

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

Тема роботи: Блок отримання технічного пропан-бутану
установки переробки нестабільної нафти. Розробити
випарник етанової ректифікаційної колони

Виконав:
студент групи ХМдн-54чк
Александров Сергій Віталійович

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

Курс 3 Група ХМдн-54чк Семестр 6

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Александров Сергій Віталійович

1 Тема проекту: Блок отримання технічного пропан-бутану установки переробки нестабільної нафти. Розробити випарник етанової ректифікаційної колони

2 Вихідні дані: Розробити вбудований кожухотрубний випарник етанової колони. Витрата кубового залишку становить 1160 кг/год. Компонентний склад кубового залишку (мас. частки): $CH_4 = 0,011$; $C_2H_6 = 0,043$; $C_3H_8 = 0,276$; $i-C_4H_{10} = 0,139$; $n-C_4H_{10} = 0,268$; $i-C_5H_{12} = 0,146$; $n-C_5H_{12} = 0,100$; $C_6H_{14} = 0,017$. Обігрів здійснюється насиченою водяною парою під тиском 0,2 МПа.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарата</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальні креслення деталей та вузлів</u> | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 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: 53 с., 6 рис., 4 табл., 2 додатки, 222 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальні креслення деталей та вузлів – усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Блок отримання технічного пропан-бутану установки переробки нестабільної нафти. Розробити випарник етанової ректифікаційної колони».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості теплообмінних процесів, виконані технологічні розрахунки апарата, визначені його габаритні розміри, гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата. У розділі «Охорона праці» розглянуті характеристика та дія на організм людини електромагнітних полів, а також нормування та захист від них. У додатках представлені комп'ютерні розрахунки запроектованого апарата на міцність із застосуванням ЕОМ (програма Passat).

Ключові слова: УСТАНОВКА, ВИПАРНИК, КУБОВИЙ ЗАЛИШОК, ВУГЛЕВОДНІ, ПРОПАН, БУТАН, МІЦНІСТЬ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	15
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	19
2.1 Технологічні розрахунки	19
2.2 Конструктивні розрахунки	25
2.3 Гідравлічний опір апарата	26
2.4 Вибір допоміжного обладнання	29
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	35
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	30
3.2 Розрахунок висоти трубної решітки	33
3.3 Розрахунок опори апарата	33
4 Монтаж та ремонт апарата	38
4.1 Монтаж апарата	38
4.2 Ремонт апарата	39
5 Охорона праці	43
Список літератури	51
Додаток А – Розрахунки апарата на міцність із застосуванням ЕОМ	
Додаток Б – Специфікації до графічної частини	

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Александров			Кожухотрубний випарник	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Острога			Пояснювальна записка	4	53	
Реценз.					СумДУ, ХМдн-54чк			
Н. Контр.								
Утверд.		Склабінський						

Вступ

Малотоннажні нафтопереробні заводи (міні-НПЗ) являють собою промислові підприємства, основною функцією яких є переробка нафти (об'ємом до 1 млн тонн сировини на рік) в бензин, дизельне паливо, мазут [1].

Переваги міні-НПЗ у порівнянні із крупнотоннажними НПЗ наступні [1]:

- швидкий термін проектування, будівництва;
- посилений контроль якості;
- використання меншої енергії;
- менше капітальних витрат;
- менша ділянка землі (площа) для заводу;
- менше польових робіт;
- знижена потреба у кваліфікованій робочій силі;
- більш швидкі фінансові звіти для встановленого заводу;
- підвищена безпека.

На міні-НПЗ дуже часто надходить нестабільна вуглеводнева сировина (нестабільна нафта). При її переробці найбільш легкої фракцією є вуглеводневий газ. Масова витрата газу становить близько 5 % від вихідної сировини. Уловлювання газового потоку, що містить цінні вуглеводневі компоненти (пропан-бутан), є перспективою його подальшої переробки а, отже, сприяє підвищенню ступеня використання енергоресурсів України.

Установка переробки нестабільної нафти оснащена блоком для отримання технічного пропан-бутану (метод низькотемпературної ректифікації).

Низькотемпературна ректифікація (НТР) – це процес розділення газових сумішей при низьких температурах. Принципова відмінність схеми НТР від низькотемпературної конденсації (НТК) полягає в тому, що сировина поступає на установку і після охолодження подається в ректифікаційну колону. Як правило, НТР дозволяє провести розділення суміші з меншою витратою роботи і отримати достатньо чисті продукти.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Основним апаратом блоку отримання технічного пропан-бутану є етанова ректифікаційна колона. Вона являє собою насадковий колонний апарат порівняно невеликого розміру (діаметром 0,4 м і висотою робочої частини 5,7 м).

Для забезпечення паровим зрошенням ректифікаційної колони використовують випарники різноманітних конструкцій і розмірів [1–4]. У нашому випадку, враховуючи компактні розміри колони, для генерації вуглеводневих парів застосовуємо вбудований кожухотрубний випарник, міжтрубний простір якого обігрівається насиченою водяною парою.

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології. Зміст розділів у даній пояснювальній записці формувався відповідно вимогам [5].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема установки переробки нестабільної вуглеводневої сировини представлена на рис. 1.1.

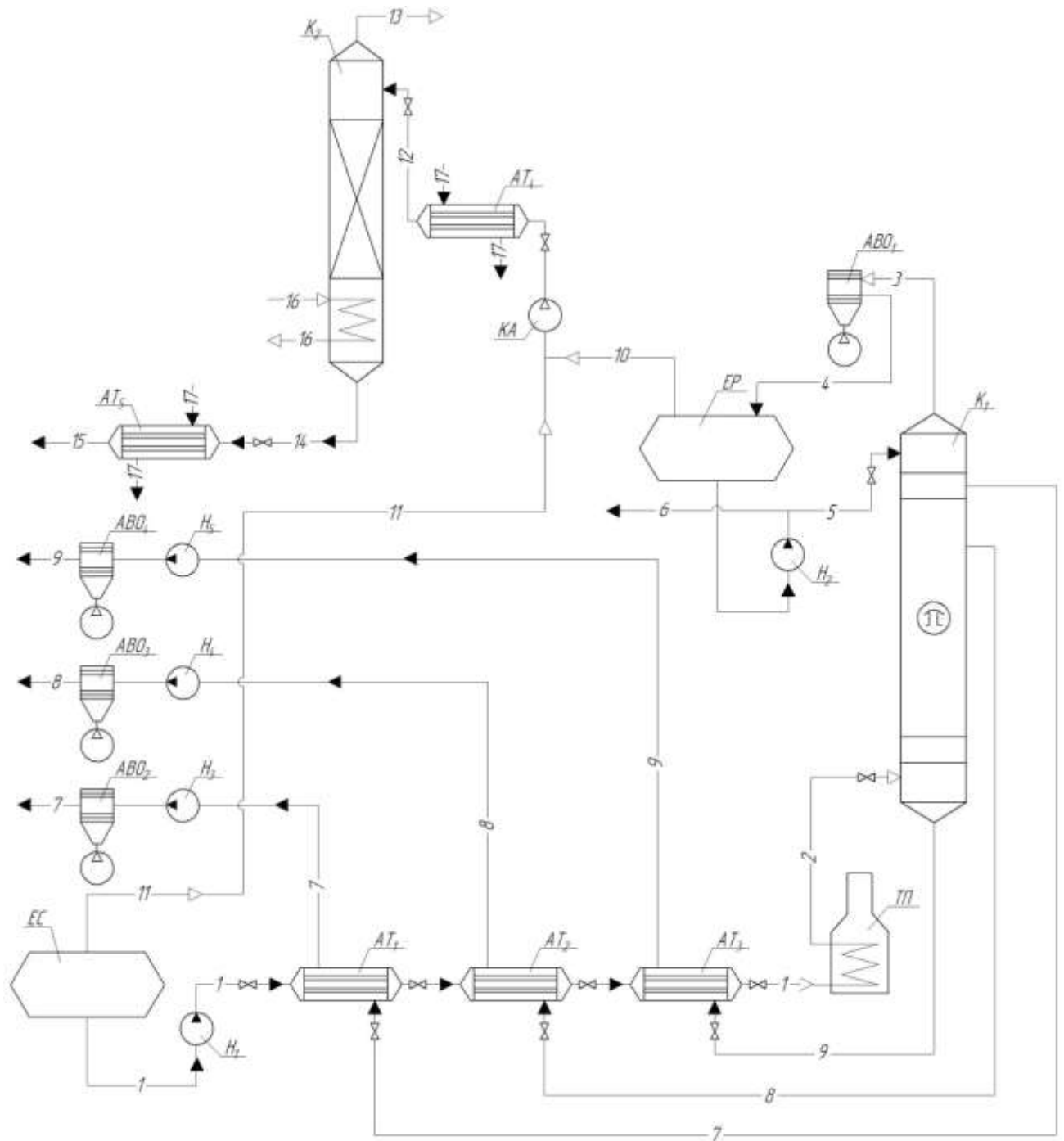


Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки переробки нестабільної нафти

Працює установка наступним чином. У технологічному процесі, як уже було зазначено, використовується нестабільна нафта. Вона потрапляє до сировинної ємності E_1 . За допомогою насоса H_1 нафта послідовно проходить блок теплообмінних апаратів AT_1, AT_2, AT_3 . Підігрів нестабільної нафти відбувається за рахунок тепла зустрічних потоків нафтопродуктів, тобто зазначені теплообмінники працюють по принципу рекуперації. Уже підігріта нафта поступає у трубчасту піч ТП, де відбувається її нагрівання аж до температури початку кипіння. Саме в такому стані вона подається під нижню тарілку атмосферної ректифікаційної колони K_1 . По висоті колони K_1 , від низу до гори, рухається парова фаза вуглеводнів. У верхню частину колони подається флегмове зрошення. У якості контактних пристроїв у колоні K_1 встановлені ковпачкові тарілки. Піднімаючись по висоті колони, паро-газова суміш контактує на тарілках із вуглеводневою рідиною. Внаслідок такого контакту відбувається масообмінний процес при якому із пари в рідину конденсуються і переходять труднолетючі компоненти (ТЛК). Процес конденсації супроводжується значним виділенням тепла, яке витрачається на випарювання із суміші рідких вуглеводнів легколетючих компонентів (ЛЛК).

У результаті переробки нестабільної нафти найбільш легкою фракцією, що отримують на установці, є вуглеводневий газ. Його склад містить дуже цінні компоненти (пропан і бутан). Дана фракція із верхнього штуцера колони K_1 потрапляє до апарату повітряного охолодження АПО₁, де відбувається конденсація парів. Частина утвореного конденсату повертається в колону K_1 у вигляді флегми для її зрошення.

Для виділення з газової суміші пропан-бутанової фракції необхідно створити певні умови – газовий потік спочатку стискається до тиску 3 МПа за допомогою компресорного агрегату КА, потім охолоджується в холодильнику AT_4 , після чого спрямовується в етанову ректифікаційну колону K_2 . Етанова колона являє собою насадкову ректифікаційну колону, у якій в результаті протитечійної взаємодії парової і рідкої фаз відбувається розділення суміші. Із

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

верхнього штуцера відводиться метан-етанова фракція, а з нижньої частини колони – зріджений пропан-бутан, який охолоджується в холодильнику АТ₅ і відводиться споживачеві.

По висоті ректифікаційної колони К₁ бічними погонями відводяться цільові фракції атмосферної перегонки. Першим бічним погоном є фракція 150–200°С, яка йде зустрічним потоком у міжтрубний простір теплообмінника АТ₁ для підігрівання початкової сировини, а потім додатково охолоджується в апараті повітряного охолодження АПО₂. Після чого, у якості готового продукту, відводиться в товарний парк.

Другий бічний погон – фракція 200–350°С також проходить дві стадії охолодження і спрямовується в товарний парк.

Кубовий залишок колони К₁ – мазут. Він відводиться через нижній штуцер і прямує в міжтрубний простір теплообмінника АТ₃. Тут, нагріваючи зустрічний потік нафти, і в АПО₄ він охолоджується до необхідної температури і відводиться в товарний парк.

1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи та особливості розрахунку теплообмінних процесів, що наведено у цьому розділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [1–4].

У випарниках основним завданням процесу є випаровування робочого середовища (холодного теплоносія) і переведення його з рідкого стану в паровий (або газовий) стан за рахунок передачі тепла від гарячого теплоносія до холодного, що кипить та випаровується.

У випарниках-конденсаторах по обидві сторони поверхні теплопередачі теплоносії змінюють свій агрегатний стан – у той час як гарячий теплоносії віддає тепло та конденсується, холодний теплоносії, по іншу сторону поверхні, нагрівається та випаровується.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

У залежності від агрегатного стану теплоносіїв розрізняють такі теплообмінні апарати:

- без зміни агрегатного стану обох теплоносіїв (газо-газові, газо-рідинні, рідинно-рідинні холодильники та підігрівачі);
- зі зміною агрегатного стану одного з теплоносіїв (підігрівник-випарник, конденсатор-підігрівник, холодильник-конденсатор тощо);
- зі зміною агрегатного стану обох теплоносіїв (конденсатор-випарник).

За способом утворення теплообмінної поверхні розрізняють:

- апарати, що виготовлені із труб (трубні, кожухотрубні, змійовикові, кручені та ін.);
- теплообмінні апарати, що виготовлені з листового прокату (пластинчасті, спіральні, ламельні та ін.).

За орієнтацією теплообмінної поверхні розрізняють:

- вертикальні (В);
- горизонтальні (Г);
- похилі (П).

За способом компенсації температурних подовжень теплообмінні апарати бувають:

- без компенсації – жорсткої конструкції;
- з компенсацією пружним елементом – напівжорсткої конструкції;
- з компенсацією в результаті вільних подовжень – нежорсткої конструкції.

Наявність конструктивних пристроїв для компенсації температурних подовжень відбито в умовних позначеннях типу теплообмінника такими індексами:

- ВУ – випарник з U-подібними трубками;
- ТН – теплообмінник з нерухомими трубними дошками;
- ТП – теплообмінник із плаваючою голівкою;
- ХК – холодильник з температурним компенсатором на корпусі.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

бути не менше ніж 4 мм. До циліндричних країв кожуха приварюють фланці для з'єднання з кришками або днищами. На зовнішній поверхні кожуха прикріплюють опори апарату.

Трубчатка кожухотрубних теплообмінників виконується із прямих або вигнутих (U-подібних або W-подібних) труб діаметром від 12 до 57 мм. Віддають перевагу сталевим безшовним трубам.

У кожухотрубних теплообмінниках прохідний перетин у міжтрубному просторі в 2–3 рази більший, аніж прохідний перетин усередині труб. Тому при рівних витратах теплоносіїв із однаковим фазовим станом коефіцієнти тепловіддачі на поверхні міжтрубного простору невисокі, що знижує загальний коефіцієнт теплопередачі в апараті. Встановлення перегородок у міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника сприяє збільшенню швидкості теплоносія і, як наслідок, підвищенню ефективності теплообміну.

Трубні решітки служать для закріплення в них пучків труб за допомогою розвальцьовування, відбортовки, зварювання, сальникових кріплень або їх комбінацій.

Вибір теплообмінника здійснюється за площею поверхні теплопередачі, яка розраховується за формулою:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}}, \quad (1.1)$$

де Q – тепловий потік в апараті, Вт;

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

Δt_{CP} – середня різниця температур між теплоносіями, °С.

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.2)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м²·К);

δ_{CT} – товщина стінки теплопередаючої поверхні, м;

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

Середня різниця температур при прямої або протитої теплоносіїв дорівнює:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (1.3)$$

де Δt_B і Δt_M – різниці температур (великої й малої) теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

Середня температура теплоносія, за якою визначаються його теплофізичні властивості, знаходиться двома способами. Для теплоносіїв, температури яких змінюються від початкової t_1 до кінцевої t_2 і $t_2/t_1 < 2$, приймають середньоарифметичну температуру $t_{CP} = (t_1 + t_2)/2$.

Для теплоносія, у якого $t_2/t_1 > 2$ середню температуру розраховують за формулою:

$$t_{CP} = \theta_{CP} \pm \Delta t_{CP}. \quad (1.4)$$

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

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}. \quad (1.5)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu} \quad (1.6)$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} \quad (1.7)$$

Критерій Грасгофа характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції:

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2} \quad (1.8)$$

У рівняннях (1.5)–(1.8) наступні позначення:

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

λ – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К);

μ – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с;

c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

β – коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, 1/К;

w – швидкість теплоносія, м/с;

l – визначальний геометричний розмір, м;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

$\Delta\theta$ – частковий температурний напір (різниця між температурою гарячого теплоносія і температурою стінки або між температурою стінки і температурою холодного теплоносія), К.

Під час вимушеної конвекції теплоносії рухаються уздовж поверхні теплообміну з певною швидкістю під дією зовнішньої сили, наприклад, сили

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

тяжіння або сили тиску, що розвивається насосом, компресором або вентилятором.

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

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Цільовим призначенням проектованого випарника етанової колони є випаровування частини кубового продукту (переважно це пропан-бутанова фракція) і подача утворених парів під нижній шар насадки. Зважаючи на невеликі розміри ректифікаційної колони, випарник за допомогою фланцевих з'єднань монтується безпосередньо в кубову частину колону (рис. 1.3).

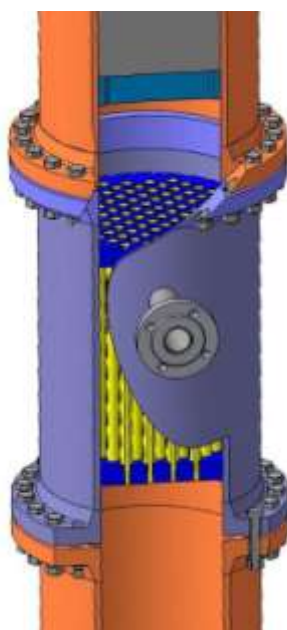


Рисунок 1.3 – Віртуальна модель кубової частини етанової колони

По трубному простору проектованого теплообмінника рухається вуглеводнева сировина у кількості 1160 кг/год., а по міжтрубному – насичена водяна пара під абсолютним тиском 0,2 МПа (відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу). Кожухотрубний випарник конструктивно складається

із корпусу, трубної решітки, фланців, трубного пучка (рис. 1.4). Принцип його роботи нічим не відрізняється від звичайного одноходового кожухотрубного теплообмінника.

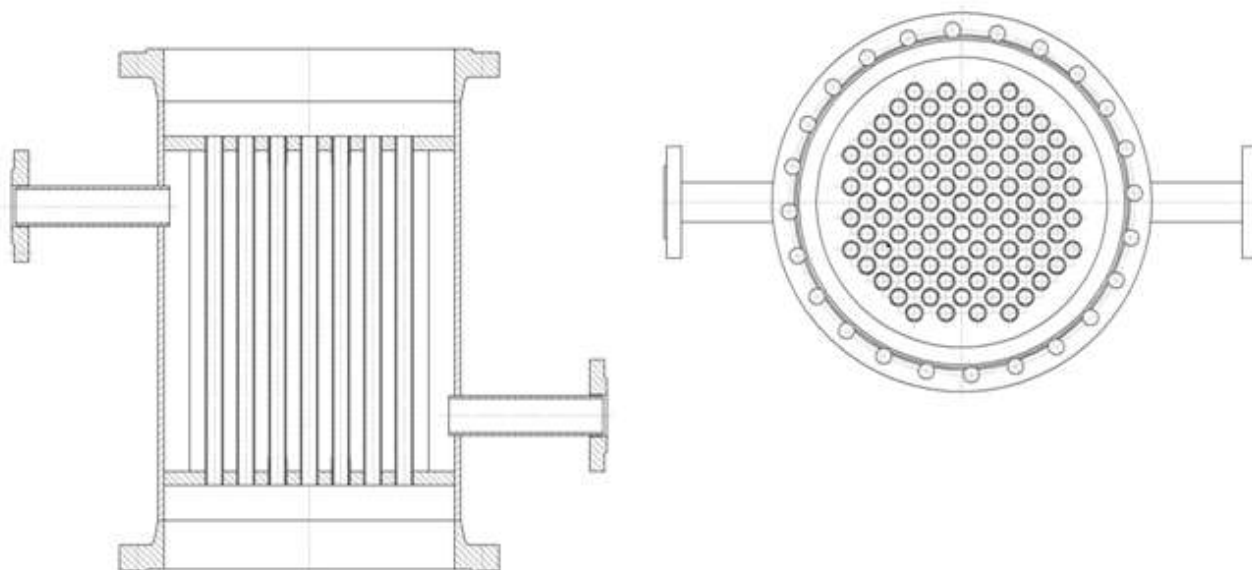


Рисунок 1.4 – Схема кожухотрубного випарника етанової колони

Кубовий залишок етанової колони являє собою вуглеводневу суміш, що складається, по більшій частині, із рідкого пропан-бутану, але також присутні у незначній кількості й інші вуглеводні.

Основні властивості використовуваних речовин [6–7]. Вуглеводні – це найпростіші органічні сполуки, що складаються з двох елементів: вуглецю і водню. Граничними вуглеводнями, або алканами (міжнародна назва), називаються сполуки, склад яких виражається загальною формулою C_nH_{2n+2} , де n – число атомів вуглецю. У молекулах насичених вуглеводнів атоми вуглецю пов'язані між собою простим (одинарним) зв'язком, а усі інші валентності насичені атомами водню.

Пропан C_3H_8 – органічна речовина класу алканів. Міститься в природному газі, утворюється при крекінгу нафтопродуктів, при розділенні попутного нафтового газу, «жирного» природного газу, як побічна продукція при різних хімічних реакціях. Чистий пропан не має запаху, однак в технічний газ можуть

додаватися компоненти, що володіють сигнальним запахом. Як представник вуглеводневих газів пожежо- та вибухонебезпечний. Малотоксичний, але погано впливає на центральну нервову систему (отруєння, блювота, можливий летальний результат). Дуже мало розчинний у воді. Точка кипіння $-42,1^{\circ}\text{C}$. Точка замерзання -188°C . Утворює з повітрям вибухонебезпечні суміші при концентрації парів від 1,7 до 10,9 %. Критична температура пропану $T_{\text{кр}} = 370 \text{ K}$, критичний тиск $P_{\text{кр}} = 4,27 \text{ МПа}$, критичний питомий об'єм $V_{\text{кр}} = 0,00444 \text{ м}^3/\text{кг}$. Густина зрідженого пропану при $298 \text{ K} - 0,493 \text{ т/м}^3$. Густина газової фази за нормальних умов $2,019 \text{ кг/м}^3$. Густина газової фази при температурі 15°C дорівнює $1,900 \text{ кг/м}^3$. Питома теплота згоряння 48 МДж/кг [6].

Бутан C_4H_{10} – органічна сполука, вуглеводень класу алканів. У хімії назва використовується в основному для позначення н-бутану. Таку ж назву має суміш н-бутану і його ізомери изобутана $\text{CH}(\text{CH}_3)_3$. Вдихання бутану викликає дисфункцію легенево-дихального апарату. Як представник вуглеводневих газів пожежо- та вибухонебезпечний, малотоксичний, має специфічний характерний запах, володіє наркотичними властивостями. За ступенем впливу на організм газ відноситься до речовин 4-го класу небезпеки (малонебезпечні) за ГОСТ 12.1.007-76. Шкідливо впливає на нервову систему. При нормальному тиску легко зріджується від $-0,5^{\circ}\text{C}$, замерзає при -138°C ; при підвищеному тиску і звичайній температурі – легколетка рідина. Критична температура $+152^{\circ}\text{C}$, критичний тиск $3,797 \text{ МПа}$. Розчинність у воді – $6,1 \text{ мг}$ в 100 мл (для н-бутану, при 20°C), значно краще розчиняється в органічних розчинниках. Може утворювати азеотропну суміш із водою при температурі близько 100°C і тиску 10 атм . Густина рідкої фази – 580 кг/м^3 . Густина газової фази за нормальних умов $2,703 \text{ кг/м}^3$. Теплота згоряння $45,8 \text{ МДж/кг}$ (2657 МДж/моль) [7].

У нафтопереробній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від $0,015 \text{ Па}$ до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [8].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивна досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [8–10].

Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають наступні вимоги [9]:

1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при робочих параметрах процесу;

2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;

3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;

4) низька вартість і доступність матеріалів.

Здійснимо підбір конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей теплообмінника. Підбір здійснюємо, враховуючи значення температури та тиску, а також особливості робочого середовища.

Для деталей випарника, які контактують із вуглеводнями вибираємо конструктивний матеріал – сталь 16ГС. Для інших елементів – сталь Ст 3.

Для ущільнення з'єднань використовуємо прокладковий матеріал – пароніт ПОН-1. Це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Середня молекулярна маса кубового залишку:

$$M = \sum M_i \cdot X_{w_i}, \text{ кг/кмоль} \quad (2.1)$$

де M_i – молярна маса відповідного компоненту;

X_{w_i} – вміст відповідного компоненту в кубовому залишку етанової колони, мольн. частки.

$$M = 52,42 \text{ кг/кмоль.}$$

Ентальпія потоку становить:

$$q = q_p \cdot M, \text{ кДж/кмоль} \quad (2.2)$$

де q_p – ентальпія нафтових рідин, кДж/кг [2].

$$q = 383 \cdot 52,42 = 20077 \text{ кДж/кмоль}$$

Якщо припустити, що молярна витрата парів не змінюється по висоті відгінної частини колони, то теплове навантаження (в кДж/год.) випарника визначаємо за рівнянням [3]:

$$Q_w = G_d \cdot (H_w - h_w), \quad (2.3)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

де H_w – ентальпія кубових парів при температурі $t_w = 90^\circ\text{C}$ і тиску $P_w = 3,62\text{МПа}$, кДж/кмоль;

h_w – ентальпія кубової рідини при температурі $t_w = 90^\circ\text{C}$, кДж/кмоль.

Числові значення ентальпій визначаємо за графіком [3]. Тоді:

$$Q_w = 5,67 \cdot (31700 - 12100) = 111132 \frac{\text{кДж}}{\text{год}} = 30,87 \text{ кВт}.$$

Параметри гріючої водяної пари при абсолютному тиску $p = 0,2\text{ МПа}$: температура $t_{2П} = 120^\circ\text{C}$; питома теплота конденсації $r = 2200\text{ кДж/кг}$ [11].

На підставі даних промислової експлуатації і з метою забезпечення достатнього температурного напору при передачі від водяної пари до кубового залишку приймемо [3]: кінцева температура водяної пари $t_{2К} = 105^\circ\text{C}$; кінцева температура парів кубового залишку $t_{1К} = 102^\circ\text{C}$.

Витрата пари:

$$G_{П} = \frac{Q_w}{r \cdot \eta_T}, \text{ кг/ГОД.} \quad (2.4)$$

де η_T – коефіцієнт утримання тепла; приймаємо $\eta_T = 0,95$ [3].

$$G_{П} = \frac{111132}{2200 \cdot 0,95} = 53,2 \text{ кг/год.}$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}\right)}, \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.5)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Усі теплофізичні параметри визначалися при кінцевій температурі вуглеводневої сировини $T_S = 375$ К.

Густина парової фази визначається за рівнянням Менделєєва-Клайперона:

$$\rho_{II} = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_S} \cdot \frac{p}{p_0}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.7)$$

де ρ_0 – густина пари за нормальних умов, кг/м^3 .

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4} = \frac{52,42}{22,4} = 2,34 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{II} = 2,34 \cdot \frac{273}{375} \cdot \frac{3,62}{0,1} = 61,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Поверхневий натяг на межі пара – рідина [3]:

$$\sigma = \frac{21,2 \cdot 10^{-6}}{\left(\frac{M}{\rho_P}\right)^{\frac{2}{3}}} \cdot (T_{KP} - T_S - \delta), \frac{H}{M} \quad (2.8)$$

де M – мольна маса кубового залишку, $M = 52,42$ кг/кмоль ;

ρ_P – густина кубового залишку при температурі $T_S = 375$ К; $\rho_P = 470$ кг/м^3 .

T_{KP} – псевдокритична температура залишку, К;

δ – постійна, $\delta = 7$ К [3].

Псевдокритична температура кубового залишку дорівнює:

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$T_{KP} = \sum T_{KPi} \cdot X_{wi}, K \quad (2.9)$$

$$T_{KP} = \sum T_{KPi} \cdot X_{wi},$$

де T_{KPi} – критичні температури компонентів [2].

$$T_{KP} = 419 K;$$

$$\sigma = \frac{21,2 \cdot 10^{-6}}{\left(\frac{52,42}{470}\right)^{\frac{2}{3}}} \cdot (419 - 375 - 7) = 3,4 \cdot 10^{-3} \frac{H}{M}.$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості суміші за [2] $\mu_p = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$

$$\alpha_2 = 7,77 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{61,7 \cdot 483 \cdot 10^3}{470 - 61,7}\right)^{0,033} \cdot \left(\frac{470}{3,4 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,33} \cdot \frac{(0,95 \cdot 10^{-2})^{0,75}}{(0,1 \cdot 10^{-3})^{0,45} \cdot 1600^{0,12} \cdot 375^{0,37}} \cdot q^{0,75};$$

$$\alpha_2 = 0,518 \cdot q^{0,75}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку водяної пари:

$$\alpha_1 = 1,36 \cdot A \cdot q^{0,5} \cdot l^{0,35} \cdot d_B^{-0,25}, \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (2.10)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від середньої температури конденсату, $A = 8$ [2];

l – довжина труби, $l = 0,5$ м;

d_B – внутрішній діаметр труби; $d_B = 0,025 - 2 \cdot 2 = 0,021$ м.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$\alpha_1 = 1,36 \cdot 8 \cdot q^{0,5} \cdot 0,5^{0,35} \cdot 0,021^{-0,25};$$

$$\alpha_1 = 22,42 \cdot q^{0,5}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (2.11)$$

де δ_{CT} – товщина стінки труби; $\delta_{CT} = 0,002$ м;

λ_{CT} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки труби; $\lambda_{CT} = 46,5$ Вт/(м·К);

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + 4,3 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Теплонапруга $q = 18700$ Вт/м² [3].

$$\alpha_1 = 22,42 \cdot 18700^{0,5} = 3065 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

$$\alpha_2 = 0,518 \cdot 18700^{0,75} = 828 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

$$k = \frac{1}{\frac{1}{3065} + 4,3 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{828}} = 634 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Розрахований коефіцієнт теплопередачі потрапляє в необхідний діапазон [3], а отже розрахунок зроблений правильно.

2.2 Конструктивні розрахунки

Розрахункову поверхню теплообміну знаходимо за рівнянням (1.1):

$$F_P = \frac{30,87 \cdot 10^3}{634 \cdot 16,7} = 2,92 \text{ м}^2$$

Вбудований випарник має наступні характеристики:

- діаметр кожуха 400 мм;
- довжина труб 500 мм;
- кількість труб 89 шт.;
- діаметр труб 25×2 мм;
- кут розбивки 90°;
- шаг 32 мм;
- поверхня теплообміну 3,5 м².

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні апарату складе:

$$\beta = \frac{F - F_P}{F} \cdot 100 \% ; \quad (2.13)$$

$$\beta = \frac{3,5 - 2,92}{3,5} \cdot 100 \% = 16,5 \% .$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Діаметри штуцерів для підведення та відведення гріючої водяної пари визначаємо за формулою [12]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{II}}{\pi \cdot \rho \cdot w}}, \quad (2.14)$$

де G_{II} – масова витрата гріючої водяної пари, кг/с;

ρ – густина водяної пари, кг/м³;

w – швидкість середовища (водяна пара), м/с; рекомендован швидкість руху газових теплоносіїв за [12] становить 5–25 м/с.

Отже, діаметр патрубку для підведення та відведення гріючої водяної пари дорівнює:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 53,2 / 3600}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 5}} = 0,033 \text{ м}$$

Приймаємо стандартизовані патрубки з умовним діаметром $D_y=50$ мм.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Розрахунок гідравлічного опору кожухотрубного теплообмінника визначає кількість енергії, яка витрачається на рух теплоносіїв через апарат. Гідравлічний опір у міжтрубному просторі не визначаємо оскільки, внаслідок незначної швидкості вуглеводневої суміші, його значення невелике [13].

Розрахунок проводимо відповідно до методики, представлені у [9].

Повний напір ΔP , який необхідно створити для руху середовища через теплообмінник, визначаємо за формулою:

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_Y + \Sigma \Delta P_{\Gamma}, \quad (2.15)$$

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

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

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

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

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

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{l}{d_E} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.16)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.17)$$

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

Знаходимо критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (2.18)$$

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,021 \cdot 470}{0,09 \cdot 10^{-3}} = 54833;$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{54833} \right)^{0,25} = 0,163;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,163 \cdot \frac{0,5}{0,021} \cdot \frac{0,5^2 \cdot 470}{2} = 228 \text{ Па}.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

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

де ξ – коефіцієнт місцевого опору; його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = \xi_1 + \xi_2$ (вхід у труби $\xi_1 = 0,5$ і вихід із них $\xi_2 = 1$ [11]).

$$\xi = 0,5 + 1 = 1,5;$$

$$\Delta P_{TP} = 1,5 \cdot \frac{0,5^2 \cdot 470}{2} = 88 \text{ Па}.$$

Оскільки для крапельних рідин втрати тиску ΔP_y мізерно малі, то вони в розрахунок не приймаються ($\Delta P_y = 0$). Перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини також дорівнює нулю ($\Delta P_\Gamma = 0$).

Повний напір складе:

$$\Delta P = 228 + 88 = 316 \text{ Па}.$$

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір компресорного агрегату КА [14].

Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.1) використовується один компресорний агрегат. Тобто, для розрахунку компресора необхідно визначити величину об'ємної витрати вуглеводнів Q (л/хв):

$$Q = \frac{g_f}{\rho_f}; \quad (2.20)$$

$$Q = \frac{1300}{35} = 37 \text{ м}^3/\text{год.} = 620 \text{ л/хв.}$$

Широко поширеною помилкою на практиці є неправильне розуміння величини продуктивності компресора. У каталогах будь-яких фірм-виробників компресорів під цією величиною розуміється максимальне споживання повітря на вході компресора, тобто, цю величину можна застосовувати як продуктивність компресора на виході, оскільки вона не враховує його ККД і конструктивні особливості.

Продуктивність компресора A (л/хв) визначаємо за рівнянням:

$$A = Q \cdot \frac{\beta}{\eta}, \quad (2.21)$$

де β – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості і надійність різних груп компресорів;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора.

Довідкові значення β і η для роботи в діапазоні заданого робочого тиску в пневмосистемі наведені у табл. 2.1 [14].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Таблиця 2.1 – Значення β і η у залежності від конструкції компресора

Тип компресора	β	η
Напівпрофесійні	1,7	0,55
Професійні	1,5	0,65
ВК і HEAVY DUTY (особливо навантажені)	1,3	0,75
Роторні	1	1

За табл. 2.1 вибираємо професійний компресор, для якого продуктивність складе:

$$A = 620 \cdot \frac{1,5}{0,65} = 1430 \text{ л/хв.}$$

На промислових установках знаходять застосування поршневі (прямоточні і непрямоточні), ротаційні та гвинтові компресорні агрегати.

Слід відзначити, що традиційні поршневі компресори прекрасно себе зарекомендували: прості, надійні, не потребують кваліфікованого персоналу для їх обслуговування, невибагливі. Головне не допускати грубого порушення інструкції і своєчасно проводити заміну масла, слив конденсату, профілактичне обслуговування.

Маючи розрахункову величину продуктивності, за [14] вибираємо поршковий компресор марки ФУУ30 з такими характеристиками:

– кінцевий тиск (максимальний), МПа	4
– діаметр циліндра / хід поршня, мм	76,6 / 55
– теоретична об'ємна подача, л/хв ($\text{м}^3/\text{с}$)	1000 (0,0167)
– холодопродуктивність, кВт	62
– споживана потужність, кВт	21,5

Розрахунок і вибір насосу H_2 для подачі флегмового зрошення в атмосферну колону [14].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, яка дорівнює $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.22)$$

де V – об’ємна витрата флегмового зрошення, що подається в колону.

$$V = \frac{3200}{3600 \cdot 670} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d = \sqrt{\frac{1,33 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,029 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.23)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 670}{2,97 \cdot 10^{-4}} = 130842,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо

$$\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,0069;$$

$$\frac{1}{e} = 145; 560 \cdot \frac{1}{e} = 81200; 10 \cdot \frac{1}{e} = 1450;$$

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.24)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,0069^{0,25} = 0,032.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

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

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

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

Для напірної лінії:

- 1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$;
- 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

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

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 1 = 4,95.$$

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.25)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0,032 \cdot \frac{4}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,37 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,032 \cdot \frac{7}{0,032} + 4,95 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,44 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \quad (2.26)$$

$$h_{П} = 1,37 + 2,44 = 3,81 \text{ м.}$$

Напір насосу знаходимо за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{П}, \quad (2.27)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина; у нашому випадку ця різниця дорівнює $(P_2 - P_1) = 0,28 - 0,17 = 0,11$ МПа;
 H_r – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = \frac{0,11 \cdot 10^6}{670 \cdot 9,81} + 3 + 3,81 = 23,5 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_K = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.28)$$

$$N_K = 670 \cdot 9,81 \cdot 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot 23,5 = 206 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_K}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.29)$$

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

$$N = \frac{206}{1 \cdot 0,6} = 343 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-6,3/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу $6,3 \text{ м}^3/\text{год.}$; напір насосу 25 м; потужність, яку потребує насосом $7,5 \text{ кВт}$; частота обертів 1450 об/хв .

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

Знаходимо величину нормативної допустимої напруги для сталі 16ГС при розрахунковій температурі 90°C: $\sigma^* = 161$ МПа.

Допустима напруга:

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

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

$$[\sigma] = 161 \cdot 1 = 161 \text{ МПа.}$$

Допустима напруга при гідравлічних випробуваннях:

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

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

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

У нашому випадку розрахунковий тиск буде дорівнювати робочому тиску в апараті, а саме: $P_p = P = 3,62$ МПа.

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

$$P_{ГВ} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, P_p + 0,3 \right\}, \quad (3.3)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 170$ МПа – допустима напруга сталі 16ГС при температурі 20°C ($\eta = 1$).

$$P_{ГВ} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot 3,62 \cdot 170}{161} = 4,78 \\ 3,62 + 0,3 = 3,92 \end{array} \right\} = 4,78 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки (рис. 3.1):

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_p} \\ \frac{P_{ГВ} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{ГВ} - P_{ГВ}} \end{array} \right\}, \quad (3.4)$$

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

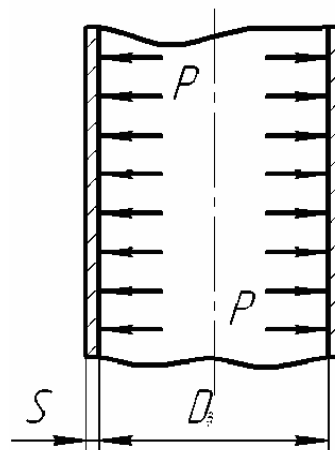


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{3,62 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 3,62} = 4,55 \\ \frac{4,78 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 4,78} = 3,79 \end{array} \right\} = 4,55 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_{\text{ц}} \geq S_{\text{р}}^{\text{ц}} + c, \quad (3.5)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.6)$$

де c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Приймаємо, що $c_2 = c_3 = 0$.

Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.7)$$

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

$\tau = 15$ років – термін служби апарату.

У результаті отримуємо:

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

$$S_{\text{ц}} = 4,55 + 1,8 = 6,35 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_{\text{ц}} = 8$ мм.

Уточнені розрахунки кожухотрубного теплообмінника на міцність треба проводити із урахуванням крайових навантажень. Такі обчислення виконано із використанням ЕОМ (програма Passat), а результати представлені у додатку А.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [16]

Випарник, який безпосередньо вбудовано у ректифікаційну колону, відноситься до кожухотрубних теплообмінних апаратів. Технологія монтажу даного апарата не залежить від місця, а залежить від способу його установки. Ректифікаційна колона розміщена на відкритому майданчику, а вертикальний випарник за допомогою фланцевих з'єднань монтується в кубову частину колони (див. рис. 1.3).

Монтаж повинен виконуватися кваліфікованими спеціалістами, організаціями, які мають відповідні ліцензії на право проведення подібних робіт у відповідності до вимог діючих нормативних документів. При монтажі теплообмінника необхідно правильно проводити стропування. Для стропування теплообмінника слід використовувати стропи синтетичні, у жодному разі не сталеві. Не можна використовувати кріпильні вироби чи патрубки для переміщення, для цього використовують спеціальні отвори або корпус теплообмінника.

Апарат повинен бути встановлений таким чином, щоб мати легку можливість виконувати обслуговування і технічний огляд. Для закріплення теплообмінника не вимагається спеціальної конструкції, наприклад, як для великого кожухотрубного теплообмінника.

При роботі теплообмінника необхідно завжди слідкувати за температурним режимом, гідравлічним опором. Зростання гідравлічного опору та / або зменшення температури свідчить про появу забруднень. Також при експлуатації теплообмінника на зовнішню поверхню кожуха (внаслідок високої температури) встановлюють захисну ізоляцію для запобігання теплових втрат і травмування людей.

У деяких випадках при монтажі проводять контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубних теплообмінників. При цьому перевіряють наявність

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

прокладок, комплектність знімних деталей, правильність їх взаємного розташування.

Для виявлення дефектів у розвальцьовуванні і обварці трубок трубний пучок спресовують шляхом подачі води в міжтрубний простір. При цьому також оглядають корпус теплообмінника. Дефекти розвальцьовування або обварення усувають.

4.2 Ремонт апарата

Міри безпеки при ремонтних роботах з кожухотрубним теплообмінником [17]:

- Якщо в теплообміннику знаходяться токсичні або небезпечні речовини, необхідно встановлювати захисний екран, знімати його не можна доти доки апарат знаходиться під тиском.
- Вивід обладнання з експлуатації повинен проводитись поступово.
- Охолодити апарат до початку ремонтних робіт. Забезпечити рівномірне зниження температур (поступово знижувати температуру теплоносіїв).
- При роботі з гарячими елементами слід використовувати рукавички, щоб запобігти опіки частин тіла.

Теплообмінники із трубною системою мають підвищену надійність, що дозволяє їм функціонувати без збоїв протягом довгих років. Але не варто забувати, що планове технічне обслуговування просто необхідне для профілактики поломок. Циркулюючий теплоносій з часом засмічує стінки трубок, осідаючи на їх поверхні та перешкоджаючи вільному потоку. Уникнути передчасного виходу обладнання із ладу та зберегти ефективність дозволить регулярне очищення трубчатки. Завдяки систематичному промиванню є можливість тривалий час підтримувати робочі параметри у нормі. Безпосередньо ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зношення обладнання.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є наступні [18, 19]:

1. Виривання трубок із трубних решіток.

Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

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

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

2. Наскрізна корозія трубок.

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

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Так само, як і в описаному вище випадку, при встановленні заглушок необхідно дотримуватись вимог з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що із великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити із ладу іншу трубки.

Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

3. Наскрізна корозія корпусу чи камери.

Дана проблема, так само як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заplatки;
- виготовлення нової камери чи корпусу.

4. Засмічення трубок чи міжтрубного простору.

Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один із теплоносіїв не фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (наприклад, при роботі з вихлопними газами).

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

Якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації середовищ, рекомендується установка необхідних фільтрів. Якщо ж відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

Подібні роботи слід проводити на місці експлуатації. У разі необхідності фахівці повинні виїхати на місце і провести цю роботу, але в більшості випадків ці операції виробляє експлуатаційний персонал.

5. Покриття вапном (накипом) чи іншими відкладеннями.

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

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

5 Охорона праці

Характеристика, дія на організм людини, нормування та захист від електромагнітних полів.

Розрізняють природні та штучні джерела електромагнітних полів (ЕМП). У процесі еволюції біосфера постійно перебуває під впливом ЕМП природного походження (природний фон): електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, передусім ті, що генеруються Сонцем. У період науково-технічного прогресу людство створило і все ширше використовує штучні джерела ЕМП. У теперішній час ЕМП антропогенного походження (зумовлені діяльністю людини) значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, чий вплив на людину з року в рік зростає.

Джерелами, що генерують ЕМП антропогенного походження, є телевізійні та радіотрансляційні станції, установки для радіолокації та радіонавігації, високовольтні лінії електропередач, промислові установки високочастотного нагрівання, пристрої, що забезпечують мобільний та сотовий телефонні зв'язки, антени, трансформатори і т. ін. По суті, джерелами ЕМП можуть бути будь-які елементи електричного кола, через які проходить високочастотний струм. Причому ЕМП змінюється з тою ж частотою, що й струм, який його створює.

Електромагнітні поля характеризуються певною енергією, яка поширюється в просторі у вигляді електромагнітних хвиль. Основними параметрами електромагнітних хвиль є: довжина хвилі, m ; частота коливання, $Гц$; швидкість поширення радіохвиль c , яка практично дорівнює швидкості світла $c = 300\,000\,000\, м/с$.

Залежно від частоти коливань (довжини хвилі) радіочастотні електромагнітні випромінювання поділяються на низку діапазонів (табл. 5.1).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

- Холодильник – у різних джерелах небезпека електромагнітного випромінювання різна і небезпечна відстань коливається від 30 см до 1,5 м;
- Електричний чайник – область випромінювання до 25 см;
- Пральна машина – небезпечна відстань коливається від 40 до 60 см;
- Посудомийна машина – до 40 см;
- Електрична праска – небезпечна лише в режимі нагрівання, а відстань небезпечного випромінювання – 20 см;
- Телевізор – один з найнебезпечніших побутових приладів і відстань до нього має бути не менше 1,5 метра, а для телевізорів 29 дюймів і більше – відстань слід збільшити до 2 і більше метрів;
- Кондиціонер – як і телевізор, є одним з самих „випромінюючих” приладів, тому безпечно знаходитися не ближче 1,5 метра;
- Комп'ютер – незважаючи на введення дуже жорстких заходів зі зниження електромагнітного випромінювання, цей прилад залишається досить небезпечним (бажано знаходитися не ближче 80 см від екрану);
- Радіотелефон – напевно, найшкідливіший за електромагнітною дією на людину пристрій через дуже близьку відстань до людського мозку при використанні.

Щодо мобільних телефонів, зараз ще немає однозначного й достовірного наукового підтвердження їхнього негативного впливу на людину, проте випромінювання від них не може не робити негативного впливу на організм. При роботі мобільного телефону електромагнітне випромінювання сприймається не тільки приймачем базової станції, але й тілом користувача, і в першу чергу його головою. Що при цьому відбувається в організмі людини і наскільки цей вплив небезпечний для здоров'я – однозначної відповіді на це питання дотепер не існує [21].

Для попередження професійних захворювань, які виникають в результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону здійснюється згідно із ГОСТ 12.1.006-84 "Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні на робочих місцях і вимоги до впровадження контролю", ДСН 239-96 "Державні санітарні норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань" і ДСанПіН 3.3.6.096-2002 "Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів".

Згідно з цими документами нормування електромагнітних випромінювань здійснюється в діапазоні частот 50кГц – 300 ГГц. Причому у діапазоні 50 Гц – 300 МГц нормованими параметрами є напруженість електричної E , В/м, та магнітної H , А/м, складових поля, а у діапазоні 300 МГц – 300 ГГц нормативним параметром є густина потоку енергії ГПЕ, Вт/м². Нормативною величиною є також гранично допустиме енергетичне навантаження ЕНЕ, $(В/м)^2 \times год$ та ЕНН, $(А/м)^2 \times год$.

Згідно із ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. "Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля" нормативними параметрами в діапазоні частот 60кГц...300 МГц є напруженості електричного і магнітного полів, в діапазоні частот 300 МГц...300 ГГц – поверхнева густина потоку енергії (табл. 5.2 та 5.3).

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі напруженості електричного і магнітного полів

Частота	Допустимі напруженості	
	електричного поля, В/м	магнітного поля, А/м
60 кГц...3 МГц	50	5
3...30 МГц	20	–
30...50 МГц	10	0,3
50...300 МГц	5	–

Таблиця 5.3 – Норми опромінення УВЧ і НВЧ

Густина потоку енергії, Вт/м ²	Допустимий час перебування в зоні впливу ЕМП	Примітка
До 0,1 0,1...1	Робочий день Не більше 2 год	– В решті робочого часу не більше 0,1 Вт/м ²
1...10	Не більше 10хв	За умови користування захисними окулярами. В решті робочого часу не більше 0,1 Вт/м ²

За напруженості 5 кВ/м час перебування в зоні опромінення не обмежується. Контроль електромагнітного випромінювання на робочих місцях проводиться згідно з ГОСТ 12.1.006 – 84 не рідше 1 разу на рік, а також при введенні в дію нових чи реконструйованих установок і при зміні умов праці.

Вимірювання проводять при максимальній потужності в зоні знаходження людей по висоті від рівня підлоги до 2 м через 0,5 м. З метою визначення характеру розповсюдження ЕМП в кабіні або в цеху проводять заміри в точках пересічення координатної сітки з стороною 1м.

Для вимірювань використовують такі прилади: ИЭП-04, ИЭП-05 (для вимірювання E за частоти 50Гц); П 3-15, П 3-16, П 3-17 (для вимірювання E і H за частоти 10 кГц...300 МГц); – П 3-41 (для вимірювання густини потоку енергії за частоти 300 МГц...37,5 ГГц).

ИЭП-04 – вимірювач напруженості електричної складової змінного електричного поля, входить в комплект вимірювачів електричних і магнітних полів "Циклон-04" призначений для сертифікаційних випробувань комп'ютерної і офісної техніки. Вимірювач оснащений дисковою антеною для контролю випромінювань комп'ютерної техніки, а також дипольною антеною

для контролю електричних випромінювань від будь-яких інших технічних засобів і в навколишньому середовищі.

Вимірювач ПЗ-41 призначений для виявлення і контролю біологічно небезпечних рівнів електромагнітних випромінювань, напруженості, ГПЕ.

ВЕ-МЕТР-АТ-003 – вимірювач параметрів електричного і магнітного полів трикомпонентний призначений для проведення вимірювань під час атестації робочих місць операторів ЕОМ

Для вимірювань електричних і магнітних полів на комп'ютерних робочих місцях використовуються прилади ИСП-01, ИЭП-05, ИМП-05/2, ИМП-05/1. Дані прилади восени 2005 року включені у Реєстр засобів вимірів України і призначені для виміру саме тих полів, що можуть реально існувати на робочих місцях з ПЕОМ не залежно від типів і характеристик установлених на них моніторів з тими рівнями полів, що реально існують на таких робочих місцях.

Основними методами захисту від ЕМП є наступні: захист часом; захист відстанню; екранування джерел випромінювання; екранування робочих місць; зменшення випромінювання в самому джерелі випромінювання; засоби індивідуального захисту; організаційні методи захисту.

Захист часом застосовується тоді, коли немає можливості знизити інтенсивність випромінювання іншими методами.

Захист відстанню застосовується в тих випадках, коли неможливо послабити ЕМП іншими заходами, в тому числі захистом часом. Відстань, яка відповідає гранично допустимому рівню інтенсивності випромінювання визначається розрахунком і перевіряється інструментально.

Екранування джерел випромінювання. Екрани виготовляються із металевих листів або сіток у вигляді камер, шаф, кожухів. ЕМП послаблюється екраном за рахунок утворення в його товщі поля протилежного напрямку. Екрани бувають сітчасті та суцільні. Звичайно для забезпечення міцності екрани виготовляють товщиною більше 0,5 мм із листового матеріалу з високою електропровідністю (алюміній, мідь, латунь, сталь, пермалой).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Екранування робочих місць виконується в тому разі, коли неможливо здійснити екранування апаратури. Воно досягається улаштуванням кабін, або ширм з покриттям із поглинаючих матеріалів (каучук, пінополістирол, поліуретан, спеціальна гума). В якості екрануючого матеріалу для оглядових вікон використовують скло, яке покрите плівкою з діоксид олова (SnO₂), яке відбиває ЕМП приблизно на 30 дБ.

Зменшення випромінювання в самому джерелі випромінювання досягається застосуванням спеціального радіотехнічного обладнання: поглиначів потужності, еквівалентів антен, подільників або послаблювачів напруги тощо.

Засобами індивідуального захисту слід користуватися в тих випадках, коли застосування інших методів неможливо. Це:

- індивідуальні екрани, виготовлені із металізованих матеріалів;
- радіозахисні окуляри ОРЗ – 5 із скла, покритого плівкою з двоокису олова;
- капюшони, халати або комбінезони з металізованої бавовняно-паперової тканини, що діють за принципом сітчастого екрану.

Усі елементи екрануючого одягу повинні мати між собою надійний електричний зв'язок і повинні бути заземлені.

Організаційні методи захисту [22]:

- раціональне розміщення обладнання (в приміщеннях з капітальними стінами і перекриттями);
- не допускати до роботи підлітків до 18 років, осіб хворих на хвороби серця, крові, нервової системи, очей;
- проводити щорічний медогляд, надавати додаткову відпустку та скорочений робочий день;
- встановлення оптимальних режимів роботи обслуговуючого персоналу.

Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

12. 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.

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

14. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

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

16. Дорощук М.М. Удосконалення конструкції теплообмінника пластинчастого : магістерська робота : 8.133 / М.М. Дорощук. – Київ, 2008. – 133 с.

17. Руководство по монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию теплообменников TS-M производства компании «Alfa Laval». – Ш. : «Alfa Laval Group», 2015. – 72 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. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.

20. Електромагнітні поля та випромінювання оптичного діапазону [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ztec.com.ua/ztec/e-lib/Охорона%20праці/Тема%2012%20ЕМП,%20випромінювання%20оптич%20діапазону.pdf>.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

21. Вплив електромагнітних полів на людину [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakinppo.org.ua/bezpeka-zhitt-dijalnosti/3694-vpliv-elektromagnitnih-poliv-na-ljudinu>.

22. Нормування та захист від електромагнітних випромінювань [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://spo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/910.html>.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53