрагу, потовиділення, сприяє зниженню температури тіла, покращує самопочуття і працездатність; застосування спецодягу.

Захист від інфрачервоного випромінювання забезпечують пристрої: огорожувальні, герметизуючі, теплоізолюючі, знаки безпеки, дистанційне управління.

Зниження інтенсивності теплового випромінювання досягається застосуванням різних екранів (водяних завісів, скла, сітки), теплоізоляційних матеріалів (азбесту, скловати), а також індивідуальними засобами; збільшенням відстані між джерелом випромінювання та робочим місцем.

Заходи захисту працівників від переохолодження у виробничих умовах передбачають: створення захисних споруд від вітру на відкритих майданчиках, застосування пристроїв місцевого опалення на постійних робочих місцях, установа періодичних перерв у роботі, обладнання спеціальних приміщень для обігріву, використання спецодягу з достатнім тепловим опором. Надійним захистом від холодного повітря є також повітряна завіса.

Згідно наказу Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду (від 26 серпня 2010 року N 162) відповідно

					ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

до «Закону України про охорону праці» всі підприємства хімічної промисловості повинні дотримуватися наступних правил для збереження безпечних умов праці, життя і здоров'я працівників [10]:

- працівники підприємств основної хімічної промисловості на роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або здійснюваних у несприятливих температурних умовах, забезпечуються спеціальним одягом, спеціальним взуттям та ЗІЗ згідно з Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв;

- показники мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень під час виробництва на підприємствах основної хімічної промисловості мають відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 N 42 (далі - ДСН 3.3.6.042-99).

- граничне значення температури гарячих поверхонь, доступних для дотику, технологічного обладнання та машин не повинно перевищувати 43° С згідно з вимогами ДСТУ EN 563-2001 (EN 563:1994, IDT);

- апарати й агрегати, що потребують спостереження за температурою й тиском і перебувають на значній відстані від робочих місць, мають бути забезпечено дистанційними приладами з показаннями температури й тиску на щитах керування й контрольними приладами, встановленими на робочих місцях.

- усі тепловипромінювальні апарати, паропроводи та устаткування повинні мати ефективну та надійну теплову ізоляцію згідно з вимогами СНиП 2.04.14-88, температура поверхонь не повинна перевищувати 43° С згідно з вимогами ДСТУ EN 563-2001.

- за необхідності виконання робіт усередині ємності при температурі вище ніж 30° С (під час ліквідації аварії) повинні вживатися додаткові заходи безпеки:

					<i>ПОХНП.Т.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

безперервне обдування свіжим повітрям, використання костюмів і взуття з теплоізоляцією, перерви в роботі.

- електропроводка і арматура силової та освітлювальної мереж у виробничих приміщеннях мають бути надійно ізолювані і захищені від впливу високої температури, хімічних середовищ та механічних пошкоджень.

5.2 Розрахунок теплової ізоляції

Товщину теплової ізоляції $\delta_{и}$ знаходять з рівності питомих теплових потоків через шар ізоляції від поверхні ізоляції в навколишнє середовище:

$$\delta_{и} = \frac{\lambda_{и} \cdot (t_{ст1} - t_{ст2})}{\alpha_{в} \cdot (t_{ст2} - t_{нс})} \quad (5.1)$$

де $\alpha_{в} = 9,3 + 0,058 \cdot t_{ст2}$ - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляційного матеріалу в зовнішнє середовище, Вт/м²·К ;

$t_{ст2}$ - температура ізоляції з боку навколишнього середовища, для апарату, який працює в закритому приміщенні, $t_{ст2} = 40^{\circ}\text{C}$;

$t_{ст1}$ - температура ізоляції з боку апарату. З огляду на незначний термічний опір стінки апарату в порівнянні з термічним опором шару ізоляції, $t_{ст1}$ приймають рівною температурі гріючого пара, $t_{ст1} = 100^{\circ}\text{C}$;

$t_{нс}$ – середня температура навколишнього середовища, $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$;

$\lambda_{и}$ - коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, Вт/м·К.

Розраховуємо товщину теплової ізоляції:

$$\alpha_{в} = 9,3 + 0,058 \cdot 40 = 11,62 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (5.1)$$

В якості матеріалу для теплової ізоляції виберемо совеліт (який складається на 85% з магнезії та 15% азбесту), коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{и} = 0,09$ Вт/м·К.

$$\delta_{и} = \frac{0,09 \cdot (100 - 40)}{11,62 \cdot (40 - 20)} = 0,023 \text{ м}$$

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

Список літератури

1. Процеси та апарати хімічних виробництв [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурса: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266144/index.html>
2. Савельев Н. И. Расчет и проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов / учеб. Дов. /. – Чебоксари 2010. – 80 с.
3. Поникаров И. И. Машины и аппараты химических производств / Поникаров И. И. / М.: Машиностроение, 1989. – 368с.
4. Плановський А. Н. Процеси і апарати хімічної технології / А. Н. Плановський, В. М. Рамм, С. З. Каган, Хімія, 1968.- 848 с.
5. Павлов К. Ф. Приклади і задачі по курсу процесів і апаратів хімічної технології / К. Ф. Павлов, П. Г. Романків, А. А. Носков, Хімія, 1987.- 576 с.
6. Соколов В. Н. Машины та апарати хімічних виробництв / В. Н. Соколов. Приклади і задачі. Машинобудування, 1982.- 384 с.
7. Теплообменники энергетических установок – Глава 11 [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурса: <https://openu.ru/files/book/Глава%2011.html>
8. Яхненко С.М., Литвиненко А.В. Конспект лекцій по курсу: «Монтаж, експлуатація та ремонт хімічного обладнання» 2013 - 135 с.
9. Мікроклімат виробничих приміщень та його вплив на організм працівника [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурса: <http://oppb.com.ua/news/mikroklimat-vyrobnychyh-prymishchen-ta-yogo-vplyv-na-organizm-pracivnyka>
10. Про затвердження Правил охорони праці для виробництв основної хімічної промисловості [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурса: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/RE18145.html

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

11. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1982. – 772 с.

12. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Ч. 1, 2. – М.: Химия, 1981. – 811 с.

13. М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств // М. Ф. Михалев Машиностроение, 1984.- 640 с.

14. Чечель П. С. Процеси і апарати хімічної технології / П. С. Чечель. Вища школа, 1974.-276 с.

15. Лацинський А. А. Конструювання зварних хімічних апаратів, Довідник / А. А. Лацинський. Машинобудування, 1981.- 382 с.

16. Конспект лекцій з дисципліни: «Процеси та апарати хімічних виробництв» [Електронний ресурс] – Режим доступу ресурса: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266087/index.html>

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