

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 етилового спирту. Розробити кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу

Виконав:
студент групи ХМдн – 64р
Кандюк Павло Геннадійович

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 2 Група ХМдн – 64р

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Кандюк Павло Геннадійович

1 Тема проекту: Ректифікаційна установка у виробництві етилового спирту. Розробити кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу

2 Вихідні дані: Розробити горизонтальний кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу у кількості 3000 кг/год. під абсолютним тиском 0,12 МПа. Початкова температура холодного теплоносія (води технічної) становить 20°C.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема ректифікаційної установки</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик конденсатора</u> | – 1,5 арк. |
| 3. <u>Складальний кресленик трубного пучка</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. 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.

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: 49 с., 16 рис., 1 додаток, 18 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленик конденсатора, складальний кресленик трубного пучка – усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи: «Ректифікаційна установка у виробництві етилового спирту. Розробити кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу».

Наведено теоретичні основи та особливості процесу теплообміну у виробництві етанолу, виконані технологічні розрахунки апарата, визначені його габаритні розміри, гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Проведеними перевірочними розрахунками на міцність та герметичність підтверджено механічну надійність проєктованого апарату. Окремим розділом представлено монтаж і ремонт кожухотрубного теплообмінника. У розділі «Охорона праці» розглянуто питання: «Надання першої допомоги людині при ураженні її електричним струмом».

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ЕТАНОЛ, КОНДЕНСАЦІЯ, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	12
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	19
2.3 Гідравлічний опір апарата	21
2.4 Вибір допоміжного обладнання	22
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	28
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	28
3.2 Розрахунок опори апарата	30
4 Монтаж та ремонт апарата	34
4.1 Монтаж розробленого апарата	34
4.2 Ремонт апарата	35
5 Охорона праці	39
Список літератури	48
Додаток – Специфікації	

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кандюк			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Литвиненко				4	49
Реценз.					СумДУ, ХМдн – 64р		
Н. Контр.							
Затверд.		Склабінський					
Кожухотрубний конденсатор							
Пояснювальна записка							

Вступ

Етиловий спирт, етанол чи виинний спирт – це органічна сполука, представник ряду одноатомних спиртів складу C_2H_5OH (скорочено EtOH). За нормальних умов є безбарвною, легкозаймистою рідиною. Згідно з Національним стандартом України ДСТУ 4221:2003 етанол – це токсична речовина з наркотичною дією, за ступенем впливу на організм людини належить до четвертого класу небезпечних речовин. Має канцерогенні властивості [1].

Етанол є активною складовою спиртних напоїв, які зазвичай виготовляються ферментацією вуглеводів. Для промислових потреб етиловий спирт часто синтезують з нафтової та газової сировини каталітичною гідратацією етилену. Окрім виготовлення харчових продуктів етанол застосовується у великій кількості як пальне, розчинник, антисептик та сировина для отримання інших промислово важливих речовин [2].

Кожухотрубні теплообмінники є найбільш поширеним видом серед усього теплообмінного обладнання [3]. Відповідно до свого призначення, кожухотрубні теплообмінні апарати можуть бути підігрівачами, холодильниками, випарниками, конденсаторами, дистиляторами, субліматорами і т. д.

Конденсація (від лат. *condensare* – згущувати) – процес переходу газу або насиченої пари в рідину чи тверде тіло внаслідок охолодження або стиснення їх. Швидкість процесу залежить від зовнішніх умов – тиску, температури, інколи – наявності інших речовин [4].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [5]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам.

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

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Технологічну схему ректифікаційної установки у виробництві етилового спирту представлено на рис. 1.1.

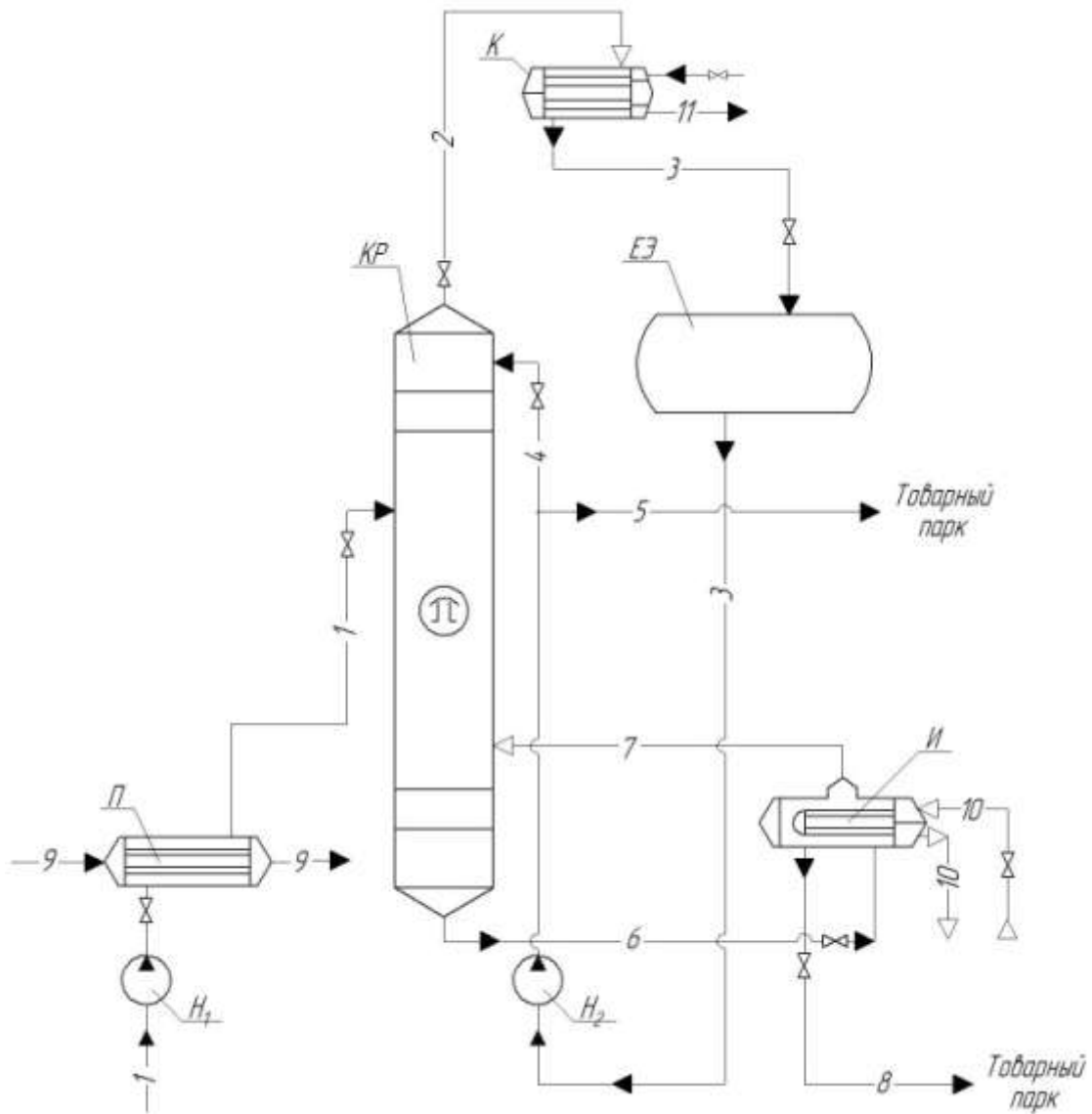


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві етилового спирту

Установка призначена для розділення двокомпонентної суміші шляхом ректифікації. Безпосередньо, сам процес розділення відбувається в ректифікаційній колоні КР.

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

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідна двокомпонентна суміш насосом H_1 подається в теплообмінник-підігрівач T , де рідка суміш нагрівається до температури кипіння. Далі рідина вводиться в колону ректифікації KP , де і відбувається її розділення на окремі компоненти. Пари етанолу (низькокиплячого компоненту) відводяться із верхньої частини колони і направляються у міжтрубний простір кожухотрубного теплообмінного апарата (конденсатора) K , де вони конденсуються. Утворений конденсат збирається у проміжній ємності $EЭ$, звідки одна його частина, за допомогою насоса H_1 , подається у якості флегми на верхню тарілку колони KP . Друга частина сконденсованого продукту спрямовується у товарний парк.

Рідкий висококиплячий компонент збирається у нижній частині колони KP , звідки самопливом перетікає у випарник B . У випарнику частина труднолеткого компоненту випаровується і направляється у вигляді парового зрошення під нижню тарілку ректифікаційної колони. А та частина кубового продукту, що не випарилась виводиться за межі випарника і прямує в товарний парк у вигляді проміжного чи готового продукту.

1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи процесу теплообміну, що наведено у данному розділі сформовано шляхом опрацювання літературних джерел [3, 6, 7].

Розглянемо більш детально особливості розрахунку кожухотрубних теплообмінних апаратів та основні рівняння, які при цьому використовуються.

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до числа найбільш часто вживаних поверхневих теплообмінників. Це обумовлено надійністю їх конструкції та великим набором варіантів виконання для різних умов експлуатації.

Середовища, зазвичай, направляють протитечією один до одного. При цьому середовище, що нагрівається, спрямовують знизу вгору, а середовище,

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

що віддає тепло – у протилежному напрямку. Такий напрям руху кожного середовища збігається з напрямком, в якому прагне рухатися дане середовище під впливом зміни його щільності при нагріванні або охолодженні.

Крім того, при зазначених напрямках руху середовищ досягається більш рівномірний розподіл швидкостей і ідентичні умови теплообміну за площею поперечного перерізу апарату. В іншому випадку, наприклад при подачі холодного середовища, яке нагрівається, зверху теплообмінника, більш нагріта частина рідини, як більш легка, може накопичуватися у верхній частині апарату, утворюючи «застійні» зони.

Горизонтальні теплообмінники виготовляються зазвичай багатходовими і працюють при великих швидкостях. Це робиться задля того, щоб звести до мінімуму розшарування рідин внаслідок різниці температур і густин, а також усунути утворення застійних зон.

Якщо середня різниця температур труб і кожуха в теплообмінниках жорсткої конструкції (з нерухомими, привареними до корпусу трубними решітками) стає значною (50°C і вище), труби і кожух подовжуються неоднаково. Це викликає значні напруги в трубних решітках, може порушити щільність з'єднання труб з решітками, призвести до руйнування зварних швів. Тому при різницях температур труб і кожуха, більших за 50°C , або при значній довжині труб застосовують кожухотрубні теплообмінники нежорсткої конструкції, яка допускає деяке переміщення труб відносно кожуха апарату.

Розрахунок кожухотрубного теплообмінника, як і любого іншого теплообмінного апарату, полягає у визначенні площі поверхні теплопередачі.

Необхідну поверхню теплопередачі визначають за основним рівнянням теплопередачі:

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

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

де F – поверхня теплопередачі, м^2 ;

$\Delta t_{\text{сер}}$ – середня температура процесу, град.;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Q – теплове навантаження, Вт .

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

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

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

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

λ_{CT} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Середня різниця температур теплоносіїв розраховується, як:

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

де Δt_B і Δt_M – більша і менша різниці температур 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 $t_{\text{СЕР}} = (t_1 + t_2) / 2$ [6].

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot \frac{\lambda_g}{d_{\text{вн}}} \cdot Re_g^{0,8} \cdot Pr_g^{0,4}, \quad (1.4)$$

де λ_g – теплопровідність етанолу, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						9
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр трубок, м;

Re_g – критерій Рейнольдса руху теплоносія по трубам;

Pr_g – критерій Прандтля руху теплоносія по трубам.

Для обчислення коефіцієнта тепловіддачі від оребреної поверхні трубок до повітря використовується залежність:

$$\alpha_2 = 0,223 \cdot k \cdot u^{0,33} \cdot h^{0,14} \cdot d_{\text{н}}^{-0,54} \cdot \left(\frac{W_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}}}{\mu_{\text{air}}} \right)^{0,65}, \quad (1.5)$$

де k – поправка на оребрення;

h – висота ребер труб, м;

u – крок між ребрами, м;

W_{air} – швидкість атмосферного повітря, м/с;

$d_{\text{н}}$ – зовнішній діаметр трубок, м;

μ_{air} – динамічна в'язкість повітря, Па·с.

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (1.6)$$

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

l – визначальний геометричний розмір, м;

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

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}, \quad (1.7)$$

де w – швидкість теплоносія, м/с;

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

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

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}, \quad (1.8)$$

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

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах і каналах рекомендуються наступні критеріальні рівняння:

– для ламінарного режиму

$$\text{Nu} = 0,74 \cdot (\text{Re} \cdot \text{Pr})^{0,2} \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,1}, \quad (1.9)$$

де Gr – критерій Грасгофа, який характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції:

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot d_1^3 \cdot \rho_{\text{сер}}^2 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\mu_1}, \quad (1.10)$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення етанолу при його середній температурі, град.⁻¹.

– для перехідного режиму

$$\text{Nu} = 0,008 \cdot \text{Re}^{0,9} \cdot \text{Pr}^{0,43}; \quad (1.11)$$

– для турбулентного режиму

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3}. \quad (1.12)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Кожухотрубний теплообмінник включає в себе кілька елементів конструкції: кожух (корпус), розподільна і спрямовуюча камери, внутрішня система трубок, трубні решітки; перегородки і ущільнення.

До корпусу приварюються два патрубки. Один із них відповідає за підведення робочого середовища, а інший – за його відведення. У торці кожуха приварюють спеціальні фланці.

Крім цього, до складу такого теплообмінника входять трубні решітки, між якими приварюються труби, оснащені дистанційними штифтами. Така конструкція утворює трубну систему рекуператора і дозволяє пристрою бути багатогодовим.

Схема проектованого чотирьохходового кожухотрубного конденсатора наведена на рис. 1.2.

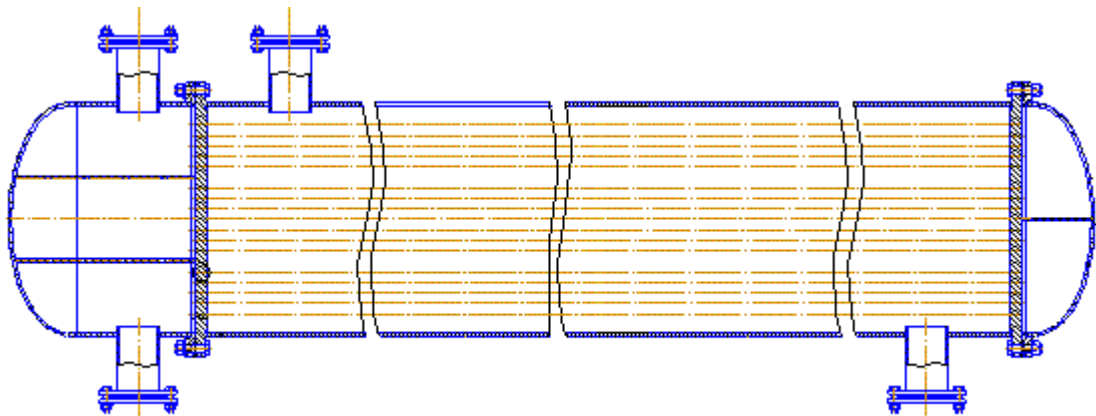


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема кожухотрубного конденсатора

Даний апарат відноситься до теплообмінних, де тепло від гарячого теплоносія до холодного передається через розділяючу тонку стінку металевої труби. Принцип роботи конденсатора полягає у наступному. Етиловий спирт (етанол), у вигляді пари, під надлишковим тиском надходить до міжтрубного простору, де і відбувається його конденсація (на зовнішній поверхні трубного пучка). Утворений конденсат виводяться із апарату через

нижній штуцер. Паралельно цьому, у трубний простір апарату, безперервно подається вода технічна, яка, нагріваючись, відбирає тепло у етанолу. У разі потреб, нагріту воду можна використовувати для опалення приміщень або інших технологічних потреб.

Матеріали для виготовлення хімічних апаратів і машин потрібно вибирати відповідно до специфіки їх експлуатації, враховуючи при цьому можливу зміну вихідних фізико-хімічних властивостей матеріалів під впливом робочого середовища, температури і хіміко-технологічних процесів. При виборі матеріалів для апаратури необхідно керуватися галузевим стандартом ОСТ 26-291-71.

Для виготовлення хімічних апаратів повинні використовуватися конструкційні матеріали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм/рік. Під швидкістю корозії металів розуміють проникнення корозії в глибину металу [8].

Високолеговані корозійно-стійкі, жаростійкі і жароміцні сталі та сплави на їх основі містять більше 10 % легуючих компонентів. Ці сталі поставляють у вигляді листів, смуг і прутків (ГОСТ 7350), труб (ГОСТ 9940, ГОСТ 9941); виливки з високолегованої сталі повинні відповідати ГОСТ 997.

Виготовляють із цих сталей елементи машин і апаратів, що працюють під підвищеним тиском в інтервалі температур від -257 до $+600^{\circ}\text{C}$ в агресивних середовищах; рекомендації щодо застосування цих сталей і сплавів вказані в додатку до ГОСТ 5632.

У хімічному машинобудуванні найбільш поширені корозійно-стійкі сталі аустенітного класу (12X18H9T, 04X18H10, 08X18H10T, 12X18H10T та ін.), які відрізняються стійкістю майже до всіх окислювальних агресивних середовищ. Сталі добре деформуються в гарячому і холодному стані і легко зварюються. Однак через велику в'язкість вони гірше піддаються механічній обробці, ніж, наприклад, сталі з мартенситною структурою.

Корозійно-стійкі сталі феритного класу (12X17, 08X17T, 15X25T та ін.) стійкі до дії фосфорної і оцтової кислот всіх концентрацій при

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

температурі до + 70°C, азотної кислоти концентрацією до 65 % при температурі до + 40°C та ін. Недолік сталей цього типу – низька ударна в'язкість у зоні зварних швів.

Сталі аустенітно-феритного класу (08X22H6T, 12X21H5T та ін.) за корозійною стійкістю аналогічні аустенітним сталям, однак мають в порівнянні з ними ряд переваг: економно леговані дефіцитним нікелем, менш схильні до міжкристалічної корозії і корозійного розтріскування під навантаженням, мають підвищені механічні показники у стані поставки.

Виливки з високолегованої сталі (ГОСТ 997), у залежності від складу і структури, можуть бути корозійностійким, жаростійкими, жароміцними і зносостійкими.

У [8] наведено перелік конструктивних сталей, що є стійкими в середовищі етилового спирту і рекомендованих для застосування при конструюванні хімічної апаратури. Це наступні сталі: 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 12X18H10T, 10X17H13M2T.

Вибираємо сталь 12X18H10T, яка є технологічною при обробці, добре деформованою, як в гарячому і в холодному станах. Ця сталь добре зварюється усіма видами зварювання і не вимагає обов'язкової термічної обробки виробу після зварювання.

Для ущільнення з'єднань використовуємо прокладковий матеріал пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси [9].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок передбачає визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв, таких як: густина, теплоємність, динамічна в'язкість, теплопровідність тощо [10]. Розрахунок проводимо у відповідності до методик [7, 10].

Згідно вихідних даних, що вказані у завданні до кваліфікаційної роботи, етанол надходить в апарат уже при температурі конденсації. Температура конденсації етанолу при тиску 0,12 МПа становить 82°C [11].

Теплове навантаження проектуваного конденсатора визначаємо, як:

$$Q = Q_{\text{конд}} = G_{\text{п}} \cdot r_{\text{х}}, \quad (2.1)$$

де $G_{\text{п}}$ – масова витрата етанолу, кг/с;

$r_{\text{х}}$ – питома теплота конденсації етанолу при $p_{\text{к}} = 1,2$ МПа, кДж/кг [11].

$$Q = \left(\frac{3000}{3600} \right) \cdot 840 = 700 \text{ кВт}.$$

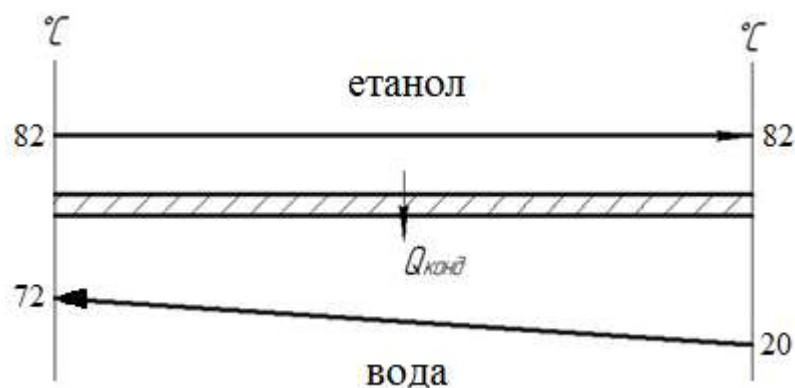


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу конденсації етанолу

Середню різницю температур $\Delta t_{\text{сер}}$, °C, визначаємо за рівнянням (1.3).

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

Кінцева температура води приймається, відповідно до рекомендацій [7], нижче температури гарячого теплоносія на 5–15°C. Приймаємо 10°C.

$$\Delta t_M = 82 - 72 = 10^\circ\text{C}; \Delta t_6 = 82 - 20 = 62^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{сер} = \frac{62 - 10}{\ln\left(\frac{62}{10}\right)} = 28,5^\circ\text{C}.$$

Оскільки температури теплоносіїв близькі до температури навколишнього середовища – втратами тепла можна знехтувати [7]. Отже, витрату холодного теплоносія (води) знаходимо з рівняння теплового балансу, а саме:

$$G_B = \frac{Q}{c_B \cdot (t_{KB} - t_{HB})}, \quad (2.2)$$

де c_B – теплоємність води при усередненій температурі, кДж/(кг·К) [11].

$$G_B = \frac{700}{4,2 \cdot (72 - 20)} = 3,2 \text{ кг/с}.$$

Попередньо, необхідну поверхню теплообміну визначаємо за рівнянням (1.1).

$$F_B = \frac{700 \cdot 10^3}{300 \cdot 28,5} = 81,9 \text{ м}^2.$$

На підставі розрахованого значення, вибираємо стандартизований кожухотрубний теплообмінник із наступними характеристиками: діаметр

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

кожуха $D = 800$ мм; теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною $l = 3,0$ м; число ходів по трубах $z = 4$; загальна кількість труб 404 шт.; поверхня теплообміну $F = 95$ м²; площа перерізу одного ходу по трубах $s_{\text{тр}} = 0,011$ м².

Швидкість води технічної у трубах теплообмінника:

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{\text{тр}}}, \quad (2.3)$$

де ρ_B – густина води при усередненій температурі, кг/м³ [11].

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{\text{тр}}} = \frac{3,2}{995 \cdot 0,011} = 0,3 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса для теплоносія у трубах:

$$\text{Re}_B = \frac{w_B \cdot (d - 2s) \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (2.4)$$

де d і s – діаметр і товщина стінки теплообмінних труб відповідно, м;
 μ_B – динамічний коефіцієнт в'язкості води при усередненій температурі, Па·с [11].

$$\text{Re}_B = \frac{0,3 \cdot (25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3} \cdot 995}{5,8 \cdot 10^{-4}} = 10293$$

Критерій Прандтля для теплоносія у трубах за рівнянням (1.8):

$$\text{Pr}_B = \frac{5,8 \cdot 10^{-4} \cdot 4,2 \cdot 10^3}{0,65} = 3,75$$

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

Оскільки $Re > 10000$ – режим розвинений турбулентний. Тепловіддача при цьому режимі в прямих трубах і каналах описується критеріальним рівнянням (1.12):

$$Nu_B = 0,023 \cdot 10293^{0,8} \cdot 3,75^{0,3} = 55,4$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки потоку холодного теплоносія [7]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{d - 2s}; \quad (2.5)$$

$$\alpha_2 = \frac{55,4 \cdot 0,65}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} = 1802 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Фізичні параметри етанолу при температурі його конденсації наступні [11]: густина $736 \text{ кг}/\text{м}^3$; коефіцієнт теплопровідності $0,156 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; теплоємність $3,3 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; кінематична в'язкість $6,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від етанолу, що конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника, до зовнішньої поверхні трубок [7]:

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_r^3 \rho_r^2 r'_r g}{\mu_r \Delta t d}} \quad (2.6)$$

де ε – коефіцієнт, що залежить від розташування труб в пучку та розрахункового числа труб у кожному вертикальному ряді;

ε_t – поправний коефіцієнт, що враховує залежність фізичних властивостей конденсату від температури;

λ_r – коефіцієнт теплопровідності конденсату, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

ρ_r – густина конденсату, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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

r_r' – сума теплоти конденсації і перегріву етанолу, Дж/кг. Оскільки етанол надходить в апарат при температурі конденсації, Дж/кг;

g – прискорення вільного падіння, m/s^2 ;

μ_r – динамічний коефіцієнт в'язкості конденсату, Па·с;

Δt – різниця температур конденсату і поверхні стінки, К.

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,156^3 \cdot 736^2 \cdot 840 \cdot 9,81}{45,5 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 403 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K).$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за рівнянням (1.2):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{403} + \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{17,5} + \frac{1}{1802}} = 315 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K).$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Фактична поверхня теплообміну становить:

$$F_\phi = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}}; \quad (2.7)$$

$$F_\phi = \frac{700 \cdot 10^3}{315 \cdot 28,5} = 78 \text{ м}^2.$$

Остаточо приймаємо чотирьохходовий кожухотрубний конденсатор з такими характеристиками: діаметр кожуха $D = 800$ мм; теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною $l = 3,0$ м; загальна кількість труб 404 шт.; поверхня теплообміну $F = 95 \text{ м}^2$; площа перерізу одного ходу по трубах $s_{\text{тр}} = 0,011 \text{ м}^2$.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

Коефіцієнт запасу поверхні теплообміну дорівнює:

$$\chi = \left(\frac{F - F_{\phi}}{F} \right) \cdot 100\% ; \quad (2.8)$$

$$\chi = \left(\frac{95 - 78}{95} \right) \cdot 100\% = 17,9\%$$

Отриманий запас поверхні знаходиться в межах допустимих значень, а саме 10–20 % [10].

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

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} , \quad (2.9)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини (пари) відповідно, м³/с і кг/с;
 ρ – густина потоку середовища, кг/м³;
 w – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [7]: для рідин 0,1–0,5 м/с при самопливі та 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах; для пари і газів 5–15 м/с.

Діаметр штуцера для входу парів етанолу:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 3000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 5}} = 0,246 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу конденсату етанолу:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 3000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 736 \cdot 0,5}} = 0,05 \text{ м.}$$

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

Діаметр штуцера для входу води технічної:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,2}{3,14 \cdot 998 \cdot 0,7}} = 0,076 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу води технічної:

$$d_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,2}{3,14 \cdot 980 \cdot 0,7}} = 0,077 \text{ м.}$$

Для проектуваного конденсатора приймаємо наступні штуцери:

- для входу парів етанолу $D_y=300$ мм ($p_y=0,25$ МПа);
- для виходу конденсату етанолу $D_y=50$ мм ($p_y=0,25$ МПа);
- для входу води технічної $D_y=80$ мм ($p_y=0,25$ МПа);
- для виходу води технічної $D_y=80$ мм ($p_y=0,25$ МПа).

2.3 Гідравлічний опір апарата

Розрахунок гідравлічного опору теплообмінника виконано у відповідності до методики [12].

Повний гідравлічний опір теплообмінника становить:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}} = \left(\lambda \cdot \frac{L}{d - 2s} + \sum \xi_{\text{м}} \right) \cdot \frac{w_{\text{в}}^2 \cdot \rho_{\text{в}}}{2} \quad (2.10)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

$\xi_{\text{м}}$ – коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в гідравлічно шорстких трубах:

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

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d - 2s} + \frac{68}{\text{Re}_B} \right)^{0,25} \quad (2.11)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труби (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), мм.

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{10293} \right)^{0,25} = 0,165$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в апараті:

$$\sum \xi_m = 2 \cdot \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 \cdot (z - 1) \quad (2.12)$$

де ξ_i – коефіцієнти місцевих опорів (вхідна і вихідна камери $\xi_1=1,5$, вхід в труби і вихід з них $\xi_2=1$, поворот на 180° між ходами $\xi_3=2,5$).

$$\sum \xi_m = 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 + 2,5 \cdot (4 - 1) = 12,5$$

$$\Delta P = \left(0,165 \cdot \frac{3,0}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + 12,5 \right) \cdot \frac{0,3^2 \cdot 995}{2} = 1668 \text{ Па} \approx 1,67 \text{ кПа.}$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір насоса для подачі зрошення в колону [10].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймемо однакову швидкість течії рідини, яка дорівнює $w = 1,5$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.13)$$

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

$$d = \sqrt{\frac{1,02 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,029 \text{ м.}$$

Приймаємо $d = 32$ мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.14)$$

$$\text{Re} = \frac{1,5 \cdot 0,032 \cdot 736}{45,5 \cdot 10^{-5}} = 77644.$$

Отже, режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 6,25 \cdot 10^{-3}.$$

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = 160; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600;$$

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

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

Для зони, що є автотельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.15)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (6,25 \cdot 10^{-3})^{0,25} = 0,03.$$

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

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід в 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) вентилі прямоочні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;
- 2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$;
- 3) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

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

$$\Sigma \xi = 1,3 + 2,2 + 1 = 4,5.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.16)$$

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

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0,03 \cdot \frac{6}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,95 \text{ м.}$$

Втрачений натиск в напірної лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,03 \cdot \frac{7}{0,032} + 4,5 \right) \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 1,27 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.17)$$

$$h_{П} = 0,95 + 1,27 = 2,22 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_G + h_{П}, \quad (2.18)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку ця різниця дорівнює $(P_2 - P_1) = 0,12 - 0,1 = 0,02 \text{ МПа}$;

H_G – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,02 \cdot 10^6}{736 \cdot 9,81} + 6 + 2,22 = 11,0 \text{ м.}$$

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

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.19)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса, м.

$$N_{\Pi} = 736 \cdot 9,81 \cdot 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 11,0 = 81,0 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (2.20)$$

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

Приймаємо $\eta_n = 0,6$ та $\eta_{\text{пер}} = 1$.

$$N = \frac{81,0}{1 \cdot 0,6} = 135 \text{ Вт.}$$

За [10] вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 8-18 з наступними параметрами: об'ємна подача насоса $8 \text{ м}^3/\text{год.}$; напір насоса 18 м ; потужність, споживана насосом $6,5 \text{ кВт}$; частота обертання 1250 об/хв .

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

Розрахунок і вибір ємності для рідкого етанолу [10].

Ємність для зберігання рідкого етанолу розраховують, виходячи із 6–8 годинного резерву робочого часу, та з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 - 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,8$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\text{ЄЄ}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.21)$$

де G – витрата конденсату; $G = 3000$ кг/год.;

τ – резерв робочого часу; приймаємо $\tau = 6$ год.;

$$V_{\text{ЄЄ}} = \frac{3000 \cdot 6}{0,8 \cdot 736} = 30,6 \text{ м}^3.$$

Задаємося діаметром циліндричної ємності $D = 2,8$ м, тоді її висота буде дорівнювати:

$$H = \frac{V_{\text{ЄЄ}}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.22)$$

$$H = \frac{30,6}{0,785 \cdot 2,8^2} = 4,97 \text{ м.}$$

Приймаємо висоту ємності 5 м.

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

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки [13]

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання).

Напруження для сталі 12X18H10T при $t = 82^\circ\text{C}$:

$$\sigma^* = 172,5 \text{ МПа}$$

Тиск, який створює етанол у міжтрубному просторі становить $p_p = 0,12 \text{ МПа}$.

Для листового матеріалу допустиме напруження:

– на краю сполучених елементів

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

– при гідравлічних випробуваннях

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

Допустиме напруження для матеріалу 12X18H10T при температурі $t=20^\circ\text{C}$:

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ МПа}$$

Пробний тиск при випробуваннях і при допустимому напруженні:

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

$$P_{\text{н}} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot 0,12 \cdot 170}{172,5} = 0,15, 0,12 + 0,3 = 0,42 \right\} = 0,42 \text{ МПа.}$$

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

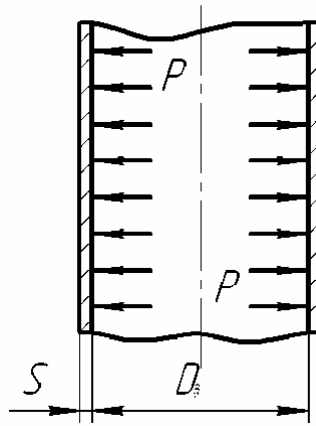


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Прийmemo прибавку до розрахункових товщин за весь термін служби апарату (15 років) $c = 2,0$ мм.

Розрахункова товщина стінки кожуха при гідравлічних випробуваннях і при допустимому напруженні:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p) \\ p_n \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma]_n - p_n) \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,12 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,12} = 0,31 \\ \frac{0,42 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,42} = 0,73 \end{array} \right\} = 0,73 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки кожуха:

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

$$S \geq 0,73 + 2 \geq 2,73 \text{ мм.}$$

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

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Розрахункова товщина еліптичного днища (кришки):

$$S_p^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \end{array} \right\}; \quad (3.6)$$

$$S_p^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,12 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,5 \cdot 0,12} = 0,31 \\ \frac{0,42 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 0,42} = 0,73 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,73 \text{ мм}.$$

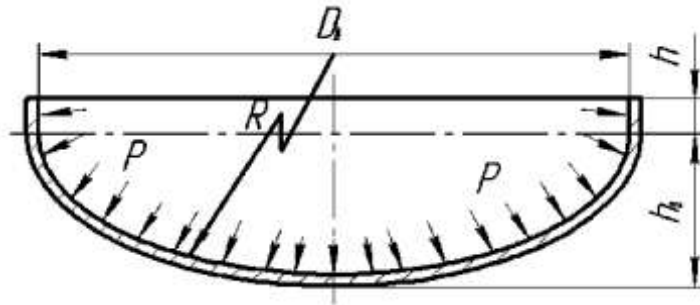


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища (кришки)

Також приймаємо $S_E = 4,0$ мм.

3.2 Розрахунок опори апарата [13]

Знаходимо масу обичайки кожуха:

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

де ρ – щільність сталі; $\rho = 7800$ кг/м³.

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7800 = 118 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища (кришки):

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

$$m_{E\text{дн}} = m_{E\text{кр}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 25 \text{ кг.}$$

Маса труб:

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

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,02^2) \cdot 3 \cdot 404 \cdot 7800 = 1670 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

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

де D_ϕ – зовнішній діаметр фланця, м;

h_ϕ – висота фланця, м.

$$m_\phi = \frac{3,14 \cdot 0,95^2}{4} \cdot 0,1 \cdot 7800 = 553 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

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

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

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

При коефіцієнті заповнення $\varphi=0,5$ маса етанолу в апараті складе:

$$m_x = V_{\text{мтр}} \cdot \rho_x \cdot \varphi; \quad (3.12)$$

де φ – коефіцієнт заповнення; приймаємо $\varphi = 0,75$.

$$m_x = 0,9 \cdot 736 \cdot 0,75 = 497 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Едн}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{тр}} + m_{\text{ф}} + m_x); \quad (3.13)$$

$$G = 9,81 \cdot (118 + 25 + 25 + 1670 + 553 + 497) = 28330 \text{ Н.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Відповідно, навантаження на одну опору буде становити:

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

$$Q = \frac{28330}{2} = 14165 \text{ Н.}$$

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

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

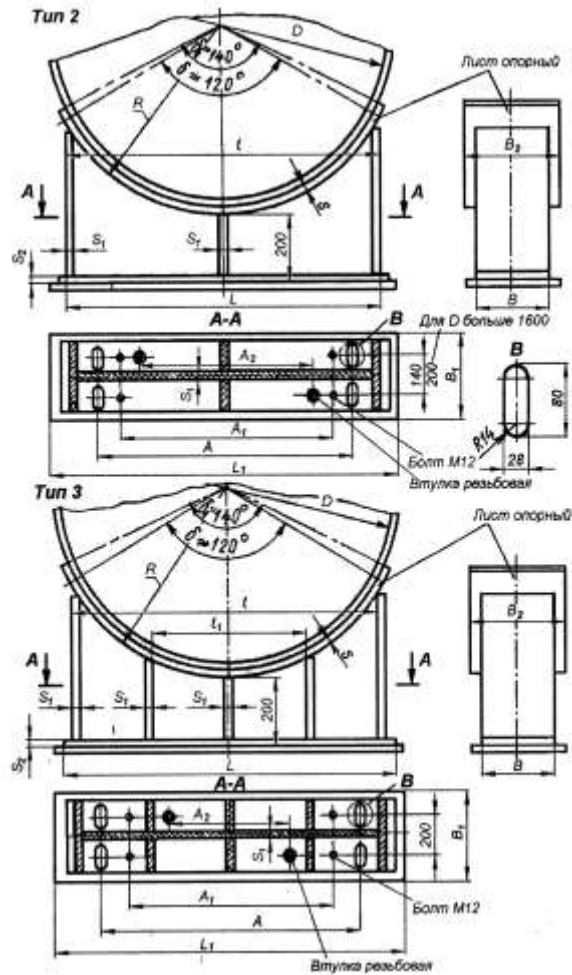


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема сідлової опори

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж розробленого апарата [14, 15]

Випарник бензолу з паровим простором відноситься до кожухотрубних теплообмінників. Технологія монтажу апаратів такої конструкції залежить від місця і способу їх установки. Вони можуть бути встановлені на відкритому майданчику, на постаменті чи в середині будівлі, а також горизонтально чи вертикально.

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

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

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

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

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

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів. Монтаж починають з підйому апарата із вихідного горизонтального положення без відриву його від землі. На рис. 4.1 показані найбільш сприятливі умови роботи кранів при монтажі апаратів.

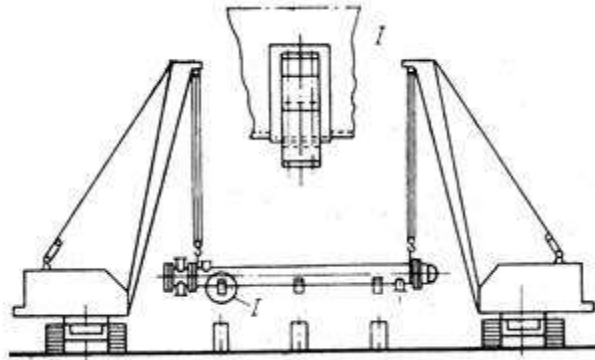


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального теплообмінного апарату

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 [15]

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 трубок. Завдяки систематичному промиванню є можливість тривалий час підтримувати робочі параметри у

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

нормі. Безпосередньо ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зношення обладнання.

Далі розглянемо більш детально найбільш поширені дефекти, що виникають при експлуатації кожухотрубних теплообмінників.

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.

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	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

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 заплатки;
- ❖ виготовлення нової камери чи корпусу.

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.

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.

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.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

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

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

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

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

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

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

5 Охорона праці

Надання першої допомоги людині при ураженні її електричним струмом.

Щороку від ураження струмом в Україні гине близько 1500 людей. Небезпека ураження струмом може чекати людину як вдома, так і на вулиці. Виявити пошкоджений або оголений провід, що знаходиться під напругою дуже важко – ні за звуком, ні за запахом, ні візуально провід під напругою не відрізняється від того, який не заживлений у мережі. Тому, життєвонеобхідно пам'ятати правила електробезпеки, щоб уникнути травматизму. Але що робити, якщо людина уже потрапила під дію струму? За словами спеціалістів на те, щоб врятувати людину, яку ударило струмом, є всього 4 хвилини [16].

Першу допомогу слід надавати вміло і швидко, бо від цього залежить життя потерпілого і успіх наступного лікування. Послідовність дій під час надання першої допомоги у випадку ураження електричним струмом така [17]:

- звільнення людини від дії електричного струму;
- оцінка стану потерпілого;
- визначення травми, що створює найбільшу загрозу для життя;
- надання першої допомоги потерпілому;
- виклик швидкої допомоги чи транспортування потерпілого у лікувальну установу.

При ураженні електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання.

Дотик до струмопровідних частин (мережі під напругою) у більшості випадків призводить до судом м'язів, тобто людина самостійно не в змозі відірватися від провідника. Тому необхідно швидко відключити ту частину електрообладнання, до якої доторкається людина.

Будь-яке зволікання при наданні допомоги, а також невміння того, хто допомагає, надати кваліфіковану допомогу, призводить до загибелі людини, яка знаходиться під дією струму.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

При звільненні потерпілих від струмопровідних частин або проводу в електроустановках напругою до 1000 В відключають струм, використовуючи сухий одяг, палицю, дошку, шапку, сухі рукавиці, рукав одягу, діелектричні рукавиці. Провідники перерізають інструментом з ізольованими ручками, перерубують сокирою з дерев'яним сухим топорищем. Потерпілого можна також відтягнути від струмопровідних частин за одяг, уникаючи дотику до навколишніх металевих предметів та до відкритих частин тіла потерпілого. Відтягуючи потерпілого за ноги, не можна торкатися його взуття, оскільки воно може бути сирим і стає провідником електричного струму. Той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати їх шарфом, натягнути на них рукав піджака або пальта. Можна також ізолювати себе, ставши на гумовий килимок, суху дошку тощо (рис. 5.1).

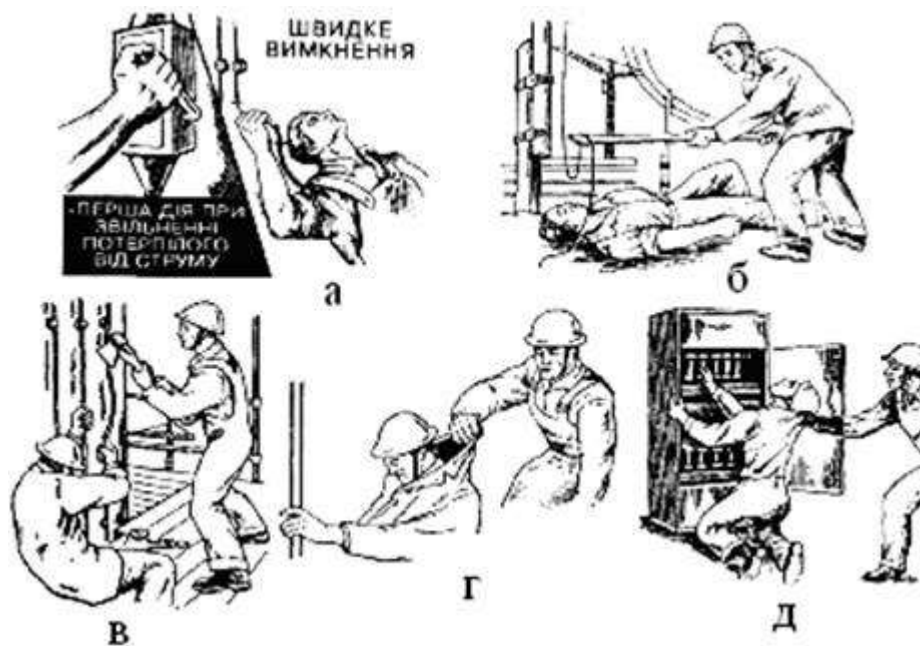


Рисунок 5.1 – Звільнення потерпілого від дії струму:

а – відключенням електроустановки; б – відкиданням проводу сухою дошкою, рейкою; в – перерубуванням дротів; г – відтягуванням за сухий одяг; д – відтягуванням в рукавицях

При звільненні потерпілих в електроустановках з напругою понад 1000 В слід користуватися діелектричними рукавицями і взути діелектричні

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

боти; діяти ізолюючою штангою або ізолюючими кліщами. Якщо є можливість, то вимкнути електроустановку. Можна замкнути або заземлити провідники (замкнути дроти накоротко, накинувши на них попередньо заземлений провід).

Якщо провід торкається землі, то необхідно пам'ятати про небезпеку крокової напруги. Тому після звільнення потерпілого від струмопровідних частин слід винести його з небезпечної зони. Без засобів захисту пересуватися в зоні розтікання струму по землі слід не відриваючи ноги одна від одної (рис. 5.2).

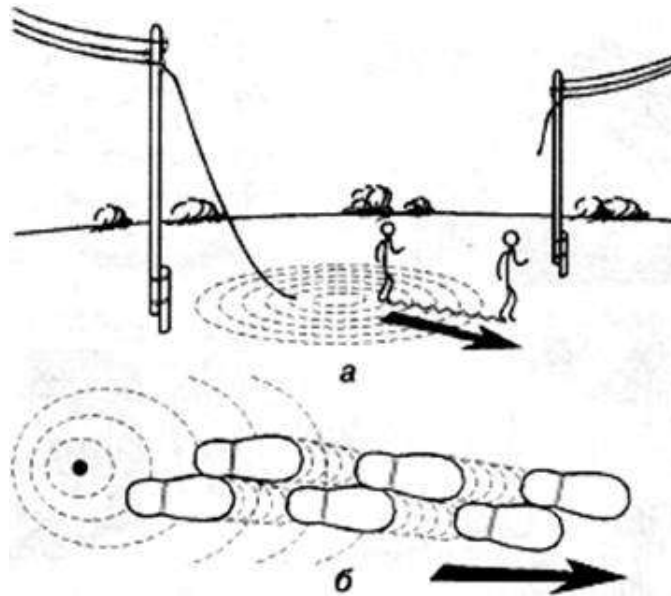


Рисунок 5.2 – Пересування в зоні розтікання струму:

а – напрям пересування; б – положення ніг при пересуванні

Виділяють три стани людського організму внаслідок дії електричного струму:

I стан – потерпілий при свідомості. Слід забезпечити повний спокій, 2–3 годинне спостереження, виклик лікаря.

II стан – потерпілий непритомний, але дихає. Людину покласти горизонтально, розстебнути комір і пасок, дати нюхати нашатирний спирт, викликати лікаря.

III стан – потерпілий не дихає або дихає з перервами, уривчасто, як вмираючий. Роблять штучне дихання і непрямий масаж серця.

Кожен працівник, обслуговуючий оперативний персонал повинні знати правила долікарської допомоги, способи штучного дихання і масажу серця.

Долікарську допомогу потерпілому надають на місці нещасного випадку. Констатувати смерть має право тільки лікар.

Способи штучного дихання бувають ручні та апаратні. Ручні менш ефективні, але можуть застосовуватись негайно при порушенні дихання у потерпілого. При виконанні штучного дихання “з рота в рот”, та “з рота в ніс” в рот або в ніс потерпілого рятівник видихає зі своїх легенів в легені потерпілого об’єм повітря в кількості 1000–1500 мл. Цей метод найбільш ефективний, однак можлива передача інфекції, тому використовують носовичок, марлю, спеціальну трубку.

Підготовка до штучного дихання:

1. Звільнити потерпілого від одягу – розв’язати галстук, розстебнути комір сорочки тощо.
2. Покласти потерпілого на спину на горизонтальну поверхню – стіл або підлогу.
3. Відвести голову потерпілого максимально назад, доки його підборіддя не стане на одній лінії з шиєю. При цьому положенні язик не затуляє вхід до гортані, вільно пропускає повітря до легенів. Разом з тим при такому положенні голови рот розкривається. Для збереження такого положення голови під лопатки кладуть валик із згорнутого одягу (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – Положення голови потерпілого при проведенні штучного дихання

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. Пальцями обслідувати порожнину рота і якщо там є кров, слиз тощо, їх необхідно видалити, вийнявши також зубні протези; за допомогою носовичка або краю сорочки вичистити порожнину рота (рис. 5.4). Обов'язково провести штучне дихання.



Рисунок 5.4 – Очищення рота і глотки

Виконання штучного дихання:

Голову потерпілого відводять максимально назад і пальцями затискають ніс (або губи). Роблять глибокий вдих, притискають свої губи до губ потерпілого і швидко роблять глибокий видих йому до рота. Вдування повторюють кілька разів, з частотою 12–15 разів на хвилину. З гігієнічною метою рекомендується рот потерпілого прикрити шматками тканини (носовичок, бинт тощо) (рис. 5.5).



ВДИХ



ВИДИХ

Рисунок 5.5 – Виконання штучного дихання

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Якщо пошкоджене обличчя проводити штучне дихання “із легенів у легені” неможливо, треба застосувати метод стиснення і розширення грудної клітки шляхом складання і притискання рук потерпілого до грудної клітки з їх наступним розведенням у боки. Контроль за надходженням повітря з легенів потерпілого здійснюється за розширенням грудної клітки при кожному вдюванні. Якщо після вдювання грудна клітка потерпілого не розправляється, – це ознака непрохідності шляхів дихання. Найкраща прохідність шляхів дихання забезпечується за наявності трьох умов:

- максимального відведення голови назад;
- відкривання рота;
- висунання вперед нижньої щелепи.

При появі у потерпілого перших слабких вдихів слід поєднати штучний вдих з початком самостійного вдиху. Штучне дихання слід проводити до відновлення глибокого ритмічного дихання.

Штучне дихання у більшості випадків треба робити одночасно з масажем серця.

Зовнішній масаж серця – це ритмічне стиснення серця між грудниною та хребтом. Треба знайти розпізнавальну точку – мечоподібний відросток груднини, – він знаходиться знизу грудної клітини над животом. Стати треба з лівого боку від потерпілого і покласти долоню однієї руки на нижню третину груднини, а поверх – долоню другої руки (рис. 5.6 і 5.7).



Рисунок 5.6 – Місце розташування рук при проведенні зовнішнього масажу серця



Рисунок 5.7 – Правильне положення рук при проведенні зовнішнього масажу серця і визначення пульсу на сонній артерії

Тепер ритмічними рухами треба натискати на груднину (з частотою 60 разів на хвилину). Сила стиснення має бути такою, щоб груднина зміщувалась в глибину на 4–5 см. Масаж серця доцільно проводити паралельно зі штучним диханням, для чого після 2–3 штучних вдихів роблять 15 стискань грудної клітки. При правильному масажі серця під час натискання на груднину відчуватиметься легкий поштовх сонної артерії і звужаться протягом кількох секунд зіниці, а також порожевіє шкіра обличчя і губи, з'являться самостійні вдихи. Щоб не пропустити повторного припинення дихання, треба стежити за зіницями, кольором шкіри і диханням, регулярно перевіряти частоту і ритмічність пульсу (рис. 5.8 і 5.9).



Рисунок 5.8 – Проведення штучного дихання і зовнішнього масажу серця однією людиною

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 5.9 – Положення того, хто надає допомогу при проведенні зовнішнього масажу серця

Наслідки своєчасної і правильно наданої допомоги на місці події можуть бути зведені нанівець, якщо при підготовці до транспортування і доставці потерпілого до медичної установи не будуть дотримані відповідні правила. Головне не тільки в тому, як доставити потерпілого і яким видом транспорту, а наскільки швидко були вжиті заходи, які забезпечили максимальний спокій і зручне положення потерпілого.

Найкраще транспортувати потерпілого ношами. При цьому можна використовувати підручні засоби: дошки, одяг тощо. Можна переносити потерпілого на руках. Передусім потерпілого слід покласти на носі, які застеляють ковдрою, одягом тощо, ставлять носі з того боку потерпілого, де є ушкодження. Якщо тих, хто надає допомогу, двоє, вони повинні стати з двох боків носі. Один підкладає руки під голову і груднину, другий – під крижі і коліна потерпілого. Одночасно без поштовхів його обережно піднімають, підтримуючи ушкоджену частину тіла, і опускають на носі. Слід накрити потерпілого тим, що є під руками, – одягом, ковдрою. Якщо є підозра на перелом хребта, потерпілого кладуть обличчям догори на тверді носі (щит, двері). За відсутністю такого можна використати ковдру, пальто. У такому випадку потерпілого кладуть на живіт.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Якщо є підозра на перелом кісток тазу, потерпілого кладуть на спину із зігнутими ногами у колінах і у тазостегнових суглобах для того, щоб його стегна були розведені, під коліна обов'язково треба підкласти валик із вати, рушника, сорочки.

По рівній поверхні потерпілого несуть ногами вперед, при підйомі на гору або на сходах – головою вперед. Ноші весь час повинні бути у горизонтальному положенні. Щоб ноші не розгойдувались, необхідно йти не в ногу, злегка зігнувши коліна.

При перевезенні потерпілого слід покласти його до машини на тих самих ношах, підстеливши під них що-небудь м'яке (ковдру, солому тощо) [18].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

Література

1. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт, 2003. – 9 с.
2. Вікіпедія. Етанол [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Етанол>.
3. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
4. Вікіпедія. Конденсація [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Конденсація>.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Марочник сталей и сплавов / Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В. и др. Под общей ред. А. С. Зубченко. – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.
9. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
10. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

11. 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.

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

13. 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.

14. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.

15. 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.

16. Як врятувати життя людині, яку вразило струмом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oe.if.ua/uk/articles/5d259756db9c421dd70dce51>.

17. Практична робота з дисципліни «Охорона праці та цивільний захист». Тема № 12. Надання першої допомоги у разі попадання людини під дію електричного струму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/12_RTF_ITC_Практ_Перша_мед_допомога_електротрвми.pdf.

18. Долікарська допомога при ураженні електричним струмом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/berezyuk_bezpeka_zhittyediyalnosti/76.htm.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49