

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: Ректифікаційна установка у виробництві бензолу. Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу

Виконав:
студент групи ХМдн – 54п
Пасевін Владислав Сергійович

_____ підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:
канд. техн. наук, асистент

Литвиненко А.В.

_____ 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 – 54п

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Пасєвін Владислав Сергійович

1 Тема проекту: Ректифікаційна установка у виробництві бензолу. Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу у кількості 2500 кг/год. під тиском 0,125 МПа. Гарячий теплоносій у трубах – водяна пара під тиском 0,15 МПа.

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

1. Технологічна схема установки – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик апарату – 1,0 арк.
3. Складальні кресленики вузлів – 1,5 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.

5 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

асист. Литвиненко А.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 с., 8 рис., 1 додаток, 22 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленник апарата, складальний кресленник трубного пучка, складальний кресленник кришки – усього 4 аркуші графічної частини (3,0×А1).

Тема кваліфікаційної роботи: «Ректифікаційна установка у виробництві бензолу. Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу теплообміну, виконано технологічні розрахунки апарата, визначені його габаритні розміри, гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проектного апарату. Розраховано і вибрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність доведена надійність роботи запроєктованого випарника. У розділі «Охорона праці» розглянуті явища, що виникають при стіканні електричного струму в землю, а також напруга кроку та дотику.

Ключові слова: РЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ВИПАРНИК, БЕНЗОЛ, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.

Зміст

	С.
<i>Вступ</i>	5
<i>1 Технологічна частина</i>	7
<i>1.1 Опис технологічної схеми установки</i>	7
<i>1.2 Теоретичні основи процесу</i>	8
<i>1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів</i>	13
<i>2 Технологічні розрахунки процесу і апарата</i>	16
<i>2.1 Технологічні розрахунки</i>	16
<i>2.2 Конструктивні розрахунки</i>	19
<i>2.3 Гідравлічний опір апарата</i>	21
<i>2.4 Вибір допоміжного обладнання</i>	23
<i>3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність</i>	28
<i>3.1 Визначення товщини стінки циліндричної обичайки</i>	28
<i>3.2 Визначення товщини стінки днища (кришки)</i>	31
<i>3.3 Розрахунок опори апарата</i>	32
<i>4 Монтаж та ремонт апарата</i>	35
<i>4.1 Монтаж апарата</i>	35
<i>4.2 Ремонт апарата</i>	36
<i>5 Охорона праці</i>	40
<i>Список літератури</i>	46
<i>Додаток – Специфікації</i>	

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Пасевін			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Литвиненко			4	4	47
Реценз.					СумДУ, ХМдн-54п		
Н. Контр.							
Затверд.		Склабінський					
Випарник бензолу Пояснювальна записка							

Вступ

Теплообмінні апарати – це пристрої, у яких здійснюється теплообмін між двома або декількома твердими, рідкими, газоподібними середовищами у різних комбінаціях. Застосовують теплообмінні апарати у побуті, промисловості, сільському господарстві. У якості теплоносіїв може виступати газ, пара, рідина або тверде тіло [1].

Бензол – перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів, молекулярна формула C_6H_6 . Безбарвна летка рідина з характерним запахом. Густина бензолу $0,88 \text{ г/см}^3$. За температури $80,1^\circ\text{C}$ кипить, а при $5,5^\circ\text{C}$ замерзає в білу кристалічну масу. Завдяки своїй симетричності є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш (91,17 %) з температурою кипіння $69,25^\circ\text{C}$. Із більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин [2].

Промислово бензол добували із фракцій кам'яновугільної смоли. У наш час практично весь промисловий об'єм бензолу виробляється дегідрогенізацією нафтової сировини. Бензол має цінні властивості як розчинник, але через його високу токсичність і канцерогенність таке використання наразі дуже обмежено [2].

У даному кваліфікаційному проекті бензол отримують ректифікацією двокомпонентної суміші. Цільовий процес, безпосередньо, відбувається на ректифікаційній установці, де бензол є кубовим продуктом колони.

Кожухотрубні теплообмінники-випарники з паровим простором у ректифікаційних та десорбційних установках у якості парогенеруючого обладнання для обігрівання нижньої (кубової) частини колони потоками пари киплячого компонента [3].

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

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

холодильних установках загальнопромислового призначення застосовують кожухотрубні горизонтальні випарники типу ВТ-11. У них об'єм парового простору значно зменшений, але передбачений сухопарник, який відокремлює краплі рідини та виключає попадання їх в усмоктувальну лінію компресора. Такі випарники виготовляють із діаметром корпусу 400–2000 мм при довжині труб 3000–6000 мм, числі ходів у трубному просторі 2–8 [3].

У даній кваліфікаційній роботі проектуємо випарник із плаваючою голівкою (типу ВП) для випаровування частини кубового залишку (бензолу) ректифікаційної колони.

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [4]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувалася відповідно вимогам.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема безперервно діючої ректифікаційної установки розділення бінарної суміші на окремі компоненти приведена на рис. 1.1.

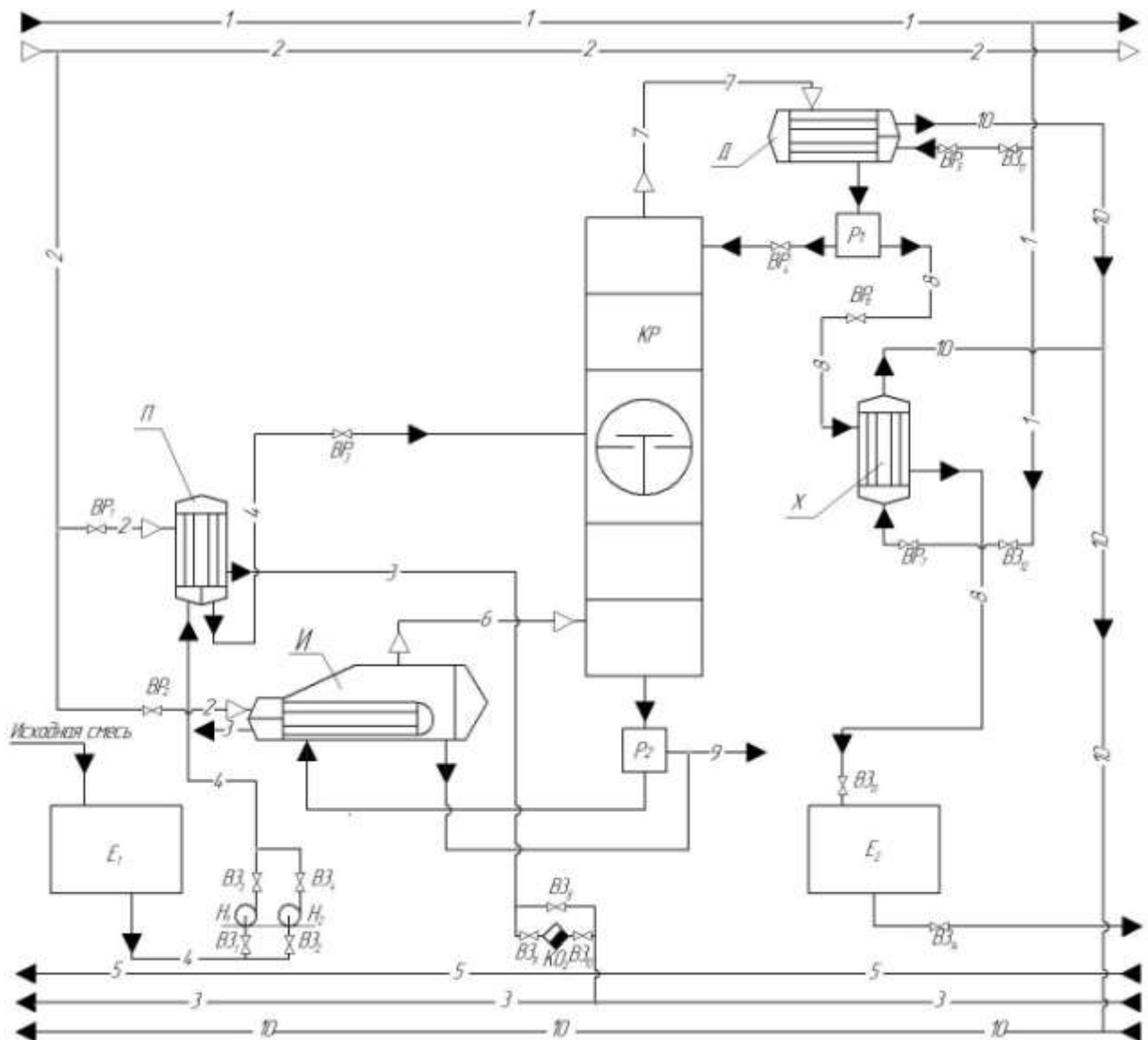


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки:

E_1, E_2 – збірники-сховища; H_1, H_2 – відцентрові насоси; Π – підігрівач бінарної суміші; $КР$ – ректифікаційна колона з клапанними тарілками; $Х$ – холодильник; $И$ – випарник; $Д$ – дефлегматор; P_1, P_2 – розподільники

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідний розчин зі збірника-сховища E_1 відцентровими насосами H_1 і H_2 подається в теплообмінник-

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

підігрівач П, де підігрівається до температури кипіння зустрічним потоком гріючої пари, яка конденсується у міжтрубному просторі підігрівача. Нагрітий розчин надходить на тарілку живлення ректифікаційної колони КР, яка складається із верхньої (зміцнюючої) і нижньої (вичерпної) частин. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної суміші. У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться кубовий залишок (бензол). Частина кубового залишку відбирається на розподільнику P_2 і спрямовується у випарник II, у якому за рахунок тепла насиченої водяної пари, що подається в трубний простір апарата, відбувається генерація парів бензолу для колони КР. Таким чином, у нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес відгону (вичерпання) високо киплячого компонента зі стікаючого вниз рідкого розчину.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення (зміцнення) пари низько киплячим компонентом за рахунок багатоступеневого контактування на клапанних тарілках зі стікаючою зверху вниз флегмою. Пара, яка відводиться з верхньої частини колони, надходить у дефлегматор Д, де конденсуються в міжтрубному просторі теплообмінника за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається на розподільнику P_1 і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення її верхньої частини. Інша частина (дистилят) додатково охолоджується в холодильнику Х і спрямовується у збірник E_2 у якості готового продукту.

1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичний огляд теплообмінних процесів, який представлено у даному підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [5–9].

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

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

віддає тепло та конденсується, холодний теплоносій, по іншу сторону поверхні, нагрівається та випаровується.

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.

Окремі види теплообмінників мають додаткові класифікаційні ознаки.

										Лист
										9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ					

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

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

де Q – тепловий потік в апараті, Вт;

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

$\Delta t_{\text{СЕР}}$ – середня різниця температур між теплоносіями, °С.

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

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

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

$\delta_{\text{СТ}}$ – товщина стінки теплопередаючої поверхні, м;

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

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює:

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

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 середньо-арифметичну температуру $t_{\text{СР}} = (t_1 + t_2) / 2$.

									Лист
									10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Основні критерії подібності, які застосовуються у розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [9].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}. \quad (1.4)$$

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}. \quad (1.5)$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}. \quad (1.6)$$

Критерій Грасгофа характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}. \quad (1.7)$$

У рівняннях (1.4) – (1.7) такі 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.

										Лист
										11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

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

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

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах рекомендуються [9] наступні критеріальні рівняння:

- для ламінарного режиму

$$Nu_2 = 0,74 \cdot (Re_2 \cdot Pr_2)^{0,2} \cdot (Gr_2 \cdot Pr_2)^{0,1}; \quad (1.8)$$

- для перехідного режиму

$$Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,9} \cdot Pr_2^{0,43}; \quad (1.9)$$

- для турбулентного режиму

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4}. \quad (1.10)$$

У рівняннях (1.8) – (1.10) визначальним лінійним розміром є внутрішній діаметр труб $d_{вн}$, а визначальною температурою є середня температура гарячого теплоносія t_2 .

Рівняння тепловіддачі при кипінні рідин істотно розрізняються в залежності від виду термомеханічного режиму цього енергоємного гетерогенного процесу, що супроводжується фазовим перетворенням. У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі α можна виразити без прямого звернення до методів статистики через узагальнений критерій Нусельта Nu^* і за допомогою модифікованого критерію Рейнольдса Re^* і критерію Прандтля Pr [9]:

$$Nu^* = C \cdot Re^{*n_1} \cdot Pr^{n_2}, \quad (1.11)$$

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

де C, n_1, n_2 – постійні.

Також в умовах як вільного, так і вимушеного руху теплоносія можна використовувати перетворене рівняння (1.11), якому надають спрощений вигляд – більш зручний для визначення усередненого значення коефіцієнта тепловіддачі α через рушійну силу процесу $\Delta T_{\text{кин}}$ [7]:

$$\alpha = b^3 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (\Delta T_{\text{кин}})^2}{\nu \cdot \sigma \cdot |T_{\text{кин}}|} \quad (1.12)$$

Чисельне значення безрозмірною функції b , визначаємо з рівняння [9]:

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{р}} - \rho_{\text{п}}} \right)^{2/3}, \quad (1.13)$$

де $\rho_{\text{р}}, \rho_{\text{п}}$ – відповідно густини рідини і пари, кг/м^3 .

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Загальний вигляд проектованого апарату представлений на рис. 1.2.

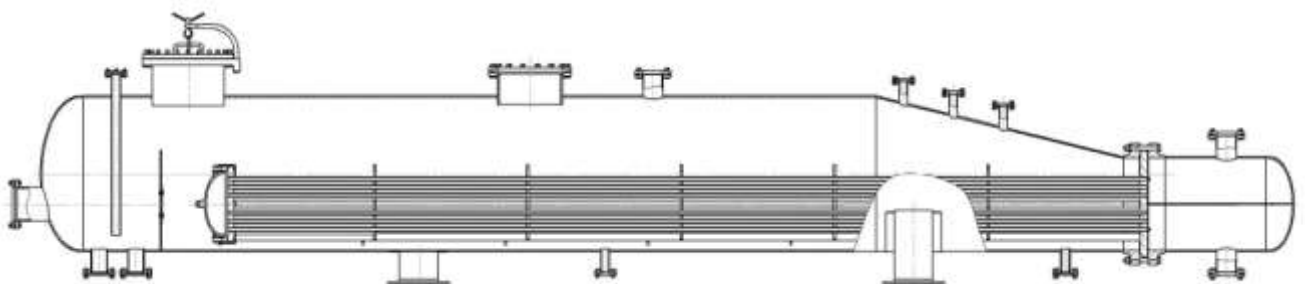


Рисунок 1.2 – Схема випарника з паровим простором типу ТП

Принцип роботи випарника полягає в наступному. При температурі кипіння під абсолютним тиском 0,125 МПа у міжтрубний простір випарника подається холодний теплоносій – бензол. При цьому, у розподільну камеру під абсо-

										Лист
										13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ					

лютним тиском 0,15 МПа надходить насичена водяна пара. За допомогою теплопередачі через стінку сталевих труб відбувається активне випаровування бензолу. Відпрацьована водяна пара (конденсат) виводиться за межі апарату.

Утворені пари бензолу залишають апарат за допомогою спеціального патрубку. Рівень рідини у випарнику підтримується за допомогою переливної планки. Рідина, яка перевищила встановлений планкою рівень, виводиться за межі апарату. Також для монтажних і ремонтних робіт в апараті передбачені люк і технологічний патрубок.

Вибір конструктивних матеріалів для виготовлення апарату проводився на підставі [10–12]. Вибір матеріалу диктується в основному його корозійною стійкістю і теплопровідністю, причому конструкція теплообмінного апарату істотно залежить від властивостей вибраного матеріалу.

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

Також слід враховувати:

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

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

Таким чином, на підставі вищезазначеного, для виготовлення корпусу, фланців, розподільних камер, а також деталей, які працюють під тиском раціонально використовувати сталь 09Г2С.

Для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, крипінних деталей (болти, гайки, шпильки), панелей, кронштейнів, ребер жорсткості і т. ін. використовуємо сталь 20.

									Лист
									14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

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

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Вихідні дані до технологічного розрахунку апарата зазначені у завданні до кваліфікаційної роботи. У відповідності до них, бензол надходить у випарник уже при температурі кипіння, яка при тиску 0,125 МПа становить 89°C.

Теплове навантаження випарника:

$$Q = Q_{исп} = G_x \cdot r_x, \quad (2.1)$$

де r_x – питома теплота пароутворення бензолу; $r_x = 385 \cdot 10^3$ Дж/кг [13].

$$Q = Q_{исп} = \frac{2500}{3600} \cdot 385 = 267 \text{ кВт.}$$

Витрата гарячого теплоносія (водяної пари):

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

де c_2 – теплоємність водяної пари; $c_2 = 2,17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) [13];

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

Для наближених (навчальних) розрахунків орієнтовно приймають, що температура кипіння робочого тіла повинна бути на 5–6°C нижче середньої температури охолоджуваного теплоносія [15].

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

Отже, за рекомендацією [15] приймаємо $t_{к2} = 95^\circ\text{C}$.

$$G_2 = \frac{267}{2,17 \cdot (109 - 95)} = 8,8 \text{ кг/с.}$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

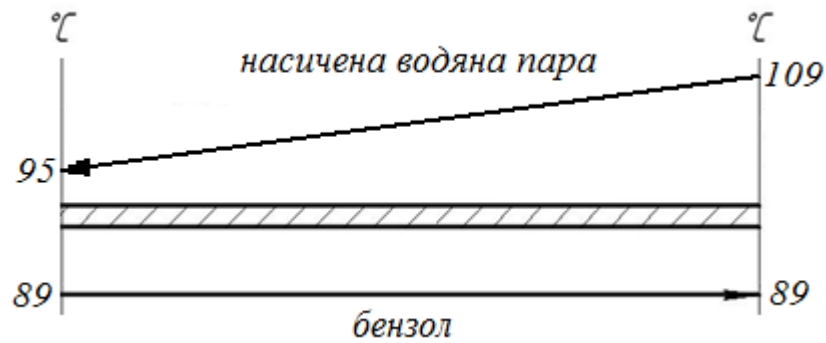


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу випаровування бензолу

Середню різницю температур визначаємо за формулою (1.3):

$$\Delta t_{\text{сеп}} = \frac{20 - 6}{\ln\left(\frac{20}{6}\right)} = 11,6 \text{ } ^\circ\text{C},$$

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

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

Попередньо, за формулою (1.1), розраховуємо поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{267 \cdot 10^3}{400 \cdot 11,6} = 57,5 \text{ м}^2.$$

Вибираємо стандартизований теплообмінник з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 62 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 1000 \text{ мм}$; довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$; сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$; кількість трубних пучків 1 ; кількість труб у трубному пучку 132 ; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{\text{тр}} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Фактична швидкість руху водяної пари у трубах:

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot s_{\text{тр}} \cdot n}, \quad (2.3)$$

де $\rho_2 = 0,82 \text{ кг/м}^3$ – густина водяної пари при усередненій температурі;

									Лист
									17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				

$n = 2$ – число ходів по трубах.

$$w_2 = \frac{8,8}{0,82 \cdot 23 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 23,3 \text{ м/с.}$$

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

– за рівнянням (1.5) – критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{23,3 \cdot 0,021 \cdot 0,82}{12,4 \cdot 10^{-6}} = 32400.$$

– за рівнянням (1.6) – критерій Прандтля:

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

За чисельним значенням критерію Рейнольдса можемо встановити, що режим руху водяної пари в трубах турбулентний. Отже, для визначення критерію Нусельта використовуємо формулу (1.10):

$$\text{Nu}_2 = 0,023 \cdot 32400^{0,8} \cdot 1,1^{0,4} = 97.$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 визначаємо за формулою (1.4):

$$\alpha_2 = \frac{97 \cdot 0,248}{0,021} = 1146 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони бензолу α_x визначаємо з рівняння (1.12), попередньо розрахувавши за рівнянням (1.13) значення безрозмірної функції:

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{7}{800 - 7} \right)^{2/3} = 1,07.$$

Для бензолу: $\nu_x = 0,138 \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_x = 0,121 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\sigma_x = 0,019 \text{ Н}/\text{м}$.

$$\alpha = 1,07 \cdot \frac{0,121^2 \cdot 100^2}{0,138 \cdot 0,019 \cdot 89} = 672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі, за рівнянням (1.2), визначаємо реальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1146} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{672}} = 404 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{267 \cdot 10^3}{404 \cdot 11,6} = 57 \text{ м}^2.$$

Запас поверхні:

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

$$\Delta = \frac{62 - 57}{62} \cdot 100\% = 8,1\%.$$

Як бачимо, запас поверхні забезпечується.

Остаточно вибираємо випарник типу ТП з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 62 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 1000 \text{ мм}$; довжи-

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

на труб $L = 6000$ мм; сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2$ мм; кількість трубних пучків 1; кількість труб у трубному пучку 132; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{\text{тр}} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв визначаємо за формулою [14]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}, \quad (2.5)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини/пари відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;
 ρ – густина потоку середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 w – швидкість витікання середовища, $\text{м}/\text{с}$.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [14]: для рідини 0,1–0,5 м/с при самопливі і 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах; для пари або газу 5–25 м/с.

Діаметр патрубка для введення рідкого бензолу:

$$d_{\text{х.вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2500 / 3600}{3,14 \cdot 800 \cdot 1,2}} = 0,030 \text{ м.}$$

Діаметр патрубка для виведення парів бензолу:

$$d_{\text{х.вих}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2500 / 3600}{3,14 \cdot 7 \cdot 15}} = 0,092 \text{ м.}$$

Діаметр патрубка для введення водяної пари:

$$d_{\text{з.вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,8}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 15}} = 0,097 \text{ м.}$$

Діаметр патрубка для виведення водяної пари:

									Лист
									20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				

$$d_{z.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,8}{3,14 \cdot 0,85 \cdot 15}} = 0,094 \text{ м.}$$

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

2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики, що викладена у [16]. Гідравлічний опір міжтрубного простору не визначаємо, оскільки, враховуючи невеликі швидкості теплоносія, його значення дуже малі [16].

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

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

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

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

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

$\Sigma \Delta P_G$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

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

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.7)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

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

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

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труб, мм.

Для сталевих нових труб $\Delta = 0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією $\Delta = 0,1-0,2$ мм [16].

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{32400} \right)^{0,25} = 0,1625;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,1625 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{23,3^2 \cdot 0,82}{2} = 10334 \text{ Па.}$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

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

де ξ – коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$ (вхідна і вихідна камери $\xi_1 = 1,5$, вхід у труби $\xi_2 = 0,5$ і вихід із них $\xi_3 = 1$, поворот на 180° між ходами $\xi_4 = 1,4$ [16]).

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

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{23,3^2 \cdot 0,82}{2} = 1313 \text{ Па.}$$

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

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

Повний напір, необхідний для руху середовищ через апарат складе:

$$\Delta P = 10334 + 1313 = 11647 \text{ Па.}$$

						Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір збірника для бінарної суміші [9]. Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.1), бінарна суміш, яка надходить на установку для подальшого розділення, потрапляє у збірник-сховище E_1 .

За вихідними даними, витрата бензолу, що надходить в проєктований випарник, становить 2500 кг/год. Отже, приймаємо таке припущення, що продуктивність ректифікаційної установки в цілому за бінарною сумішшю становить 10000 кг/год. Ємність для зберігання суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 - 0,85$.

Розрахунковий об'єм ємності:

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

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

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

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

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

Для такого об'єму суміші приймаємо дві циліндричні ємності. Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 3,2$ м, тоді її висота складе:

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

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

										Лист
										23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Розрахунок і вибір насоса для подачі бінарної суміші в ректифікаційну колону [14]. Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів прийmemo однако-ву швидкість плинy рідини, що дорівнює $w = 2 \text{ м/с}$.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.12)$$

де V – об'ємна витрата вихідної суміші, $\text{м}^3/\text{с}$.

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

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

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

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

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу прийmemo

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

Тоді:

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

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = 250; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 140000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 2500; \quad \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

									Лист
									24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				

Для зони, що є автотомельною по відношенню до Re:

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

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

Далі визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими кроями) $\xi_1 = 0,5$;

2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

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

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

Для нагнітальної лінії:

1) вентиля проточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

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

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

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.15)$$

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

						Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	

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

Втрачений напір в нагнітальній лінії також знаходимо за формулою (2.15):

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

Загальні втрати напору:

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

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

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \quad (2.17)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;

$H_{Г}$ – геометрична висота підйому рідини.

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

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

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

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

H – напір насоса.

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

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

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

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad (2.19)$$

де $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса.

Приймаючи $\eta_{\text{н}} = 0,6$ і $\eta_{\text{пер}} = 1$, отримуємо:

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

Вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 13-18 з наступними характеристиками: об'ємна подача насоса 13 м³/год.; напір насоса 18 м; потужність, споживана насосом 2,5 кВт; частота обертання 2200 об/хв.

					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 циліндричної обичайки

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у [17]. Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,125 МПа.

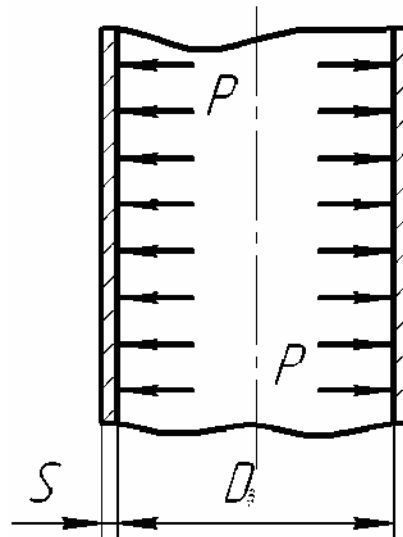


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 09Г2С при розрахунковій температурі 89°C: $\sigma^* = 202$ МПа.

Допустиме напруження:

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

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

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

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

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

									Лист
									28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				

де $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – межа плинності сталі 09Г2С при температурі 20 °С.

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

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

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

де P_T – гідростатичний тиск середовища:

$$P_T = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (3.3)$$

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

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

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

$$P_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ 0,2 \end{array} \right\}, \quad (3.4)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі 09Г2С при температурі 20 °С.

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

									Лист
									29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_p^u = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - P_{II}} \end{array} \right\}, \quad (3.5)$$

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

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

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_{II} \geq S_p^u + c, \quad (3.6)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.7)$$

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:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.8)$$

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

						Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$\tau = 15$ років – термін роботи апарата.

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

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

Приймаємо $S_{II} = 4 \text{ мм}$.

3.2 Визначення товщини стінки днища (кришки)

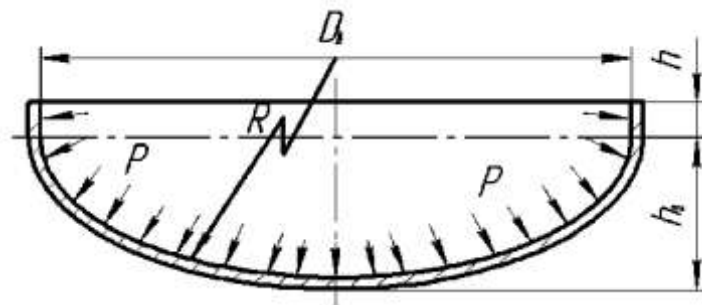


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища (кришки)

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_p^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \end{array} \right\}; \quad (3.9)$$

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

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_p^E + c, \quad (3.10)$$

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

$$S_E = 0,4 + 1,8 = 2,2 \text{ мм.}$$

Так само, приймаємо $S_E = 4 \text{ мм.}$

3.3 Розрахунок опори апарата

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{ц})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.11)$$

де ρ – щільність сталі; $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$.

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (1 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7800 = 590 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно (згідно [17]):

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (3.12)$$

$$m_{Eдн} = 1,24 \cdot 1^2 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 38,7 \text{ кг};$$

$$m_{Eкр} = 1,24 \cdot 0,6^2 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 23,2 \text{ кг.}$$

Маса труб:

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (3.13)$$

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 132 \cdot 7800 = 892,3 \text{ кг.}$$

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

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.14)$$

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця, м;

h_{ϕ} – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,61^2}{4} \cdot 0,06 \cdot 7800 = 136,7 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{\text{мтр}} = f_{\text{мтр}} \cdot H; \quad (3.15)$$

$$V_{\text{мтр}} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,6$ маса рідини (бензолу) в апараті складе:

$$m_x = V_{\text{мтр}} \cdot \rho_x \cdot \varphi; \quad (3.16)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 800 \cdot 0,6 = 576 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{эдн}} + m_{\text{экр}} + m_{\text{тр}} + m_{\phi} + m_x); \quad (3.17)$$

$$G = 9,81 \cdot (590 + 38,7 + 23,2 + 892,3 + 136,7 + 576) = 22140 \text{ Н.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (3.18)$$

$$Q = \frac{22140}{2} = 11070 \text{ Н.}$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 400-514-2-II, конструктивні розміри якої (умовні позначення див. рис. 3.3): $D = 1000 \text{ мм}$; $R = 514 \text{ мм}$; $S_1 = 8 \text{ мм}$; $S_2 = 14 \text{ мм}$; $L = 1000$; $A = 650 \text{ мм}$; $A_1 = 550 \text{ мм}$; $A_2 = 400 \text{ мм}$; $l = 980 \text{ мм}$; $B = 250 \text{ мм}$; $L_1 = 1020 \text{ мм}$; втулка для опори M48; $S = 6 \text{ мм}$; $B_2 = 360 \text{ мм}$.

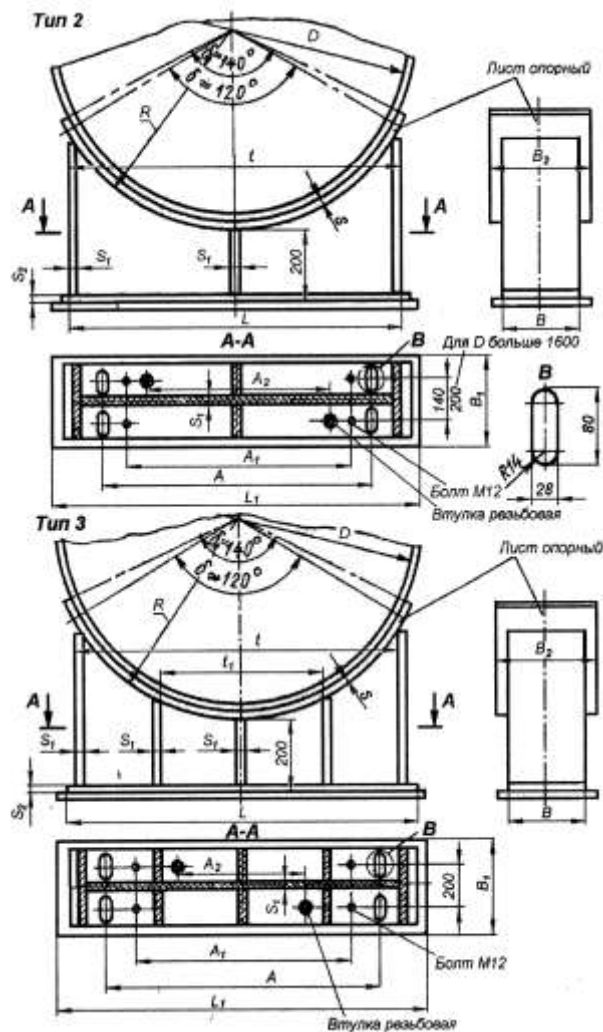


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема стандартизованих сідлових опор

										Лист
										34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ					

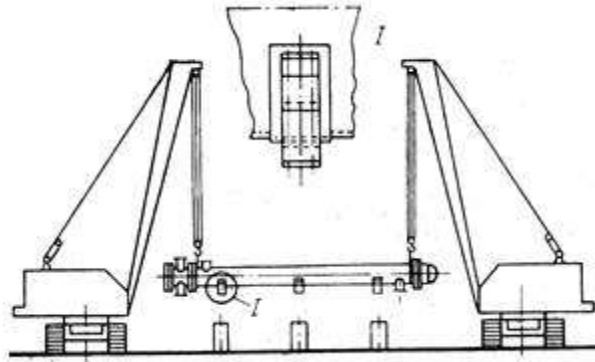


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника

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

4.2 Ремонт апарата [19]

Теплообмінники із трубою 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.

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є наступні:

1. Виривання трубок із трубних решіток. Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

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

										Лист
										36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

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

Явища, що виникають при стіканні електричного струму в землю. Напруга кроку та дотику.

Електричне замикання на землю – це електричне з'єднання струмопровідних частин з землею або з неструмопровідними конструкціями чи предметами, які проводять електричний струм і неізолювані від землі. Такий контакт може бути випадковим або навмисним.

В останньому випадку провідник або група з'єднаних між собою провідників, які знаходяться в контакті з землею, називається заземлювачем. Одиничний провідник, який знаходиться в контакті з землею називається одиничним заземлювачем, або електродом, а заземлювач з декількох паралельно з'єднаних електродів, називається груповим або складним заземлювачем.

Причинами протікання струму на землю є замикання струмопровідних частин на корпус електричного обладнання, який з'єднано через заземлювач з землею, падіння проводу на землю і т. п. В усіх цих випадках відбувається різке зниження потенціалу (тобто напруги відносно землі) струмопровідної частини, яка з'єднана з землею [20].

В усіх випадках спостерігається різке зниження потенціалу (напруги відносно землі) φ_3 , струмопровідної частини, що заземлилась, до величини, що дорівнює добутку струму, який стікає в землю I_3 , на опір, що цей струм зустрічає на своєму шляху, тобто опір заземлювача розтіканню струму:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3. \quad (5.1)$$

Це явище, як позитивне, знайшло широке використання як спосіб захисту від ураження струмом в разі випадкової появи напруги на металевих не струмопровідних частинах, котрі для цієї мети заземляються. Однак, поряд з позитивною стороною (як зниження потенціалу) при стіканні струму в землю виникають і негативні явища, а саме – виникнення потенціалів на заземлювачі і металевих частинах, що з ним контактують, а також на поверхні ґрунту навколо місця стікання струму в землю. Різниці потенціалів, що виникають при цьому в окре-

										Лист
										40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

мих точках кола струму, в тім числі і точок на поверхні землі, можуть досягати значних величин, небезпечних для людини. Величини цих потенціалів, їх різниця та характер їх змін і, як наслідок, зумовлена ними небезпека ураження людини струмом, залежать від наступних чинників:

- величини струму, що стікає в землю;
- конфігурації, розмірів, числа та взаємного розміщення електродів групового заземлювача;
- питомого опору ґрунту.

Впливаючи на той чи інший чинник, можливо знизити різниці потенціалів, що діють на людину до безпечних величин. Рівняння потенціальної кривої для заземлювачів будь-якої форми має вид:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot \rho / 2\pi \cdot x, \quad (5.2)$$

де I_3 – струм, що стікає в землю через заземлювач, А;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

x – відстань від заземлювача, м.

Графік функції розподілення потенціалів на поверхні землі (потенціальна крива) наведено на рис. 5.1.

Потенціал на поверхні землі навколо заземлювача змінюється за законом гіперболи, зменшуючись від свого максимального значення φ_3 до нуля в міру віддалення від заземлювача.

Максимальний потенціал (φ_3) буде за найменшого значення відстані x , рівній радіусу заземлювача, тобто безпосередньо на заземлювачі.

Мінімальний потенціал ($\varphi=0$) будуть мати точки на поверхні землі, які віддалені від заземлювача на відстань $x = \infty$. Практично, з точністю, необхідною для розрахунків та вимірювань, зона нульового потенціалу починається на відстані 20м від заземлювача. Поле розтікання струму можна вважати об'єм ґрунту в радіусі 20м на довжині електрода. Якщо ґрунт однорідний і має питомий опір однаковий в усіх напрямках від електрода то еквіпотенціальні лінії (лінії однакових потенціалів) на поверхні землі являють собою концентричні кола, центром яких є центр електрода [21].

										Лист
										41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

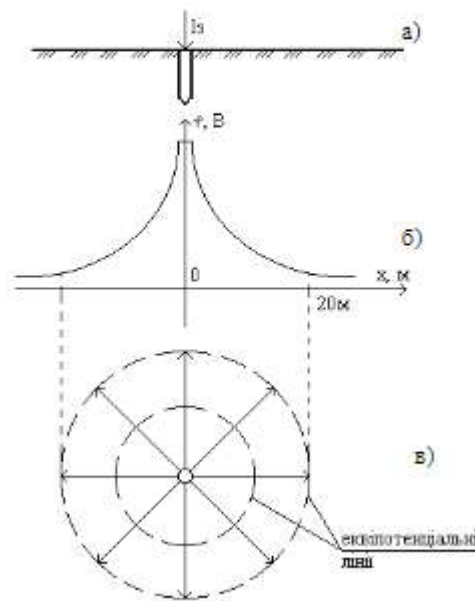


Рисунок 5.1 – Розподілення потенціалів на поверхні землі:

- а) струм, що стікає в землю через одинокий заземлювач; б) потенціальна крива;
в) поле розтікання струму радіусом 20м

Згідно з даними статистики більше 50% нещасних випадків (серед електротравм) трапляються у результаті безпосереднього дотику людини до відкритих струмопровідних частин обладнання. Небезпека такого дотику визначається силою струму, який протікає через тіло людини.

Схема вмикання людини до електричної мережі є дуже важливим фактором, що визначає важкість наслідку ураження струмом. Людина включається в мережу, одночасно дотикаючись до двох фаз, до однієї фази і землі, до двох фаз і землі або нульового провідника, до двох точок землі, що мають різні потенціали.

Найхарактернішими є перші дві схеми. Першу схему називають двофазним, а другу – однофазним вмиканням до електричної мережі.

Двофазне вмикання є найнебезпечнішим, оскільки при ньому людина опиняється під повною лінійною напругою мережі. При цьому дія струму на людину не залежить від ізоляції її від підлоги.

Менш небезпечним, порівняно з двофазним, при нормальному режимі роботи електромережі буде однофазне вмикання, оскільки напруга, що діє на людину,

						Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

менша за лінійну в 1,73 рази. Відповідно меншою буде сила струму, що проходить через людину. На силу цього струму впливає також режим нейтралі електроустановки, опір підлоги, на якій стоїть людина, опір її взуття, ємності фаз відносно землі тощо.

Однофазне вмикання до мережі напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю при нормальному режимі роботи мережі і надійній ізоляції фаз може бути безпечним для людини.

При порушенні нормального режиму роботи мережі з ізолюваною нейтраллю, коли має місце замикання однієї з фаз на землю, небезпека ураження зростає, і якщо доторкнутись до однієї фази мережі з ізолюваною нейтраллю, яка перебуває в такому режимі, то дія струму буде майже рівнозначною як і двофазному увімкненні.

У мережах напругою вище 1000 В небезпека однофазного і двофазного вмикання практично однакова і не залежить від режиму нейтралі. Будь-яке з таких доторкань є дуже небезпечним, оскільки сила струму, що проходить через людину, завжди перевищує смертельно небезпечну.

Враховуючи те, що сила струму залежить від опору тіла, тривалості дії, інших факторів, при встановленні межі небезпечних умов орієнтуються не на силу струму, а на припустиму безпечну напругу дотику.

Напруга дотику (U_d) – це різниця потенціалів між двома точками ланцюга струму, до яких одночасно дотикається людина. Вище було показано, коли ця різниця може дорівнювати лінійній чи фазній напрузі. Коли ж трапляється порушення ізоляції в електричній установці, корпус якої ізолюваний від землі (не заземлений), то на цьому корпусі з'являється фазна напруга (U_ϕ), і дотик до такого корпусу за небезпекою буде рівнозначним дотику до фазного провідника.

Людина, що стоїть на землі, доторкнувшись до цього корпусу, опиниться під фазною напругою. $U_d = U_\phi$.

В тому ж разі, коли корпус заземлено, то потенціал на ньому (ϕ_k) буде дорівнювати добутку струму замикання на землю на величину опору заземлення і коливатиметься в межах від нуля до U_ϕ . Такий же самий потенціал буде створений і на поверхні землі біля центру заземлювача. З віддаленням від центру зазем-

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

лювача потенціал на поверхні ґрунту ($\varphi_{\text{г}}$) поступово знижуватиметься, створюючи зону розтікання струму радіусом до 20 м, за межами якої $\varphi_{\text{г}}$ дорівнює нулю. Напруга дотику людини, що стоїть на землі і торкається корпусу заземленої установки буде визначатися різницею потенціалів корпусу і поверхні ґрунту, на якій стоїть людина ($U_{\text{д}} = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{г}}$), і залежати від відстані між корпусом (а отже і людиною) та заземлювачем. Його величина буде тим більшою, чим більшою буде відстань між установкою і заземлювачем і дорівнювати нулю, якщо установка розташована безпосередньо над заземлювачем.

Граничнодопустимі значення напруги дотику та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху „рука – рука”, „рука – нога” регламентуються ГОСТ 12.1.038-82. при змінному струмі частотою 50 Гц вони становлять відповідно не більше 2 В і 0,3 мА.

Напруга кроку – різниця потенціалів двох точок на поверхні ґрунту, що знаходяться в зоні розтікання струму на відстані кроку одна від одної, на яких одночасно стоїть людина. Це може статися при обриві однієї з фаз повітряних ліній електропередач. При цьому навкруги точки дотику провідника із землею виникає зона, що перебуває під напругою. При віддалені від місця дотику провідника із землею щільність струму в землі зменшується, оскільки збільшується об'єм, через який проходить струм, і на певній відстані вона може практично дорівнювати нулю. Людина, що стоїть на точках з різними потенціалами, підпадає під дію різниці потенціалів цих двох точок, або під дію напруги кроку. При цьому струм проходить через тіло людини по шляху «нога – нога».

Напруга кроку залежить від відстані до місця замикання на землю, довжини кроку, характеру розповсюдження потенціалу в зоні розтікання струму та інших чинників.

Незважаючи на те, що при нарузі кроку струм проходить через тіло людини шляхом «нога - нога», який є менш небезпечним за інші, навіть невелика напруга у 60-70 В викликає мимовільні судомні скорочення м'язів ніг, що призводить до падіння людини, при цьому струм може проходити шляхом «рука – нога», через життєво важливі органи.

										Лист
										44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Важкі наслідки ураження напругою кроку пояснюються незнанням елементарних заходів безпеки і правил виходу із зони розтікання струму. При виявленні замикання на землю забороняється наближатися до місця стікання струму на відстань менше 4 м – у закритих приміщеннях і менше 8 м – на відкритій місцевості. Для надання допомоги постраждалому потрібно користуватись електрозахисними засобами (діелектричним взуттям, рукавичками). У загрозливій ситуації при виході з небезпечної зони слід віддалятися від місця замикання застосовуючи ходу «п'ятка – носок» [22].

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

Список літератури

1. Теплообмінний апарат [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Теплообмінний_апарат
2. Бензен [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Бензен>
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. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
6. Методичні вказівки та контрольні завдання для самостійної роботи з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв (частина 1)» / укладачі: Я.Е. Михайловський, М.П. Юхименко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 61 с.
7. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
9. 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.
10. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
11. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

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

12. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

13. 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.

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

15. Дячек П.И. Холодильные машины и установки: Учебное пособие / П.И. Дячек. – Ростов на Дону : Феникс, 2007. – 424 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. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.

19. 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.

20. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Лабораторний практикум. Частина I. Навчальний посібник / О. В. Кобилянський. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 106 с.

21. Кухровський П. П. Електробезпека на виробництві та в побуті / П. П. Кухровський. – Хмельницький : ХНДІ, 2005. – 206 с.

22. Електробезпека [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://vinodelie.at.ua/охорона/лекції/тема_3.2.pdf

											Лист
											47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ						