

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_

підпис, дата

## Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 05050315  
"Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Абсорбційно-десорбційна установка.  
Розробити кожухотрубний теплообмінник для підігріву  
насиченого діетиленгліколю

Виконав:  
студент групи ХМдн-51чк  
Бурега Ігор Миколайович

\_\_\_\_\_

підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

\_\_\_\_\_

підпис, дата

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

Спеціальність 05050315

"Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"

Курс 5    Група ХМдн-51чк    Семестр 10

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студент Бурега Ігор Миколайович

1 Тема проекту: Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник для підігріву насиченого діетиленгліколю

2 Вихідні дані: Розробити горизонтальний кожухотрубний підігрівач насиченого діетиленгліколю (н-ДЕГ) продуктивністю 4180 кг/год. Початкова температура н-ДЕГу 55°C, кінцева температура н-ДЕГу 105°C. Тиск у трубному просторі 0,2 МПа. Гарячий теплоносій – регенерований ДЕГ з початковою температурою 154°C.

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

- |   |                   |
|---|-------------------|
| <u>1. Технологічна схема установки</u>        | <u>– 1,0 арк.</u> |
| <u>2. Складальне креслення апарата</u>        | <u>– 1,5 арк.</u> |
| <u>3. Складальне креслення трубного пучка</u> | <u>– 1,0 арк.</u> |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 50 с., 12 рис., 5 табл., 2 додатки, 23 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема абсорбційно-десорбційної установки, складальне креслення апарата, складальне креслення трубного пучка – усього 3,5 аркуша формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник для підігріву насиченого діетиленгліколю».

У роботі представлено опис технологічної схеми абсорбційно-десорбційної установки осушення природного газу. Також наведено теоретичні основи та особливості процесу теплообміну, виконані технологічні розрахунки апарата, визначені його габаритні розміри, гідравлічний опір. Обґрунтовано вибір конструктивних матеріалів для виготовлення основних деталей та вузлів теплообмінника. Розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарата. У розділі «Охорона праці» розглянуті метеорологічні умови у виробничих приміщеннях, а також нормування параметрів мікроклімату. У додатку до пояснювальної записки представлені комп'ютерні розрахунки проєктованого апарата на міцність із застосуванням ЕОМ (програма Passat).

Ключові слова: ОСУШЕННЯ, ДІЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ, НАСИЧЕННЯ, ТИСК, ТЕМПЕРАТУРА, ПІДІГРІВАЧ, РОЗРАХУНОК, МОНТАЖ, РЕМОНТ, МІКРОКЛІМАТ.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	22
2.3 Гідравлічний опір апарата	24
2.4 Вибір допоміжного обладнання	25
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	28
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	28
3.2 Розрахунок опори апарата	30
4 Монтаж та ремонт апарата	33
4.1 Монтаж апарата	33
4.2 Ремонт апарата	35
5 Охорона праці	40
Список літератури	48
Додаток А – Розрахунки апарата на міцність із застосуванням ЕОМ	
Додаток Б – Специфікації до графічної частини	

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Бурега				Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Острога				4	50	
Реценз.					<b>СумДУ, ХМдн-51чк</b>		
Н. Контр.							
Затверд.	Склабінський						

**Теплообмінник-підігрівач**  
**Пояснювальна записка**

## Вступ

Процеси теплообміну відіграють важливу роль при підготовці, переробці та використанні хімічних продуктів. Умовно їх можна поділити на [1]:

- чисто теплообмінні – де масообмін відіграє підпорядковану роль;
- суміщені тепло- і масообмінні процеси (сушіння, дистиляція, ректифікація, адсорбція та ін.).

Відповідно, обладнання, у яких відбувається передача тепла від одних середовищ (гарячих теплоносіїв) до інших (холодних теплоносіїв), називаються теплообмінними апаратами. Вони можуть бути застосовані для нагрівання і охолодження речовин у різних агрегатних станах, випаровування рідин і конденсації пари, перегонки і сублімації, абсорбції та адсорбції, розплавлення твердих тіл і кристалізації, відведення і підведення тепла при проведенні екзо- та ендотермічних реакцій тощо [2].

За цільовим технологічним призначенням розрізняють такі рекуперативні теплообмінники [3]:

- власне теплообмінники;
- підігрівники;
- холодильники;
- охолоджувачі-конденсатори;
- конденсатори;
- випарники;
- випарники-конденсатори та ін.

Найбільш поширеними у хімічній, нафто- та газопереробній промисловостях є кожухотрубні теплообмінники. Вони забезпечують великі поверхні теплообміну в одному апараті, прості у використанні та надійні в експлуатації.

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок, зміст розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам [4].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема абсорбційно-десорбційної установки осушення природного газу із застосуванням гліколей представлена на рис. 1.1.

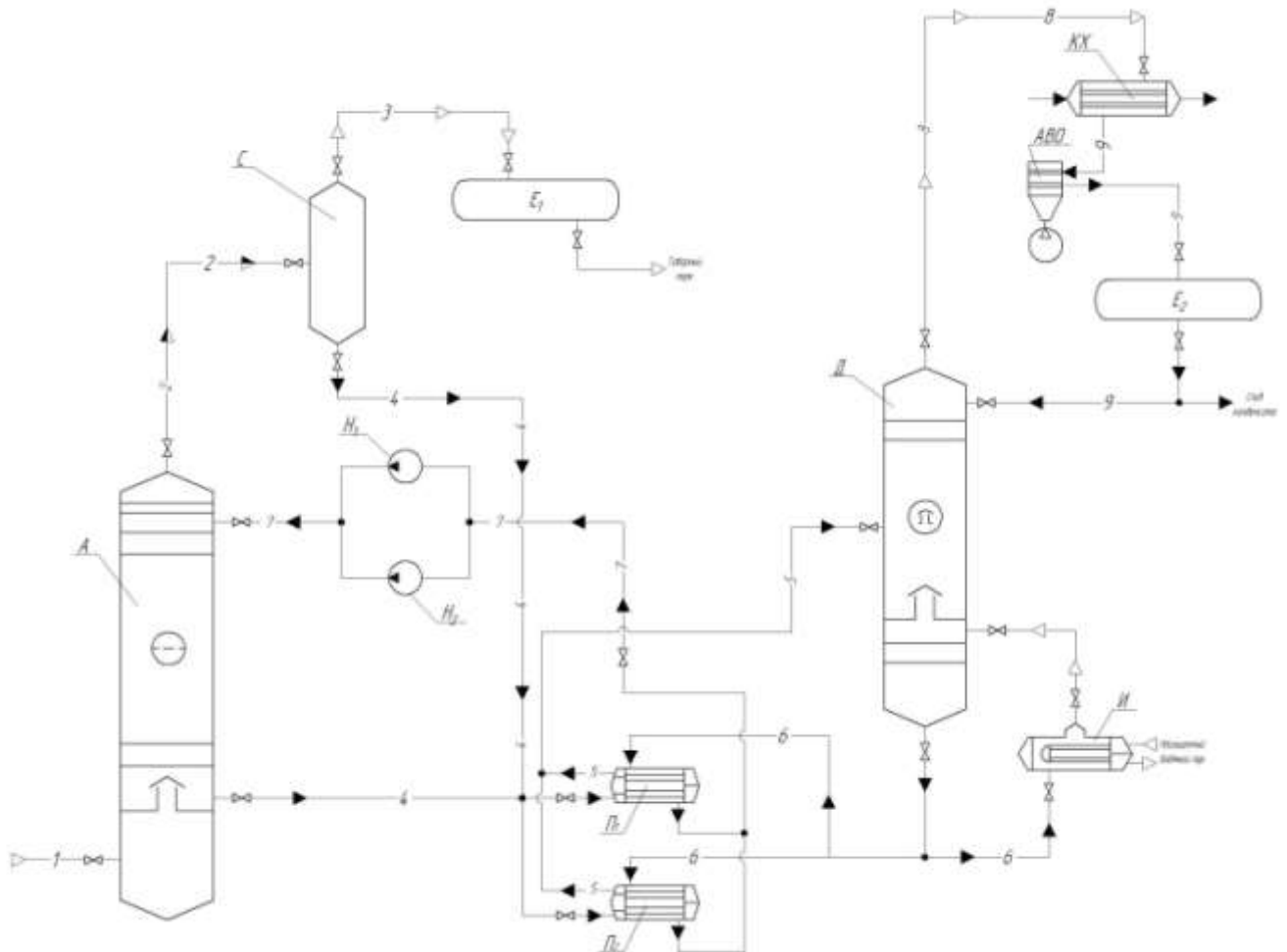


Рисунок 1.1 – Технологічна схема абсорбційно-десорбційного осушення природного газу

Система осушення газу і регенерації гліколю призначена для осушення природного газу перед його спрямуванням у газопровід високого тиску з метою запобігання процесу гідратуутворення. Працює установка наступним чином.

Після компресорної установки газліфтного видобування нафти (УКГН) при температурі 35–45°C сирий природний газ надходить у кубову (нижню) частину абсорбера А, який являє собою багатфункціональний апарат колонного типу. Паралельно із цим, на верхню масообмінну тарілку абсорбера, подається висококон-

										Лист
										6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

центрований діетиленгліколь – ДЕГ (відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу), концентрацією не менше 98 %. ДЕГ стікає назустріч газовому потоку, створюючи на кожній контактній тарілці відповідний робочий рівень. При русі газу через шар рідини на тарілках водяна пара, що міститься у природному газі, поглинається ДЕГом, насичуючи його. Осушений до точки роси мінус 5°С природний газ, потрапляє у сепаратор *C*, де відбувається відділення залишкових крапель ДЕГу. Після чого осушений природний газ потрапляє у проміжну ємність *E<sub>1</sub>*, звідки спрямовується у газопровід високого тиску.

Насичений конденсатом (водою) ДЕГ збирається на глухий тарілці абсорбера і відводиться у газовідокремлювач (на схемі рис. 1.1 не показаний), де при тиску 0,4 МПа відбувається розгазування ДЕГу, тобто виділення поглиненого в абсорбері газу. Відокремлений від ДЕГу газ знову потрапляє у нижню частину абсорбера *A*, а ДЕГ проходить два паралельно встановлених рекуперативних підігрівача *П<sub>1</sub>* і *П<sub>2</sub>*, де нагрівається до температури 105°С, після чого спрямовується в блок регенерації.

У блоці регенерації насичений ДЕГ подається в середню частину (на тарілку живлення) десорбера *D*, де при температурі 150–160°С і пониженому тиску відбувається випаровування основної кількості вологи із ДЕГу. Нагрівання гліколю у випарнику *И* відбувається за допомогою продуктів згоряння паливного газу.

Регенований ДЕГ, проходячи по міжтрубному простору підігрівачів *П<sub>1</sub>* і *П<sub>2</sub>*, охолоджується до температури 40–45°С за рахунок зустрічного потоку насиченого ДЕГу, подається за допомогою насосів *H<sub>1</sub>* і *H<sub>2</sub>* в абсорбер *A* для осушення природного газу.

Відокремлена водяна пара виходить через верхній штуцер десорбера *D* і потрапляє в конденсатор-холодильник *KX*, де конденсується і охолоджується. Утворений конденсат додатково охолоджується до температури 30°С у повітряному холодильнику *ABO*. Частина охолодженого конденсату, у вигляді зрошення, потрапляє у верхню частину десорбера *D*. А інша частина – може бути використана для технологічних потреб.

									Лист
									7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Процес перенесення тепла від гарячого теплоносія до холодного через роздільну стінку називається теплопередачею та супроводжується зміною температур теплоносіїв уздовж поверхні теплообміну, при цьому температура гарячого теплоносія зменшується, а температура холодного теплоносія підвищується. Теплопередача є складним процесом, що включає окремі процеси тепловіддачі в гарячому й холодному теплоносії та перенесення тепла теплопровідністю через стінку, що розділює теплоносії. Рушійною силою процесу теплопередачі на локальній ділянці є локальна різниця між температурами гарячого та холодного теплоносія [5].

Передача тепла у просторі та в хіміко-технологічних процесах може відбуватися наступними основними способами [6]:

- теплопровідністю – за допомогою контактної взаємодії структурних частинок речовини (атомів, іонів, молекул, вільних електронів) між собою під впливом різниці температур, агрегатного стану речовини та характеру руху мікрочастинок. У твердих тілах атоми роблять тільки зворотно-коливальні рухи в межах кристалічної решітки, у газах (парах) і рідинах відбувається хаотичний рух молекул під впливом молекулярно-кінетичного механізму. У чистому вигляді теплопровідність спостерігається у твердих тілах та у нерухомих (приграничних) тонких шарах рідини й газу;

- конвекцією – за допомогою перемішування та переміщення макроскопічних об'ємів теплоносія в неоднорідному температурному полі. Якщо переміщення об'ємів середовища відбувається мимовільно під впливом різниці щільності, то така конвекція називається вільною. Якщо переміщення об'ємів теплоносія відбувається в результаті впливу зовнішніх сил (сил тиску, інерційних сил та ін.), то така конвекція називається примусовою;

- випромінюванням – за допомогою переносу теплової енергії методами електромагнітної радіації або фотонами (променистою енергією) у певному діапазоні довжин хвиль у середовищі газів, рідин або твердих тіл, при цьому середо-

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		







типу апарату і нормалізованого варіанта конструкції, які відповідають заданим технологічним умовам оптимальним чином [5].

Необхідну поверхню теплопередачі визначають із основного рівняння теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K},$$

де  $F$  – поверхня теплопередачі, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}$  – середня температура процесу;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$Q$  – теплове навантаження, Вт.

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої стінки або при великому радіусі її кривизни ( $d_B / d_H > 0,5$ ) складе:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_{CT}$  – товщина стінки теплопередавальної поверхні, м;

$\lambda_{CT}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м·К).

Середня різниця температур при прямої або протитої теплоносіїв дорівнює:

$$\Delta t_{CER} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}},$$

де  $\Delta t_B$  і  $\Delta t_M$  – різниці температур (великої й малої) теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

Теплове навантаження апарату, відповідно до заданих технологічних умов, знаходять по одному із наступних рівнянь:

- якщо агрегатний стан теплоносіїв не змінюється

$$Q = G \cdot c \cdot (t_1 - t_2);$$

- при конденсації насичених парів без охолодження конденсату

$$Q = G \cdot r;$$

- при конденсації насичених парів з охолодженням конденсату

$$Q = G \cdot (I_1 - c_2 \cdot t_2),$$

де  $I_1$  – ентальпія перегрітої пари.

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

Критерій Нусельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda};$$

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu};$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda};$$

Критерій Грасгофа характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції:

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

										Лист
										12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ					

У вищенаведених критеріальних рівняннях наступні позначення:  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda$  – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К);  $\mu$  – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с;  $c$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);  $\rho$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, 1/К;  $w$  – швидкість теплоносія, м/с;  $l$  – визначальний геометричний розмір, м;  $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $\Delta\theta$  – частковий температурний напір (різниця між температурою гарячого теплоносія і температурою стінки або між температурою стінки і температурою холодного теплоносія), К.

При вимушеній конвекції теплоносії рухаються уздовж поверхні теплообміну із певною швидкістю під дією зовнішньої сили, наприклад, сили тяжіння або сили тиску, що розвивається насосом, компресором або вентилятором.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі в прямих трубах і каналах, у залежності від режиму їх течії, рекомендуються наступні критеріальні рівняння [8]:

- для ламінарного режиму

$$Nu_2 = 0,74 \cdot (Re_2 \cdot Pr_2)^{0,2} \cdot (Gr_2 \cdot Pr_2)^{0,1};$$

- для перехідного режиму

$$Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,9} \cdot Pr_2^{0,43};$$

- для турбулентного режиму

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

Визначальним лінійним розміром є внутрішній діаметр труб, а визначальною температурою – середня температура гарячого теплоносія.

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

У проєктованому апараті тепло від гарячого теплоносія до холодного передається через стінку (у нашому випадку через тонку металеву стінку трубки). Даний підігрівач насиченого діетиленгліколю являє собою кожухотрубний теплообмінник (рис. 1.3).

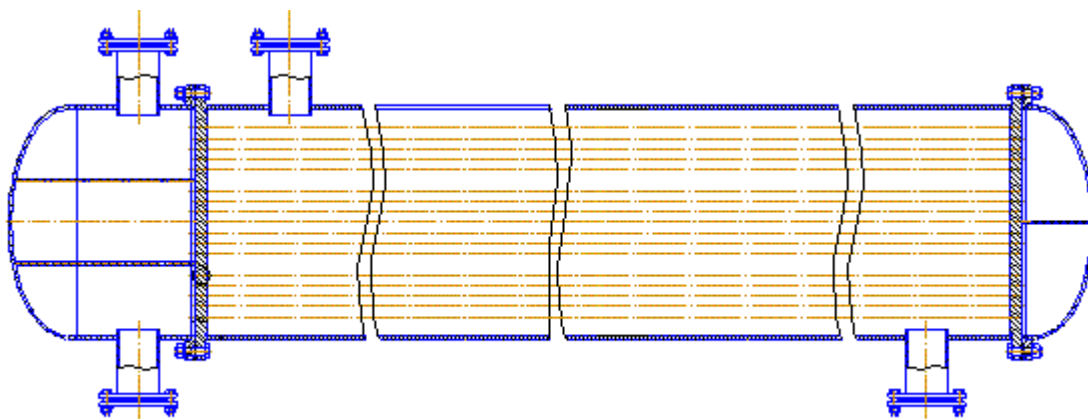


Рисунок 1.3 – Схема багатопрохідного кожухотрубного теплообмінника

Конструктивно теплообмінний апарат складається із:

- трубочатки – пучка труб закріпленою у двох трубних решітках, який і складає основну поверхню теплообміну;
- кришки;
- розподільної камери – для підведення і відведення насиченого діетиленгліколю; розподільна камера має роздільні перегородки, які запобігають змішуванню охолодженого і підігрітого продуктів.

**Принцип роботи апарату.** У даному апараті насичений діетиленгліколь, у кількості 4180 кг/год., під абсолютним тиском 0,2 МПа надходить у трубний простір апарату, де і відбувається його нагрівання від початкової температури 55°C до 105°C. Нагрітий потік насиченого діетиленгліколю виводяться з апарату через верхній штуцер розподільної камери, і спрямовується в блок регенерації. Паралельно із цим, через верхній штуцер у міжтрубний простір теплообмінника (за протитечійною схемою руху) безперервно подається регенований діетиленгліколь

(із блоку регенерації). Початкова температура регенованого діетиленгліколю становить 154°C [9]. За принципом рекуперації, насичений діетиленгліколь нагрівається і тим самим відбирає тепло у регенованого діетиленгліколю.

У нафто- та газопереробній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широкими діапазонами температур і тиску [10].

Експлуатована апаратура повинна відповідати основним вимогам. Серед яких: механічна надійність, довговічність, конструктивна досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації тощо [10, 11].

Загалом гліколі не викликають корозію вуглецевих сталей, проте продукти їх розкладення чи окислення, а також домішки, які надходять разом із газом, можуть бути агресивними. Продукти корозії (оксиди, сульфід заліза) можуть забивати трубки теплообмінної апаратури, погіршувати теплопередачу, прискорювати корозію, викликати ерозію обладнання.

Оскільки вміст кислих компонентів у насиченому продукті не значний – для виготовлення корпусу апарата, фланців, розподільних камер використовуємо сталь 09Г2С. Основні фізико-механічні властивості сталі наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості сталі 09Г2С

Показник	Значення
Модуль пружності $E$ , МПа	200000
Модуль зсуву $G$ , МПа	77000
Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850
Межа міцності $\sigma_B$ , МПа	не менше 360
Межа плинності $\sigma_T$ , МПа	не менше 180
Відносне звуження $\psi$ , %	56
Відносне подовження $\delta$ , %	25
Твердість за Брінелем, $HV$	115
Зварюваність	без обмежень

Для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, болтів, шпильок, гайок, підстав, кронштейнів, кутників, ребер жорсткості використовуємо сталь 20. Основні фізико-механічні властивості сталі наведено у табл. 1.2.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості сталі 20

Показник	Значення
Модуль пружності $E$ , МПа	200000
Модуль зсуву $G$ , МПа	74000
Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850
Межа міцності $\sigma_B$ , МПа	не менше 420
Межа плинності $\sigma_T$ , МПа	не менше 250
Відносне звуження $\psi$ , %	40
Відносне подовження $\delta$ , %	16
Твердість за Брінелем, $HV$	156
Зварюваність	без обмежень

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємних фланцевих з'єднань використовуємо паронит. Це листовий прокладковий матеріал, який виготовляється пресуванням азбокаучукової маси. Складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.



## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Використовувана методика для виконання технологічного розрахунку теплообмінного апарата наведена у [12, 13]. Результатом завершення технологічного розрахунку є визначення коефіцієнту теплопередачі з подальшим визначенням необхідної поверхні теплопередачі.

Кількість тепла, що сприймається насиченим розчином ДЕГ:

$$Q = \frac{G}{3600} \cdot (q_{T_{1к}}^p - q_{T_{1п}}^p), \quad (2.1)$$

де  $q_{T_{1п}}^p$ ;  $q_{T_{1к}}^p$  – ентальпії насиченого ДЕГ при його початковій і кінцевій температурах відповідно, кДж/кг.

$$Q = \frac{4180}{3600} \cdot (420 - 180) = 279 \text{ кВт}.$$

Кінцева температура гарячого теплоносія (регенерований ДЕГ) за рекомендаціями [13] приймається вище кінцевої температури холодного теплоносія на 5–10°C. Приймаємо кінцеву температуру регенерованого діетиленгліколю 112°C.

У такому разі, середню різницю температур теплоносіїв визначаємо за рівнянням:

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (2.2)$$

де  $\Delta t_B = 112 - 55 = 57^\circ\text{C}$  – більша різниця температур (рис. 2.1);

$\Delta t_M = 154 - 105 = 49^\circ\text{C}$  – менша різниця температур (рис. 2.1).

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{57 - 49}{\ln \frac{57}{49}} = 53^\circ\text{C}.$$

										Лист
										17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

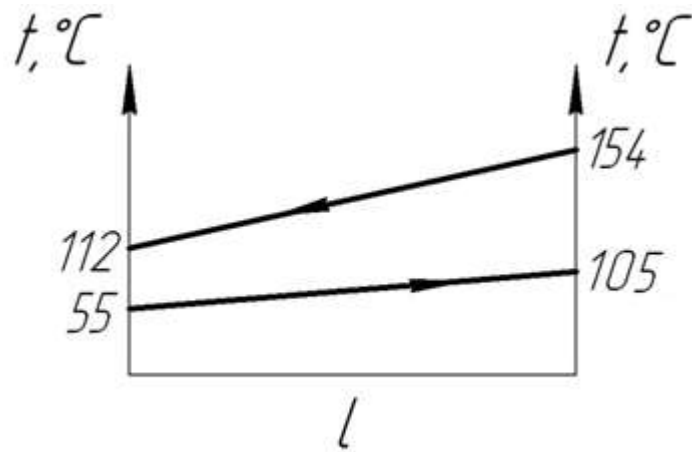


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу нагрівання насиченого ДЕГ

Із рівняння теплового балансу, нехтуючи втратами тепла в навколишнє середовище, визначаємо витрату регенованого ДЕГ:

$$G_r = \frac{Q}{c_r \cdot (t_{1r} - t_{2r})}, \quad (2.3)$$

де  $c_r$  – теплоємність гарячого теплоносія (регенерований ДЕГ) при його усередненій температурі, кДж/(кг·К).

$$G_r = \frac{279}{2,8 \cdot (154 - 112)} = 2,4 \text{ кг/с.}$$

Розраховуємо орієнтовне значення поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{сеп} \cdot K}, \quad (2.4)$$

де  $K$  – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Для рідинних теплообмінників трубчастої конструкції значення  $K$  приймається у діапазоні 70–250 Вт/(м<sup>2</sup>·К) [4].

$$F = \frac{279 \cdot 10^3}{70 \cdot 53} = 75,2 \text{ м}^2.$$

Попередньо вибираємо стандартизований кожухотрубний теплообмінник із такими характеристиками:

- діаметр кожуха  $D = 800$  мм;
- теплообмінні труби  $\varnothing 25 \times 2,5$  мм, довжиною  $l = 3,0$  м;
- число ходів по трубах  $z = 4$ ;
- загальна кількість труб 404 шт.;
- поверхня теплообміну  $F = 95$  м<sup>2</sup>;
- площа перерізу одного ходу по трубах  $s_{тр} = 0,011$  м<sup>2</sup>.

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від регенованого ДЕГ до зовнішньої поверхні трубного пучка необхідно попередньо визначити режим руху теплоносія.

Визначаємо числове значення критерію Рейнольдса:

$$Re_{\Gamma} = \frac{w_{\Gamma} \cdot d_3}{\nu_{\Gamma}}, \quad (2.5)$$

де  $w_{\Gamma}$  – швидкість регенованого ДЕГ у міжтрубному просторі, м/с;

$d_3$  – зовнішній діаметр труби, м;

$\nu_{\Gamma}$  – кінематична в'язкість ДЕГ при усередненій температурі, м<sup>2</sup>/с.

Фактична швидкість руху регенованого ДЕГ у міжтрубному просторі складе:

$$w_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot s_{мтр}}, \quad (2.6)$$

де  $\rho_{\Gamma} = 1020$  кг/м<sup>3</sup> – густина ДЕГ при усередненій температурі.

$$w_{\Gamma} = \frac{2,4}{1020 \cdot 0,0052} = 0,45 \text{ м/с};$$

$$Re_{\Gamma} = \frac{0,45 \cdot 0,025}{1,1 \cdot 10^{-6}} = 10284.$$

									Лист
									19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

За розрахованим значенням критерію Рейнольдса бачимо, що режим руху теплоносія у міжтрубному просторі турбулентний.

Таким чином, коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{\Gamma}$  можна розрахувати за формулою М.А. Міхєєва [9]:

$$\alpha_{\Gamma} = 0,037 \cdot \frac{\lambda_{\Gamma}}{d_3} \cdot \text{Re}_{\Gamma}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\Gamma}^{0,43} \cdot \left( \frac{\text{Pr}_{\Gamma}}{\text{Pr}_{\Gamma,CT}} \right)^{0,25}, \quad (2.7)$$

де  $\text{Pr}_{\Gamma}$  – критерій Прандтля.

$$\text{Pr}_{\Gamma} = \frac{v_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}}{\lambda_{\Gamma}}, \quad (2.8)$$

де  $\lambda_{\Gamma} = 0,26$  Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності регеноерованого ДЕГ при усередненій температурі.

$$\text{Pr}_{\Gamma} = \frac{1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 2,8 \cdot 10^3 \cdot 1020}{0,26} = 12,1.$$

Приймаємо, що значення  $\left( \frac{\text{Pr}_{\Gamma}}{\text{Pr}_{\Gamma,CT}} \right)^{0,25} = 0,5$ .

Тоді:

$$\alpha_{\Gamma} = 0,037 \cdot \frac{0,26}{0,025} \cdot 10284^{0,8} \cdot 12,1^{0,43} \cdot 0,5 = 911 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від внутрішньої поверхні трубного пучка до насиченого вуглеводневими компонентами розчину ДЕГ визначаємо критерій Рейнольдса за рівнянням (2.5). Тільки в цьому разі визначальним лінійним розміром буде внутрішній діаметр труби  $d_B = 0,02$  м.

Фактична швидкість руху насиченого ДЕГ у трубах складе:

$$w_X = \frac{G}{\rho_X \cdot s_{mp}}, \quad (2.9)$$

									Лист
									20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

де  $\rho_X = 1080 \text{ кг/м}^3$  – густина насиченого ДЕГ при усередненій температурі.

$$w_X = \frac{4180}{3600 \cdot 1080 \cdot 0,011} = 0,1 \text{ м/с.}$$

$$\text{Re}_X = \frac{0,1 \cdot 0,02}{3,0 \cdot 10^{-6}} = 667.$$

За розрахованим значенням критерію Рейнольдса бачимо, що режим руху теплоносія у трубах ламінарний. Отже, для визначення середнього по довжині коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_X$  при ламінарному режимі течії рідини в прямих трубах академік М.А. Міхєєв рекомендує наступну розрахункову формулу:

$$\text{Nu}_X = 0,15 \cdot \text{Re}_X^{0,33} \cdot \text{Pr}_X^{0,43} \cdot \text{Gr}_X^{0,1} \cdot \left( \frac{\text{Pr}_X}{\text{Pr}_{X,CT}} \right)^{0,25}. \quad (2.10)$$

Попередньо розраховуємо критерій Прандтля для насиченого ДЕГ за рівнянням (2.8):

$$\text{Pr}_X = \frac{3,0 \cdot 10^{-6} \cdot 2,65 \cdot 10^3 \cdot 1080}{0,255} = 33,6.$$

Далі визначаємо критерій Грасгофа:

$$\text{Gr}_X = \frac{d_B^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}; \quad (2.11)$$

$$\text{Gr}_X = \frac{0,02^3 \cdot 9,81 \cdot 1080^2 \cdot 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot 1}{(3,24 \cdot 10^{-3})^2} = 5058.$$

Знову прийнявши значення  $\left( \frac{\text{Pr}_X}{\text{Pr}_{X,CT}} \right)^{0,25} = 0,5$ , визначаємо критерій Нусельта:

$$\text{Nu}_X = 0,15 \cdot 667^{0,33} \cdot 33,6^{0,43} \cdot 5058^{0,1} \cdot 0,5 = 6,82.$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_X$  можна розрахувати за формулою:

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda_x}{d_B}; \quad (2.12)$$

$$\alpha_x = \frac{6,82 \cdot 0,255}{0,02} = 87.$$

Визначаємо реальний коефіцієнт теплопередачі (із урахуванням, що коефіцієнт теплопровідності сталеві трубки дорівнює 17,5 Вт/(м·К)):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{911} + \frac{0,025}{17,5} + \frac{1}{87}} = 71,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Фактична поверхня теплообміну становить:

$$F_\phi = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{СЕР}}}; \quad (2.13)$$

$$F_\phi = \frac{279 \cdot 10^3}{71,3 \cdot 53} = 74 \text{ м}^2.$$

Остаточню приймаємо кожухотрубний теплообмінник:

- діаметр кожуха  $D = 800$  мм;
- теплообмінні труби  $\varnothing 25 \times 2,5$  мм, довжиною  $l = 3,0$  м;
- число ходів по трубах  $z = 4$ ;
- загальна кількість труб 404 шт.;
- поверхня теплообміну  $F = 95 \text{ м}^2$ ;
- площа перерізу одного ходу по трубах  $s_{\text{тр}} = 0,011 \text{ м}^2$ .

У такому разі коефіцієнт запасу поверхні теплообміну буде становити:

$$\chi = \left( \frac{F - F_\phi}{F} \right) \cdot 100\%; \quad (2.14)$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

$$\chi = \left( \frac{95 - 74}{95} \right) \cdot 100\% = 22\%$$

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

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}}, \quad (2.15)$$

де  $V$  і  $G$  – об'ємна і масова витрати відповідно, м<sup>3</sup>/с і кг/с;

$\rho$  – густина потоку середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$w$  – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху для рідин 0,1–1,0 м/с [8].

Діаметри штуцерів для входу і виходу насиченого діетиленгліколю:

$$d_H = \sqrt{\frac{4 \cdot 4180 / 3600}{3,14 \cdot 1080 \cdot 0,25}} = 0,074 \text{ м.}$$

Діаметри штуцерів для входу і виходу регенованого діетиленгліколю:

$$d_P = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,4}{3,14 \cdot 1020 \cdot 1,0}} = 0,05 \text{ м.}$$

Приймаємо в проектуваному апараті наступні штуцера:

- для входу насиченого діетиленгліколю  $D_y = 80$  мм ( $p_y = 0,2$  МПа);
- для виходу насиченого діетиленгліколю  $D_y = 80$  мм ( $p_y = 0,2$  МПа);
- для входу регенованого діетиленгліколю  $D_y = 50$  мм ( $p_y = 0,2$  МПа);
- для виходу регенованого діетиленгліколю  $D_y = 50$  мм ( $p_y = 0,2$  МПа).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Розрахунок гідравлічного опору теплообмінника виконуємо за методикою [16].

Повний напір  $\Delta P$ , необхідний для руху потоків через теплообмінник, визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_{II} + \Sigma \Delta P_{\Gamma}, \quad (2.16)$$

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

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

$\Sigma \Delta P_{II}$  – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma \Delta P_{\Gamma}$  – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в трубах:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_X^2 \cdot \rho_X}{2}, \quad (2.17)$$

де  $\lambda_{TP}$  – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.18)$$

де  $\Delta$  – абсолютна шорсткість поверхні труб (для сталевих нових труб  $\Delta=0,06$ – $0,1$  мм; для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією  $\Delta=0,1$ – $0,2$  мм).

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{0,020} + \frac{68}{667} \right)^{0,25} = 0,165;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,165 \cdot \frac{3}{0,020} \cdot \frac{0,1^2 \cdot 1080}{2} = 134 \text{ Па}.$$

									Лист
									24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					



Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_x^2 \cdot \rho_x}{2}, \quad (2.19)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору, його знаходять як суму опорів кожного елемента теплообмінника:

$$\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4, \quad (2.20)$$

де  $\xi_1 = 1,5$  – вхідна і вихідна камери;

$\xi_2 = 0,5$  – вхід у труби;

$\xi_3 = 1$  – вихід із труб;

$\xi_4 = 1,4$  – поворот на  $180^\circ$  між ходами.

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

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{0,1^2 \cdot 1080}{2} = 32 \text{ Па.}$$

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

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

Повний напір, необхідний для руху насиченого ДЕГ через апарат складе:

$$\Delta P = 134 + 32 = 166 \text{ Па.}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

**Вибір насосів  $N_1$  і  $N_2$  для подачі ДЕГ в абсорбер [14].**

Розрахунок і вибір насосів проводимо за необхідними напором і витратою  $V = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ . На технологічній схемі (див. рис. 1.1) подача регенованого

										Лист
										25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ДЕГ у верхню частину абсорбера забезпечується двома, паралельно встановленими, насосами. У такому випадку продуктивність одного насосу становить:  
 $V = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Напір розраховують за формулою:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_r + h_n, \quad (2.21)$$

де  $p_1 = 0,1$  МПа – тиск в апараті, із якого перекачується рідина;

$p_2 = 10$  МПа – тиск в абсорбері;

$\rho = 1110 \text{ кг/м}^3$  – густина ДЕГу;

$H_r = 10$  м – геометрична висота підйому рідини;

$h_n$  – сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях.

Прийmemo сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях рівними  $h_n = 4$  м.

Тоді:

$$H = \frac{(10 - 0,1) \cdot 10^6}{1110 \cdot 9,81} + 10 + 4 = 923 \text{ м}.$$

Такий напір при заданій продуктивності може забезпечити насос марки ПТ-1-2,5/160.

#### Ємність для дренажу [14].

При проектуванні дренажної ємності основними керівними документами є стандарти, які передбачають нормальний ряд циліндричних посудів об'ємом до  $200 \text{ м}^3$ .

Ємність для , виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ . Приймаємо  $\psi = 0,82$ .

Розрахунковий об'єм ємності дренажної ємності:

$$V_{EP} = \frac{V \cdot \tau}{\psi}, \quad (2.22)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

де  $V = 0,0014 \text{ м}^3/\text{с}$  – витрата ДЕГУ;

$\tau = 9000 \text{ с}$  – тривалість перебування середовища в ємності;

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

$$V_{EP} = \frac{0,0014 \cdot 9000}{0,8} = 15,75 \text{ м}^3.$$

Приймаємо ємність горизонтальну зі стандартизованим об'ємом  $V = 20 \text{ м}^3$ :

- діаметр  $D = 2,0 \text{ м}$ ;
- довжина  $H = 6,4 \text{ м}$ .

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки [17]

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручне дугове електрозварювання), напруження для сталі 09Г2С при робочій температурі:

$$\sigma^* = 172,5 \text{ МПа}$$

Тиск, який створює регенований ДЕГ у міжтрубному просторі:

$$p_p = 0,2 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустиме напруження:

– на краю сполучених елементів

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1,0 \cdot 172,5 = 172,5 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

– при гідравлічних випробуваннях

$$[\sigma]_e = \frac{\sigma_{T20}}{1,1} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа} \quad (3.2)$$

Допустиме напруження для сталі 09Г2С при температурі  $t = 20^\circ\text{C}$ :

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ МПа}$$

Пробний тиск при випробуваннях і при допустимому напруженні:

$$p_e = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p_p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ p_p + 0,3 \end{array} \right\}, \text{ МПа} \quad (3.3)$$

$$P_B = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot 0,2 \cdot 170}{172,5} = 0,25 \\ 0,2 + 0,3 = 0,5 \end{array} \right\} = 0,5 \text{ МПа.}$$

									Лист
									28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Приймаємо прибавку до розрахункових товщин за весь термін служби апарату (10 років)  $c = 2,0$  мм.

Розрахункова товщина стінки кожуха (рис. 3.1) при гідравлічних випробуваннях і при допустимому напруженні:

$$s_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p}, \frac{p_u \cdot D}{2 \cdot \varphi[\sigma]_e - p_e} \right\} \quad (3.4)$$

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,2 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,2} = 0,52, \frac{0,5 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5} = 0,87 \right\} = 0,87 \text{ мм.}$$

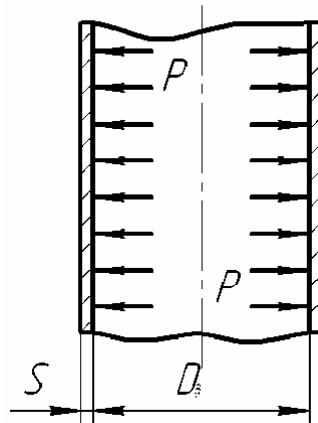


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки (кожуха)

Виконавча товщина стінки кожуха:

$$s \geq s_p + c \quad (3.5)$$

$$S = 0,87 + 2 = 2,87 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартизоване значення товщини стінки кожуха  $S = 4,0$  мм.

Розрахункова товщина еліптичного днища (рис. 3.2):

$$S_p^E = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_B - 0,5 \cdot P_B} \right\}; \quad (3.6)$$

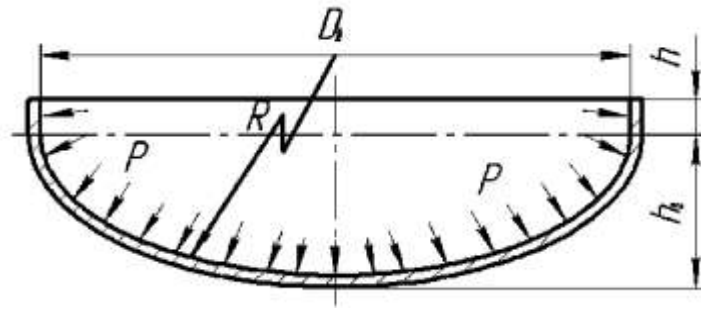


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,2 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,52 \\ \frac{0,5 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 0,5} = 0,87 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,87 \text{ мм.}$$

Приймаємо також  $S_E = 4,0$  мм.

### 3.2 Розрахунок опори апарата [13]

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.7)$$

де  $\rho$  – щільність сталі;  $\rho = 7890$  кг/м<sup>3</sup>.

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7890 = 239 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно:

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (3.8)$$

$$m_{E\text{дн}} = m_{E\text{кр}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 25 \text{ кг.}$$

Маса труб:

						ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			30

$$m_{mp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (3.9)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,02^2) \cdot 3 \cdot 404 \cdot 7890 = 1689 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.10)$$

де  $D_{\phi}$  – зовнішній діаметр фланця, м;

$h_{\phi}$  – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,945^2}{4} \cdot 0,09 \cdot 7890 = 498 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{mtp} = f_{mtp} \cdot H; \quad (3.11)$$

$$V_{mtp} = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення  $\varphi = 0,8$  маса регенованого ДЕГ в апараті складе:

$$m_{r} = V_{mtp} \cdot \rho_{r} \cdot \varphi; \quad (3.12)$$

$$m_{r} = 0,9 \cdot 1020 \cdot 0,8 = 734 \text{ кг.}$$

Вага апарата у робочому стані:

$$G = g \cdot (m_{к} + m_{Едн} + m_{Екр} + m_{mp} + m_{\phi} + m_x), \quad (3.13)$$

$$G = 9,81 \cdot (239 + 25 + 25 + 1689 + 498 + 734) = 31494 \text{ Н.}$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо кількість опор  $n = 2$  шт.

Навантаження на одну опору буде становити:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (3.14)$$

$$Q = \frac{31494}{2} = 15747 \text{ Н.}$$

Остаточно приймаємо стандартизовану сідлову опору 160-432-2, яка має допустиме навантаження 160 кН і радіус  $R=432$  мм (схему сідлової опори див. рис. 3.3).

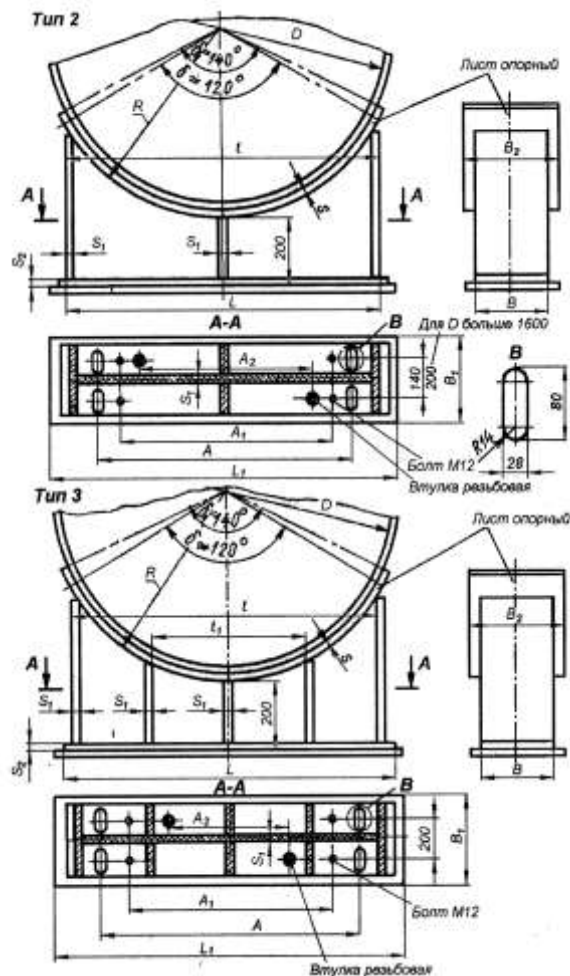


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема сідлової опори

Решту розрахунків апарата на міцність виконано із застосуванням ЕОМ (програмний продукт PASSAT), а результати представлено в додатку А.

										Лист
										32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ					





- запобігання утворенню крижаних та гідратних пробок у трубопроводі;
- захист трубопроводу від корозії, вторинних проявів блискавки і статичної електрики;
- можливість нагляду за технічним станом трубопроводу;
- вибір діаметра трубопроводів повинен проводитися на підставі гідравлічного розрахунку і з урахуванням його продуктивності, а також в'язкості продукту, що транспортується.

Теплообмінник-підігрівач насиченого діетиленгліколю відноситься до кожухотрубних теплообмінників. Технологія монтажу апаратів такої конструкції залежить від місця і способу їх установки. У нашому випадку мова йде про горизонтальний апарат, який розміщений на відкритому майданчику на нульовій позначці.

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

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

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

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

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						34
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є:

**1. Виривання трубок з трубних дощок.** Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

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

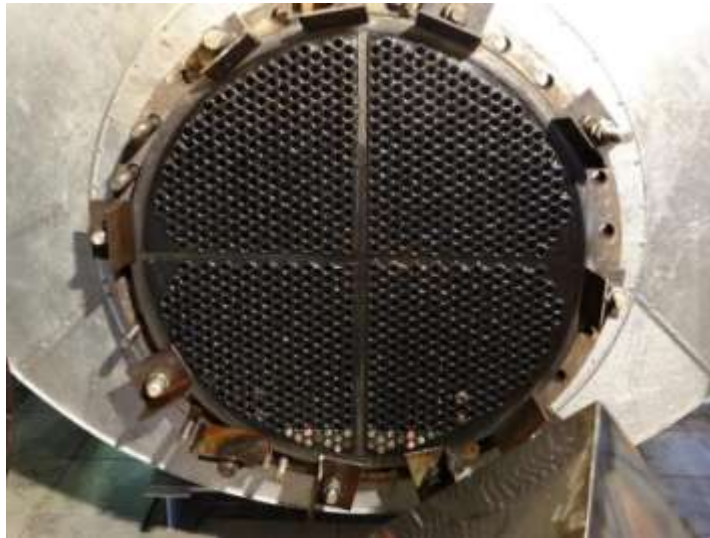


Рисунок 4.2 – Кожухотрубний теплообмінник з вирваними трубками

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

**2. Наскрізна корозія трубок.** Дана проблема зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубчатки. Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заварювання (заглушка) трубки.

Також, як і в описаному вище випадку, при встановленні загнушок необхідно дотримати вимоги з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що з великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити з ладу такі трубки.





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

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

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

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

Надійність ліквідації поверхневих дефектів контролюють магнітною або ультразвуковою дефектоскопією. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

Усі поверхні ущільнювачів слід контролювати магнітною або ультразвуковою дефектоскопією на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

## 5 Охорона праці

### Метеорологічні умови у виробничих приміщеннях. Нормування параметрів мікроклімату.

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях, під яким розуміють умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий стан організму людини та її теплообмін з навколишнім середовищем. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, що оточують людину та інтенсивності теплового (інфрачервоного) опромінення. На відміну від мікроклімату житла та громадських споруд мікроклімат виробничих приміщень характеризується значною динамічністю і залежить від коливань зовнішніх метеорологічних умов, часу доби та пори року, теплофізичних особливостей технологічного процесу, умов опалення та вентиляції.

Незважаючи на те, що параметри мікроклімату виробничих приміщень можуть змінюватись, іноді навіть значно, температура тіла людини залишається постійною (36,6 °С). Властивість організму людини підтримувати тепловий баланс із навколишнім середовищем називаються терморегуляцією.

Людина постійно перебуває в процесі теплової взаємодії з навколишнім середовищем. Для того, щоб фізіологічні процеси в організмі людини відбувалися нормально, тепло, що виділяється організмом людини, повинне повністю відводитися у навколишнє середовище. Порушення теплового балансу може призвести до перегрівання або до переохолодження організму людини і, зрештою, до втрати працездатності, втрати свідомості та до теплової смерті. Нормальне теплове самопочуття має місце коли тепловиділення ( $Q_v$ ) організму людини повністю сприймаються навколишнім середовищем ( $Q_c$ ), тобто існує тепловий баланс  $(Q_v)=(Q_c)$ . Мікрокліматичні умови, за яких це має місце вважаються найкращими.

Параметри мікроклімату спричиняють суттєвий вплив на продуктивність праці та на травматизм. Можливості організму пристосовуватись до метеорологі-

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40









Таблиця 5.2 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на постійних і непостійних робочих місцях	Швидкість руху повітря (м/с) на постійних і непостійних робочих місцях
		Верхня межа		Нижня межа			
		на постійних робочих місцях *	на непостійних робочих місцях *	на постійних робочих місцях *	на непостійних робочих місцях *		
Холодний період	Легка Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	20	17	75	не більше 0,2
	Середньої важкості Іа	23	24	17	15	75	не більше 0,3
	Середньої важкості Іб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
	Важка ІІІ	19	20	13	12	75	не більше 0,5
Теплий період	Легка Іа	28	30	22	20	55 при 28 °С	0,1-0,2
	Легка Іб	28	30	21	19	60 при 27 °С	0,1-0,3
	Середньої важкості Іа	27	29	18	17	65 при 26 °С	0,2-0,4
	Середньої важкості Іб	27	29	15	15	70 при 25 °С	0,2-0,5
	Важка ІІІ	26	28	15	13	75 при 24 °С	0,5-0,6

*\*/ Постійне робоче місце – місце, на якому працюючий знаходиться понад 50 % робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то вся ця зона вважається постійним робочим місцем. Непостійне робоче місце – місце, на якому працюючий знаходиться менше 50 % робочого часу або менше 2-х годин безперервно [23].*

Виміри показників мікроклімату повинні проводитись на початку, в середині і в кінці холодного і теплого періодів року, не менше трьох разів за робочу зміну. При коливаннях показників мікроклімату, пов'язаних з технологічними процесами та іншими причинами, виміри необхідно проводити також при найменших і найбільших значеннях термічних навантажень на працюючих, що мають місце протягом робочої зміни.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочих місцях і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. При коливаннях мікрокліматичних умов, пов'язаних з технологічним процесом та іншими причинами, вимірювання проводяться з урахуванням найбільших і найменших величин термічних навантажень протягом робочої зміни.

Вимірювання здійснюються не менше 2-х разів на рік (теплий та холодний періоди року) у порядку поточного санітарного нагляду, а також при прийманні до експлуатації нового технологічного устаткування, внесенні технічних змін в конструкцію діючого устаткування, організації нових робочих місць тощо.

При проведенні вимірювання в холодний період року температура зовнішнього повітря не повинна бути вищою за середню розрахункову температуру, в теплий період – не нижчою за середню розрахункову температуру, що приймається для опалення та кондиціонування за оптимальними та допустимими параметрами.

Вимірювання параметрів мікроклімату на робочих місцях проводяться на висоті 1,0 м (для сидячих робіт) і 1,5 м (для стоячих робіт) від підлоги, або робочого майданчика.

За наявності кількох джерел інфрачервоного випромінювання або джерел великої площі вимірювання інфрачервоного випромінювання на робочому місці проводиться у напрямку максимуму потоку від джерела. Вимірювання здійснюється через кожні 30 – 40° навколо робочого місця для визначення максимального опромінення (приймач приладу розташовують перпендикулярно падаючому потоку енергії).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Температура та відносна вологість повітря вимірюються приладами, дія яких ґрунтується на психрометричних принципах. Можливе використання тижневих і добових термографів і гігрографів.

Швидкість руху повітря вимірюється анемометрами ротаційної дії. Малі величини швидкості руху повітря (менше 0,3 м/сек.), особливо за наявності різноспрямованих потоків, вимірюються електроанемометрами, циліндричними або кульовими кататермометрами.

Температура поверхонь огорожувальних конструкцій (стін, стелі, підлоги) або обладнань (екранів і т. ін.), зовнішніх поверхонь технологічного устаткування вимірюються приладами, що діють за принципом термоелектричного ефекту.

Інтенсивність теплового опромінення вимірюється приладами з чутливістю в інфрачервоному діапазоні, що діють за принципами термо-, фотоелектричного та інших ефектів, або визначається розрахунковим методом за температурою джерела.

Одночасно вимірюється температура оточуючого повітря за допомогою іншого термодатчика (температура сухого термометра). Отримана в такий спосіб різниця температур є значенням відносної вологості повітря.

Сучасні психрометри можна розділити на три категорії: стаціонарні (термометри закріплені на спеціальному штативі в метеорологічній будці), аспіраційні (термометри розташовані в спеціальній оправі, що захищає їх від ушкоджень і теплового впливу прямих сонячних променів, і в якій обдуваються за допомогою вентилятора потоком досліджуваного повітря з постійною швидкістю близько 2 м/сек) та дистанційні.

Гігрометр психрометричний призначений для виміру відносної вологості і температури повітря в приміщенні. Являє собою прилад, зібраний на підставці з фенопласту або інших матеріалів з аналогічними по властивостями. До підставки кріпляться два термометри зі шкалою, психрометрична таблиця, скляний резервуар, заповнений дистильованою водою. Термометра під написом "Зволожений"" зволожується з резервуару за допомогою гнота з батисту шифону.

Діапазон вимірювання та допустима похибка приладів повинна відповідати вимогам табл. 5.3.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 5.3 – Вимоги до вимірювальних приладів [22]

Вимірювані величини	Діапазон вимірювань	Допустима похибка	Рекомендовані прилади
Температура повітря, °С	-30...+ 5	±0,1	Аспіраційний психрометр із ртутними термометрами
Відносна вологість повітря, %	15...100, %	±5,0	Ті ж самі та записуючі вологість гігрографи
Температура поверхні, °С	-30...100	±1,0	Електротермометри, термопари і т.ін.
Швидкість руху повітря, м/сек.	від 0,1...0,5 до 0,6...5,0	±0,2 ±0,1	Анемометри ротаційної дії
Інтенсивність інфрачервоного опромінення	10,0...20000	±10%	Актинометри, термостовбці болометри, радіометри зі спектральною чутливістю в діапазоні 0,30 – 20,0 мкм

## Список літератури

1. Проект кожухотрубного теплообмінника для підігріву води на технологічні потреби підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://studcon.org/proekt-kozhuhotrubnogo-teploobminnyka-dlya-pidigrivu-vody-na-tehnologichni-potreby-pidpryyemstva>.
2. Таубман Е. И. Контактные теплообменники / Е. И. Таубман [и др.]. – Москва : Химия, 1987. – 256 с.
3. Дистанційний курс «Процеси та апарати хімічних виробництв». Тема 19. Сучасні конструкції теплообмінного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266093/index.html>.
4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
5. Врагов А. П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навч. посібник / А. П. Врагов. – Суми : Вид-во СумДУ, 2006. – 262с.
6. Дистанційний курс «Процеси та апарати хімічних виробництв». Тема 12. Загальні відомості щодо процесів теплообміну і теплопередачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266051/index.html>.
7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
8. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
9. Сарданашвили А. Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А. Г. Сарданашвили, А. И. Львова. – М. : Химия, 1980. – 256 с.
10. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48



11. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
12. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.
13. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
14. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
15. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
16. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.
18. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
19. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укладачі: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
20. Основы физиологии, гигиены труда та виробничої санітарії. Вплив факторів повітряного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://moodle.hups.mil.gov.ua/pluginfile.php/6337/mod\\_resource/content/1/лекція%20№4.pdf](http://moodle.hups.mil.gov.ua/pluginfile.php/6337/mod_resource/content/1/лекція%20№4.pdf).

21. Основи охорони праці. Тема 7. Основи фізіології та гігієни праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ztec.com.ua/ztec/e-lib/Охорона%20праці/Тема%207%20Фізіологія%20та%20гігієна.pdf>.

22. Нормування параметрів мікроклімату [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/580.html>.

23. Визначення параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://сро.stu.cn.ua/Oksana/OP\\_lap\\_pr\\_ks\\_pe/50.html](https://сро.stu.cn.ua/Oksana/OP_lap_pr_ks_pe/50.html).

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50