

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Тема роботи: Ректифікаційна установка. Розробити  
кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу

Виконав:  
студент групи ХМдн-71с  
Шовкопляс Олександр Олексійович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра хімічної інженерії**

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

Курс 4      Група ХМдн-71с      Семестр 8

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

Студенту Шовкоплясу Олександрю Олексійовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу

2 Вихідні дані: Розробити горизонтальний кожухотрубний конденсатор етанолу, пари якого у кількості 9000 кг/год. під тиском 2 атм. потрапляють у міжтрубний простір апарату. У трубний простір конденсатора спрямовується вода технічна при початковій температурі 18°C.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення конденсатора – 1,5 арк.
3. Складальні креслення камери розподільної та кришки – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / Укл.: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Воронін Л. Г. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів : Навчальний посібник / Л. Г. Воронін, А. Р. Степанюк, Л. І. Ружинська. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 68 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 2020 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 46 с., 7 рис., 2 табл., 1 додаток, 20 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальне креслення конденсатора, складальні креслення камери розподільної та кришки апарату – усього 4 аркуші графічної частини (3×А1).

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Ректифікаційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник для конденсації парів етанолу».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості теплообмінних процесів, виконано технологічні розрахунки апарату, визначено його габаритні розміри, проведено гідравлічні розрахунки, обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів для виготовлення основних деталей та вузлів конденсатора, розраховано і вибрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність доведена надійність роботи запроєктованого апарату. Також були описані заходи по монтажу і ремонту кожухотрубного теплообмінника. У розділі «Охорона праці» розглянуто причини виробничого травматизму, методи його аналізу та показники травматизму.

Ключові слова: РЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА, КОНДЕНСАТОР, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, РОЗРАХУНОК, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ.

## Зміст

	С.
Вступ	5
<b>1 Технологічна частина</b>	<b>7</b>
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	7
1.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів	8
1.3 Опис кожухотрубного конденсатора та вибір основних конструкційних матеріалів	12
<b>2 Технологічні розрахунки процесу та апарату</b>	<b>16</b>
2.1 Технологічні розрахунки	16
2.2 Конструктивні розрахунки	21
2.3 Гідравлічні розрахунки	23
2.4 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання	24
<b>3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність</b>	<b>26</b>
3.1 Визначення товщини стінки корпусу апарату та кришки	26
3.2 Розрахунок сідлової опори	28
<b>4 Монтаж та ремонт апарату</b>	<b>31</b>
4.1 Монтаж апарату	31
4.2 Ремонт апарату	33
<b>5 Охорона праці</b>	<b>37</b>
Список літератури	44
Додаток – Специфікації до графічної частини	

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шовкопляс			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Острога			4	46	
Реценз.					<b>СумДУ, ХМдн-71с</b>		
Н. Контр.							
Затверд.		Склабінський					
<b>Теплообмінник-конденсатор</b>							
Пояснювальна записка							

## Вступ

Для створення і підтримки температурного режиму на технологічних об'єктах у хімічній, металургійній, нафтогазовій, харчовій та інших галузях промисловості, необхідно здійснювати підведення або відведення теплової енергії від робочого середовища. Цю функцію виконує теплообмінне обладнання [1].

Теплообмінник – це пристрій для передачі тепла від більш нагрітого теплоносія (рідкого або газоподібного) до більш холодного. Теплообмінники повинні відповідати таким вимогам, як висока теплова продуктивність і економічність у роботі при забезпеченні заданих технологічних умов процесу, простота конструкції, компактність, зручність монтажу і ремонту, надійність у роботі, відповідність вимогам охорони праці і техніки безпеки [2].

Процеси теплообміну здійснюються в теплообмінних апаратах різних типів і конструкцій. Окрему нішу у всьому різноманітті теплообмінного обладнання займають кожухотрубні теплообмінники. Основними елементами кожухотрубних теплообмінників є пучки труб, трубні решітки, корпус, кришки, патрубки. Кінці труб кріпляться в трубних решітках розвальцюванням, зварюванням і пайкою. Міжтрубний і трубний простори поділяються. Для зручності очищення, по трубах спрямовують теплоносій, що містить тверді включення. Кожухотрубні теплообмінники можуть виконуватися як у вертикальному, так і у горизонтальному положеннях [3].

Відповідно до свого призначення кожухотрубні теплообмінні апарати бувають підігрівачами, холодильниками, випарниками, конденсаторами, дистиляторами, сублиматорами тощо [4]. Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра ми проектуємо кожухотрубний теплообмінник-конденсатор.

Кваліфікаційна робота бакалавра являє собою комплексне навчально-дослідне та практичне розроблення, що виконується на базі теоретичних

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

знань і практичних навичок, набутих студентом після вивчення дисциплін, визначених вимогами кваліфікаційної характеристики фахівця за відповідною спеціальністю. Даний проект виконано у відповідності до методичних вказівок [5] із дотриманням усіх регламентованих розділів.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>6</b>

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві етилового спирту зображена на рис. 1.1.

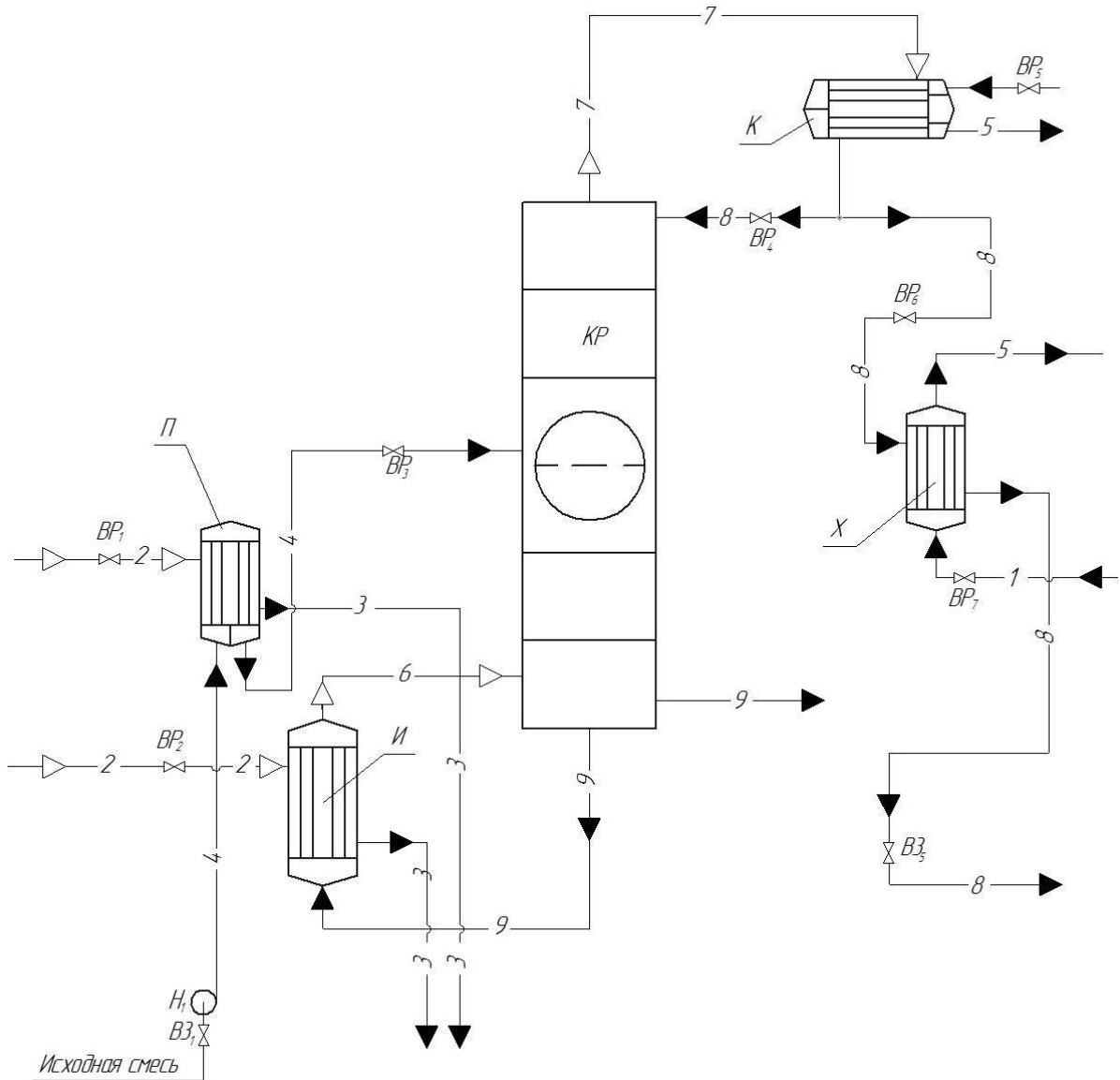


Рисунок 1.1 – Ректифікаційна установка у виробництві етилового спирту

Принцип роботи представленої ректифікаційної установки полягає у наступному. Вихідна двокомпонентна суміш за допомогою тиску, створюваного відцентрови насосом, подається у теплообмінник-підігрівач. Тут вона нагрівається до температури кипіння за рахунок тепла насиченої

водяної пари, яка при цьому конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника. Підігріта до температури кипіння суміш надходить у секцію живлення атмосферної ректифікаційної колони.

На тарілці живлення колони склад рідини відповідає складу початкової суміші. У результаті протитечійної паро-рідинної взаємодії відбувається розділення суміші на два окермих компоненти – важкокипаючий та легкокипаючий. Таким чином, із нижньої частини колони відводиться кубовий залишок, який спочатку охолоджується, а потім вже спрямовується споживачеві. Частина кубового залишку відбирається із нижньої частини колони і надходить у вертикальний випарник, де за рахунок тепла гріючої пари, що подається у міжтрубний простір, відбувається кипіння кубової рідини і утворюється пара важкокипаючого компоненту. Таким чином і забезпечується парове зрошення ректифікаційної колони.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення пари легкокипаючим компонентом (у нашому випадку це етанол).

Пари етанолу виходять із колони через її верхній штуцер, після чого спрямовуються у кожухотрубний теплообмінник-конденсатор. У цьому апараті відбувається конденсація продукту за рахунок відведення тепла холодному теплоносію, який безперервно циркулює по трубах. Частина сконденсованого (рідкого) етанолу відбирається і у вигляді флегми знову повертається до ректифікаційної колони (на її зрошення). Інша частина, так званий дистилат, проходить додаткове охолодження, після чого спрямовується у товарний парк.

## 1.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів

Для теплообмінників виконують проектний або перевірочний розрахунки. Проектний розрахунок здійснюють при проектуванні теплообмінника для відомих або заданих теплоносіїв і їх технологічних параметрів на вході та виході з теплообмінника. При цьому розраховують площу поверхні теплообміну, витрату одного з теплоносіїв, що нагріває або

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						<b>8</b>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



охолоджує, основні геометричні розміри теплообмінника заданої конструкції та його гідравлічний опір. Перевірочні розрахунки виконують для визначення відповідності існуючих або стандартних теплообмінників заданим технологічним вимогам [1].

Теплові розрахунки доповнюють гідравлічними та конструктивними розрахунками, і на підставі цих розрахунків підбирають стандартні або нормалізовані конструкції теплообмінних апаратів [2]. Обрана конструкція повинна забезпечити інтенсивний теплообмін, низьку капітальну вартість, надійність, дешевизну та зручність в експлуатації [3].

При проведенні розрахунку кожухотрубних теплообмінників необхідно встановити доцільність подачі одного із теплоносіїв у трубний, а іншого – у міжтрубний простір апарата [1, 4].

Рекомендується у трубний простір спрямовувати теплоносій, що [1]:

- має менші витрати, тому що швидкість його вище, ніж у міжтрубному просторі;
- містить тверді суспензії та забруднення, або схильний до утворення інкрустацій (твердих осадів);
- має підвищений надлишковий тиск (з міркувань механічної міцності апарата);
- агресивний і вимагає виготовлення труб з корозійностійкого матеріалу, тому що поверхня трубного простору менша міжтрубного.

Окрім того, при русі теплоносія, що нагріває, в трубах зменшуються втрати тепла в навколишнє середовище. Приймаючи напрямок взаємного руху теплоносіїв, враховують перевагу противотоку при теплообміні без зміни агрегатного стану, а також доцільність співпадання напрямків вимушеного й вільного рухів теплоносію (наприклад, при русі середовища, що нагрівається, знизу вгору та навпаки, середовища, що охолоджується зверху вниз). Швидкості теплоносіїв в обраному апараті повинні забезпечувати сприятливе співвідношення інтенсивного переносу тепла й

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

помірної витрати енергії для переміщення теплоносіїв. При цьому бажано, щоб теплообмін відбувався в умовах розвинутого турбулентного руху теплоносіїв ( $Re > 10^4$ ) або близького до нього [1].

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до числа найбільш часто вживаних поверхневих теплообмінників [1–4]. Це обумовлено надійністю їх конструкції, великим набором варіантів виконання для різних умов експлуатації, зокрема [6]:

- однофазні потоки, кипіння і конденсація по гарячій та холодній сторонам теплообмінника, з вертикальним або горизонтальним виконанням;
- діапазон тиску: від вакууму до високих значень;
- у широких межах змінюються перепади тиску по обидва боки внаслідок великої різноманітності варіантів;
- задоволення вимог по термічним напруженням без істотного підвищення вартості апарату;
- розміри: від малих до гранично великих;
- можливість застосування різних матеріалів відповідно до вимог вартості, корозії, температурного режиму, тиску тощо;
- використання розвинених поверхонь теплообміну як всередині труб, так і зовні, різних інтенсифікаторів, оребрення тощо;
- можливість вилучення пучка труб для очищення та ремонту.

Горизонтальні теплообмінники виготовляються, зазвичай, багатоходовими 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 [6].

Якщо середня різниця температур труб і кожуха в теплообмінниках жорсткої конструкції (з нерухомими, привареними до корпусу трубними решітками) стає значною ( $50^\circ\text{C}$  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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

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 [4].

Розрахунок кожухотрубного теплообмінника, як і любого іншого теплообмінного апарату, включає визначення необхідної поверхні теплопередачі, вибір типу апарату і нормалізованого варіанта конструкції, які відповідають заданим технологічним умовам оптимальним чином [2, 6].

Необхідну поверхню теплопередачі визначають із основного рівняння теплопередачі [1]:

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

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

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

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

$Q$  – теплове навантаження, Вт.

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої стінки або при великому радіусі її кривизни ( $d_B / d_H > 0,5$ ) складе [1]:

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

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

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

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

Середня різниця температур при прямотоці або протитоці теплоносіїв дорівнює [1]:

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

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

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

Якщо агрегатний стан теплоносіїв не змінюється [1]:

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

При конденсації насичених парів без охолодження конденсату [1]:

$$Q = G \cdot r;$$

При конденсації насичених парів з охолодженням конденсату [1]:

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

де  $I_1$  – ентальпія перегрітої пари.

### 1.3 Опис кожухотрубного конденсатора та вибір основних конструкційних матеріалів

Основними елементами кожухотрубних теплообмінників (див. рис. 1.2) є пучки труб, трубні решітки, корпус, кришки, патрубки, перегородки і ущільнення. Кінці труб кріпляться в трубних решітках розвальцюванням, зварюванням і пайкою.

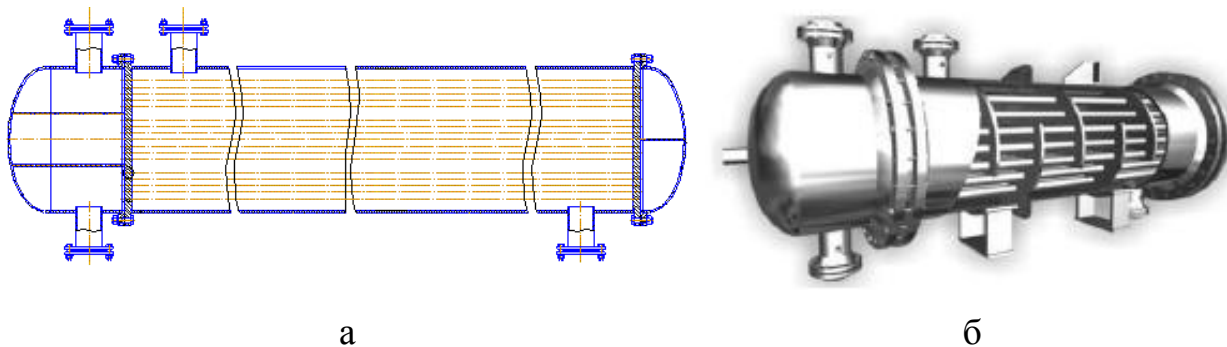


Рисунок 1.2 – Принципова схема (а) та модель (б) проектованого кожухотрубного теплообмінника-конденсатора

Трубки підганяються до двох трубних грат за допомогою вальцювання або зварювання. Трубки, що утворюють пучок, розташовуються в шаховому порядку, по вершинах рівностороннього трикутника.

Кришка і розподільна решітка є знімними і призначені для входу і виходу теплоносія, який тече по трубах (вода технічна). Міжтрубний і трубний простори поділяються. Етанол знаходиться в міжтрубному просторі, який також має вхідний і вихідний патрубки. Один із них відповідає за підведення робочого середовища, а інший – за його відведення.

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 багатходовим.

Вибір конструкційних матеріалів для виготовлення апарату проводився на підставі джерел [7–9]. У хімічній технології застосовуються теплообмінники, виготовлені з найрізноманітніших металів (вуглецевих і легованих сталей, міді, титану, танталу тощо), а також з неметалічних матеріалів, наприклад, графіту, тефлону і т. ін. Вибір матеріалу диктується в основному його корозійною стійкістю і теплопровідністю, причому конструкція теплообмінного апарату істотно залежить від властивостей вибраного матеріалу.

Наприклад, механічні властивості матеріалів, з яких виготовлена працююча апаратура, істотно змінюються при низьких і високих температурах. Гарна зварюваність металів також є одним із необхідних умов їх застосування, оскільки при сучасній технології хімічного апаратобудування основний спосіб виконання нероз'ємних з'єднань – це зварювання.

Головною ж вимогою до матеріалів хімічних апаратів, у більшості випадків, є їх корозійна стійкість, оскільки вона визначає довговічність хімічного обладнання.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

У нашому випадку вибір конструкційного матеріалу робимо виходячи з низької вартості і недефіцитності матеріалу, який може забезпечити ефективну технологію виготовлення виробу.

Для виготовлення корпусу, фланців, розподільних камер, а також деталей, що працюють під тиском раціонально використовувати сталь 09Г2С ГОСТ 19282-89 (замінники: сталь 09Г2, сталь 09Г2ДТ, сталь 09Г2Т, сталь 10Г2С).

Вид поставки (сортамент): фасонний прокат (квадрат г/катаний ГОСТ 2591-88, коло г/катане ГОСТ 2590-2006), листовий прокат (лист товстий г/катаний ГОСТ 19903-90, лист тонкий х/катаний ГОСТ 19904-90, смуга ГОСТ 103-2006), профільний прокат (швелер г/катаний ГОСТ 8240-97, балка двотаврова г/катана ГОСТ 8239-89).

Основні фізико-механічні властивості сталі 09Г2С приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості сталі 09Г2С

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

Для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, кріпильних деталей (болти, шпильки, гайки), панелей, підстав, кронштейнів, кутників, ребер жорсткості використовуємо сталь 20 ГОСТ 1050-88 (замінники: сталь 15, сталь 25).

Вид поставки (сортамент): фасонний прокат (шестигранник калібрований ГОСТ 8560-88, квадрат г/катаний ГОСТ 2591-2006, коло г/катане ГОСТ 2590-2006, коло каліброване, х/катане ГОСТ 7417-75), листовий прокат (лист товстий г/катаний ГОСТ 19903-90, лист тонкий х/катаний ГОСТ 19904-90).

Основні фізико-механічні властивості сталі 20 приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості сталі 20

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	74000
Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850
Межа міцності $\sigma_B$ , МПа	не менше 420
Межа текучості $\sigma_T$ , МПа	не менше 250
Відносне звуження $\psi$ , %	40
Відносне подовження $\delta$ , %	16
Твердість по Брінеллю, НВ	156
Зварюваність	без обмежень (крім хіміко-термічно оброблених деталей)

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апарату використовуємо пароніт. Це листовий прокладочний матеріал, виготовлений пресуванням асбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

Застосовується для ущільнення з'єднань, що працюють у середовищах: води і пара з тиском 5 МН/м<sup>2</sup> і температурою +450°C; нафти і нафтових продуктів при температурах 200–400 °С і тиску 7–4 МН/м<sup>2</sup> відповідно; рідкого і газоподібного кисню, етилового спирту тощо. Для підвищення механічних властивостей пароніта у деяких випадках його армують металевою сіткою (феррон).

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

### 2.1 Технологічні розрахунки

Використовувана методика для виконання технологічного розрахунку теплообмінного апарату наведена у [6]. Результатом завершення технологічного розрахунку є визначення необхідної поверхні теплопередачі.

Відповідно до вихідних даних, що вказані у завданні до кваліфікаційної роботи, етанол надходить в апарат уже при температурі конденсації. Температура конденсації етанолу при тиску 2 атм. становить 86°C [10]. Тому теплове навантаження проектуваного конденсатора може бути визначено як:

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

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

$r_x$  – питома теплота конденсації етанолу при  $p_k = 2$  атм., кДж/кг [10].

$$Q = \left( \frac{9000}{3600} \right) \cdot 830 = 2075 \text{ кВт.}$$

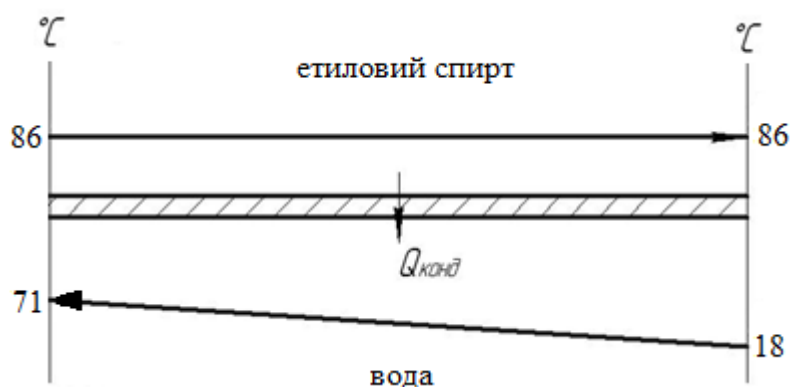


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу конденсації етилового спирту

Середня різниця температур  $\Delta t_{\text{ср}}$ :

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{о}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \left( \frac{\Delta t_{\text{о}}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)}, \quad (2.2)$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16



де  $\Delta t_6$  і  $\Delta t_M$  – більша і менша різниці температур, °С.

$$\Delta t_M = 86 - 71 = 15^\circ\text{C}; \Delta t_6 = 86 - 18 = 68^\circ\text{C}.$$

Кінцева температура води технічної приймається відповідно до рекомендацій [6] нижче температури гарячого теплоносія на 5–15°С. Таким чином, приймаємо 15°С.

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{68 - 15}{2,3 \cdot \lg\left(\frac{68}{15}\right)} = 35^\circ\text{C}.$$

Витрату охолоджуючої води знаходимо з рівняння теплового балансу (оскільки температури теплоносіїв близькі до температури навколишнього середовища, втратами тепла можна знехтувати):

$$G_B = \frac{Q}{c_B \cdot (t_{\text{KB}} - t_{\text{HB}})}, \quad (2.3)$$

де  $c_B$  – теплоємність води при усередненій температурі, кДж/(кг·К) [10].

$$G_B = \frac{2075}{4,2 \cdot (71 - 18)} = 9,3 \text{ кг/с}.$$

Орієнтовно необхідна поверхня теплообміну складе:

$$F_B = \frac{Q}{K_{\text{ор}} \cdot \Delta t_{\text{сер}}}, \quad (2.4)$$

де  $K_{\text{ор}}$  – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі для конденсаторів (приймається в діапазоні 300÷800 Вт/(м<sup>2</sup>·К) згідно рекомендацій [11]).

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$F_B = \frac{2075 \cdot 10^3}{700 \cdot 35} = 84,7 \text{ м}^2.$$

Попередньо вибираємо стандартизований кожухотрубний теплообмінник із наступними параметрами: поверхня теплообміну 95 м<sup>2</sup>; діаметр кожуха 800 мм; теплообмінні труби Ø25×2,5 мм, довжиною 3000 мм; число ходів по трубах 4; загальна кількість труб 404 шт.; площа перерізу одного ходу по трубах 0,011 м<sup>2</sup>.

Швидкість води технічної у трубах теплообмінника:

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{\text{тр}}}, \quad (2.5)$$

де  $\rho_B$  – щільність води при усередненій температурі, кг/м<sup>3</sup> [10].

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{\text{тр}}} = \frac{9,3}{995 \cdot 0,011} = 0,85 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для теплоносія у трубах:

$$\text{Re}_B = \frac{w_B \cdot (d - 2s) \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (2.6)$$

де  $d$  і  $s$  – діаметр і товщина стінки теплообмінних труб відповідно, м;  
 $\mu_B$  – динамічний коефіцієнт в'язкості води при усередненій температурі, Па·с [10].

$$\text{Re}_B = \frac{0,85 \cdot (25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3} \cdot 995}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 28192$$

Критерій Прандтля для теплоносія у трубах:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$\text{Pr}_B = \frac{c_6 \cdot \mu_6}{\lambda_6}, \quad (2.7)$$

де  $\lambda_B$  – коефіцієнт теплопровідності води при усередненій температурі, Вт/(м·К) [10].

$$\text{Pr}_B = \frac{4,3 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{0,63} = 4,1$$

Оскільки критерій  $Re > 10000$ , то режим розвинений турбулентний. Тепловіддача при цьому режимі в прямих трубах і каналах описується критеріальним рівнянням [11]:

$$Nu_B = 0,021 \cdot \varepsilon_1 Re_B^{0,8} \text{Pr}_B^{0,43} \left( \frac{\mu_2}{\mu_{ct2}} \right)^{0,25} \quad (2.8)$$

де  $Nu_B$  – критерій Нусельта, який характеризує інтенсивність переходу теплоти на кордоні стінка-потік холодного теплоносія;  
 $\varepsilon_1$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив на коефіцієнт тепловіддачі відношення довжини труби до його діаметру;  
 $(\mu_2/\mu_{ct2})^{0,25}$  – множник, який враховує напрямок теплового потоку (відповідно до рекомендацій [11]:  $(\mu_2/\mu_{ct2})^{0,25}=1$ ).

$$Nu_B = 0,021 \cdot 1 \cdot 28192^{0,8} \cdot 4,1^{0,43} \cdot 1 = 140$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки потоку холодного теплоносія [11]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{d - 2s}; \quad (2.9)$$

$$\alpha_2 = \frac{140 \cdot 0,63}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} = 4410 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

Коефіцієнт тепловіддачі від потоку етанолу, що конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника [11]:

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_x^3 \cdot \rho_x^2 \cdot r_x' \cdot g}{\mu_x \cdot \Delta t \cdot d}} \quad (2.10)$$

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

$\varepsilon_t$  – поправний коефіцієнт, що враховує залежність фізичних властивостей конденсату від температури;

$\lambda_x$  – коефіцієнт теплопровідності конденсату, Вт/(м·К);

$\rho_x$  – густина конденсату, кг/м<sup>3</sup>;

$r_x'$  – сума теплоти конденсації і перегріву етилового спирту, Дж/кг. Оскільки етиловий спирт надходить в апарат при температурі конденсації,  $r_x' = 830$  Дж/кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\mu_x$  – динамічний коефіцієнт в'язкості конденсату, Па·с;

$\Delta t$  – різниця температур конденсату і поверхні стінки, К.

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,16^3 \cdot 730^2 \cdot 830 \cdot 9,81}{46 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 870 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі від етилового спирту, що конденсується, через розділяючу стінку воді технічній:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.11)$$

де  $\lambda_{cm}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб, Вт/(м·К).

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$K = \frac{1}{\frac{1}{870} + \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{46,5} + \frac{1}{4410}} = 699 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Фактична поверхня теплообміну буде становити:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}}; \quad (2.12)$$

$$F_{\phi} = \frac{2075 \cdot 10^3}{699 \cdot 35} = 84,8 \text{ м}^2.$$

Остаточно приймаємо кожухотрубний конденсатор з такими характеристиками: діаметр кожуха 800 мм; теплообмінні труби  $\text{Ø}25 \times 2,5$  мм, довжиною 3000 мм; число ходів по трубах 4; загальна кількість труб 404 шт.; поверхня теплообміну  $95 \text{ м}^2$ ; площа перерізу одного ходу по трубах  $0,011 \text{ м}^2$ .

Коефіцієнт запасу поверхні теплообміну буде дорівнювати:

$$\chi = \left(1 - \frac{F_{\phi}}{F}\right) \cdot 100\%; \quad (2.13)$$

$$\chi = \left(1 - \frac{84,8}{95}\right) \cdot 100\% = 10,7\%$$

Отриманий запас поверхні знаходиться в межах допустимих значень для нормальної роботи теплообмінного обладнання.

Діаметри штуцерів теплообмінника для підведення та відведення теплоносіїв:

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

де  $V$  і  $G$  – об'ємна і масова витрати рідини (пари) відповідно, м<sup>3</sup>/с і кг/с;  
 $\rho$  – густина потоку середовища, кг/м<sup>3</sup>;  
 $w$  – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв приймаємо у відповідності до [11].

Діаметр штуцера для входу парів етанолу:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 9000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 10}} = 0,3 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу конденсату етанолу:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 9000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 730 \cdot 1,5}} = 0,05 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для входу води технічної:

$$d_{ex} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,3}{3,14 \cdot 998 \cdot 2}} = 0,077 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу води технічної:

$$d_{вых} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,3}{3,14 \cdot 978 \cdot 2}} = 0,078 \text{ м.}$$

Приймаємо в проектуваному кожухотрубному конденсаторі наступні штуцера: для входу парів етанолу  $D_y = 300$  мм; для виходу конденсату етанолу  $D_y = 50$  мм; для входу і виходу води технічної  $D_y = 80$  мм.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2.3 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічні розрахунки теплообмінника виконуємо у відповідності до методики, що представлена у [12].

Повний гідравлічний опір теплообмінника:

$$\Delta P = \Delta P_{mp} + \Delta P_m = \left( \lambda \cdot \frac{L}{d - 2s} + \sum \xi_m \right) \cdot \frac{w_g^2 \cdot \rho_g}{2} \quad (2.15)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя;

$\xi_m$  – коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в гідравлічно шорстких трубах:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d - 2s} + \frac{68}{Re_B} \right)^{0,25} \quad (2.16)$$

де  $\Delta$  – 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.

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{28192} \right)^{0,25} = 0,1645$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в апараті:

$$\sum \xi_m = 2 \cdot \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 \cdot (z - 1) \quad (2.17)$$

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

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

$$\Delta P = \left( 0,1645 \cdot \frac{3000 \cdot 10^{-3}}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + 12,5 \right) \cdot \frac{0,85^2 \cdot 995}{2} = 11085 \text{ Па} \approx 11,1 \text{ кПа.}$$

## 2.4 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання

**Розрахунок і вибір холодильника [11].** Відповідно до технологічної схеми (див. рис. 1.1), частина сконденсованого етанолу у вигляді флегми повертається в колону, а друга його частина надходить у холодильник для охолодження. Якраз холодильник і призначений для додаткового охолодження етилового спирту до 25°C.

Таким чином, теплове навантаження холодильника становить:

$$Q_x = G_x \cdot c_x \cdot (t_1 - t_2), \quad (2.18)$$

де  $c_x$  – питома теплоємність етанолу,  $c_x = 2,45 \text{ кДж/(кг·К)}$  [10].

$$Q_x = \frac{3000}{3600} \cdot 2,45 \cdot (86 - 25) = 125 \text{ кВт.}$$

Розрахункова поверхня теплопередачі холодильника:

$$F_P = \frac{Q_x}{K \cdot \Delta t}, \quad (2.19)$$

де  $K$  – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі холодильників,  $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  [10];

$\Delta t$  – різниця між температурами конденсації етилового спирту (86°C) і охолоджуючої води із градирні (5°C).

$$F_P = \frac{125 \cdot 10^3}{60 \cdot (86 - 5)} = 25,7 \text{ м}^2.$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24



Вибираємо стандартизований кожухотрубний холодильник з наступними характеристиками: поверхня теплообміну  $31,0 \text{ м}^2$ , внутрішній діаметр кожуха 400 мм, довжина труб 4000 мм, сортамент труб  $\text{Ø}25 \times 2$  мм, число ходів по трубах 2.

**Розрахунок і вибір збірника для етилового спирту [13].** Ємність для зберігання етилового спирту розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, та з урахуванням коефіцієнта заповнення 0,85.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\text{CP}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.20)$$

де  $G = 3000 \text{ кг/год.}$  – загальна витрата конденсату;

$\tau = 6 \text{ год.}$  – резерв робочого часу;

$\rho = 780 \text{ кг/м}^3$  – густина етилового спирту при температурі  $25^\circ\text{C}$ .

$$V_{\text{CP}} = \frac{3000 \cdot 6}{0,85 \cdot 780} = 27,1 \text{ м}^3.$$

Задаємося стандартизованим діаметром ємності  $D = 2,8 \text{ м}$ , тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{\text{CP}}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.21)$$

$$H = \frac{27,1}{0,785 \cdot 2,8^2} = 4,4 \text{ м.}$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки корпусу апарату та кришки [14]

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручне дугове електрозварювання), напруження для сталі 09Г2С при температурі 86°C:

$$\sigma^* = 172,5 \text{ МПа}$$

Тиск, який створює етиловий спирт у міжтрубному просторі:

$$p_p = 0,2 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустиме напруження на краю сполучених елементів:

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

Для листового матеріалу допустиме напруження 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 09Г2С при температурі 20°C:

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ МПа}$$

Пробний тиск при випробуваннях і при допустимому напруженні:

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

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

Приймаємо прибавку до розрахункової товщині за весь термін служби апарата (а це 10 років)  $c = 2,0$  мм.

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

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

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

Виконавча товщина стінки кожуха:

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

$$S = 0,87 + 2 = 2,87 \text{ мм.}$$

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

Розрахункова товщина еліптичного днища:

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

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

Приймаємо також  $S_E = 4,0$  мм.

### 3.2 Розрахунок сідлової опори [14]

Знаходимо масу обичайки кожуха:

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

де  $\rho$  – щільність сталі,  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup>.

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7900 = 240 \text{ кг}.$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно:

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

$$m_{\text{Едн}} = m_{\text{Екр}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7900 = 25 \text{ кг}.$$

Маса труб:

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

$$m_{\text{тр}} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,02^2) \cdot 3 \cdot 404 \cdot 7900 = 1690 \text{ кг}.$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Маса фланця з решіткою:

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

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

$h_{\phi}$  – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,945^2}{4} \cdot 0,09 \cdot 7900 = 500 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

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

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

При половинному завантаженні маса етилового спирту в апараті складе:

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

$$m_x = 0,9 \cdot 735 \cdot 0,5 = 330 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння конденсатора в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_{\kappa} + m_{\text{Еон}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{тр}} + m_{\phi} + m_x); \quad (3.13)$$

$$G = 9,81 \cdot (240 + 25 + 25 + 1690 + 500 + 330) = 27566 \text{ Н.}$$

Приймаємо кількість опор  $n = 2$  шт.

Таким чином, навантаження на одну опору буде становити:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

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

$$Q = \frac{27566}{2} = 13783 \text{ Н.}$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 160-432-2, яка має допустиме навантаження 160 кН і радіус  $R=432$  мм (схема сідлової опори див. рис. 3.1).

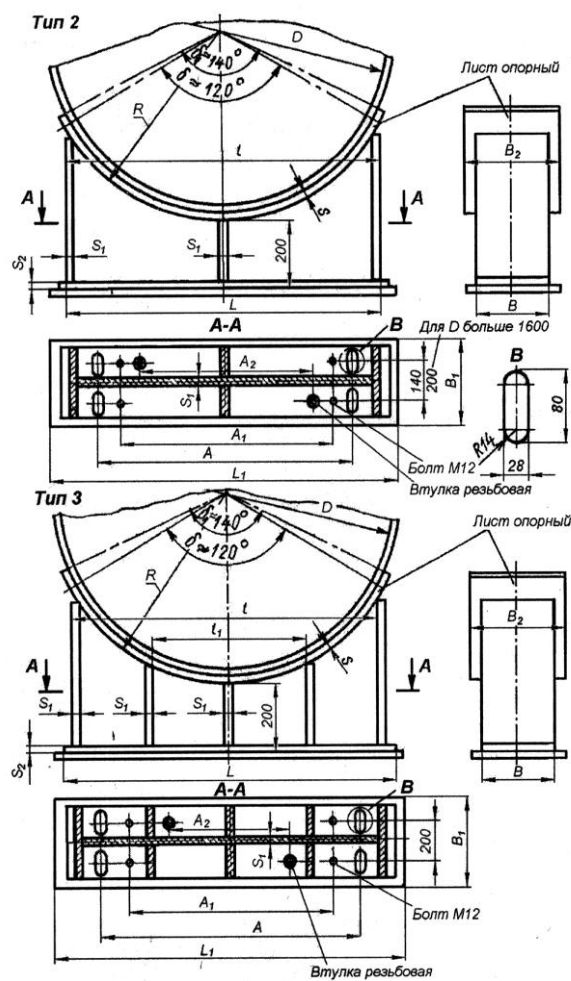


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема сідлової опори

## 4 Монтаж та ремонт апарату

### 4.1 Монтаж апарату [15]

Конденсатор етилового спирту 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.

Більшість таких теплообмінних апаратів постачаються уже в готовому до монтажу вигляді. Кожухотрубні апарати (так само як і ємнісне обладнання) монтують поточно-поєднаним способом. При укладанні зварних апаратів на опори стежать за тим, щоб усі зварні шви були доступні для огляду, обстукування молотком при огляді, а також для ремонту.

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 або за допомогою геодезичних інструментів. Допустимі відхилення апаратів від вертикалі становлять 0,2 мм, по горизонталі – 0,5 мм на 1 м.

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

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 у залежності від розміру і маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту під обладнання, наявності розташованих поруч будівельних конструкцій тощо.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів (рис. 4.1).

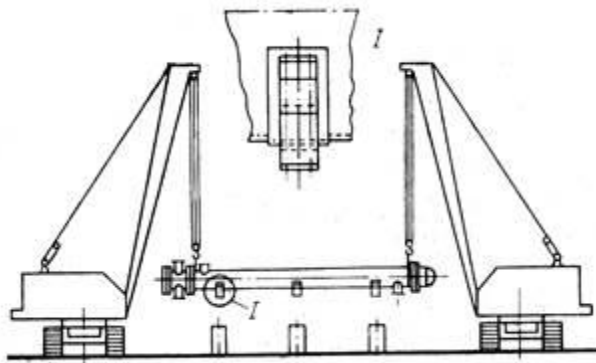


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального конденсатора за допомогою двох кранів

Монтаж починають із підйому апарату із вихідного горизонтального положення без відриву його від землі. 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 апарату [16]

Теплообмінники з 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 тонкі стінки трубок, осідаючи на них і перешкоджаючи вільному потоку. Уникнути передчасного виходу обладнання із ладу і зберегти енергоефективність дозволить регулярне чищення трубок. Завдяки систематичному промиванню можливо довгострокове підтримання робочих параметрів у нормі. Безпосередньо ж ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зносу обладнання.

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є:

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

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

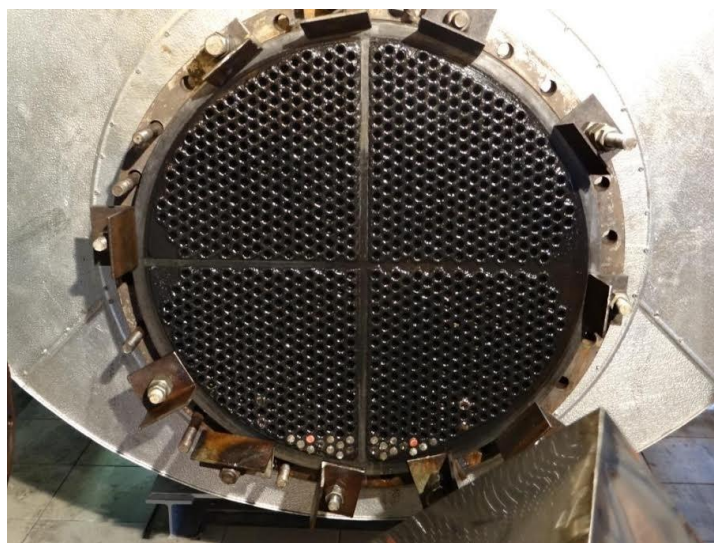


Рисунок 4.2 – Кожухотрубний теплообмінник з вирваними трубками

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

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

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



Рисунок 4.3 – Кожухотрубний теплообмінник з корозією трубок

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

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.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>34</b>

3) Наскрізна корозія корпусу або камер. Дана проблема, також як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубок. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери (корпусу).

4) Засмічення по трубках або по міжтрубному просторі. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв НЕ фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (при роботі з вихлопними газами).

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

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

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

5) Покриття вапном (накипом) або іншими відкладеннями міжтрубного простору або самих трубок. 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.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

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.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

## 5 Охорона праці

### Причини виробничого травматизму, методи його аналізу, показники травматизму

Під терміном «травматизм» розуміють поширеність травм серед певної групи людей, що знаходяться в однакових умовах праці, побуту або життя. Для попередження травматизму вивчають причини та обставини виникнення травм, їх частоту і характер пошкоджень, психологічні особливості людей і фактори, які зумовлюють нещасні випадки. Важливість питання травматизму обумовлена тим, що близько 6 % усього населення протягом року отримує якесь пошкодження тіла [17].

Розрізняють наступні види травматизму [17]:

- виробничий (промисловий і сільськогосподарський);
- травматизм по дорозі на роботу і з роботи, а також при виконанні громадських доручень або громадських обов'язків;
- невиробничий травматизм – дорожньо-транспортний, вуличний, спортивний, дитячий, побутовий;
- кримінальний (навмисний);
- військовий.

Поділ травматизму обумовлено необхідністю вивчення особливостей травм і закономірностей їх виникнення, а також оплатою потерпілому за листком непрацездатності або призначенням пенсії в разі інвалідності. Травми можуть бути без втрати працездатності і втрати її. Однак, щоб попередити виникнення травм, реєструють і вивчають усі без винятку нещасні випадки [17].

Виробничий травматизм іноді поділяють у залежності від галузі промисловості [17]:

- гірничорудний;
- машинобудівний;
- текстильний і т.д.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

У кожній галузі виробництва є свої особливості технологічного процесу і характер травм незалежно від географічного регіону. Тому профілактичні заходи, що виконуються в одному місці, можуть бути втілені на інших типових підприємствах. Так, в металорізальній і автобусобудівній промисловостях найчастіше зустрічаються мікротравми і рани, особливо кистей рук; гірничодобувній – забії тканин і переломи кісток різної локалізації; у сільському господарстві – удари і поранення переважно верхніх кінцівок [17].

Причини промислового і сільськогосподарського виробничого травматизму [18]:

1. Організаційні – недостатні навчання та інструктаж робітників з техніки безпеки, неправильна організація праці та порушення технологічного процесу, незабезпечення робочих індивідуальними і колективними засобами безпеки, недостатній нагляд за дотриманням правил безпеки і т. д.
2. Матеріально-технічні – пов'язані з використанням несправного обладнання та інструментарію, машин і механізмів, а також недосконалістю їх конструкцій.
3. Санітарно-гігієнічні – засмічення, недостатнє або надмірне освітлення і вентиляція робочого місця, надзвичайно низька або висока температура повітря в робочій зоні і т.п.
4. Особисті, пов'язані з психологічним і фізичним станом людини (недостатня кваліфікація, хронічні хвороби, психічна або фізична перевтома, зловживання алкогольними напоями і т.д.).

Розслідування кожного нещасного випадку на місці дозволяє виявити дійсну причину і конкретні обставини травми. Близько 40 % робочих травмуються через неуважність під час роботи, 30–35 % – у результаті порушення технології, правил техніки безпеки. Матеріально-технічні причини складають близько 10 %, санітарно-гігієнічні – 8 % усіх нещасних випадків [17].

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>38</b>

Усі профілактичні заходи спрямовують на усунення причини травматизму: це компетенція адміністрації та профспілкової організації підприємства. На великих підприємствах створюють спеціальні штатні відділи по техніці безпеки, які вивчають усі питання виробничого травматизму та контролю за виконанням рекомендованих профілактичних заходів [18].

На невеликих підприємствах, у сільських господарствах є посада інженера з техніки безпеки, а іноді виконання цих обов'язків покладено на головного інженера [17].

Значну роль у профілактиці травматизму грають медичні працівники пунктів охорони здоров'я, травматологи поліклінік, переважно лікарі з гігієни праці санепідстанцій, що мають адміністративні повноваження. Координацію роботи щодо профілактики травматизму та лікування травм здійснює головний травматолог районної лікарні. Медичні працівники повинні проводити медичні огляди, санітарний державний нагляд, вивчати шкідливі умови праці, виявляти випадки приховування виробничої травми, давати трудові рекомендації, брати активну участь в роботі комісії по травматизму і відділів техніки безпеки при аналізі травматизму і складання планів з охорони праці та техніки безпеки [18].

Для проведення повноцінного аналізу виробничого травматизму всі нещасні випадки реєструють в спеціальному журналі. При складанні звіту про виробничий травматизм (квартального, піврічного, річного) в основному підраховують показники частоти і тяжкості травм, середню кількість днів непрацездатності за окремими видами пошкоджень, питому вагу травматизму серед усіх захворювань колективу підприємства [17].

Для аналізу виробничого травматизму застосовують три основні методи: статистичний, монографічний і економічний.

Статистичний метод заснований на вивченні причин травматизму за документами, реєструючим нещасні випадки (акти за формою Н-1, листки непрацездатності) за певний період часу. Цей метод дозволяє визначити

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

порівняльну динаміку травматизму по окремим галузям, підприємствам, цехам і ділянкам одного підприємства і виявити закономірності зростання або зниження травматизму.

Для оцінки рівня травматизму користуються відносними статистичними показниками частоти і тяжкості травматизму.

В Україні у якості показника частоти травматизму приймається число нещасних випадків, що припадає на тисячу працюючих за певний календарний період [19]:

$$K_q = (T \cdot 1000) / P, \quad (5.1)$$

де  $T$  – число нещасних випадків за цей період;

$P$  – середньооблікова кількість працюючих за той же період.

У якості показника тяжкості травматизму приймається середня тривалість непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок [19]:

$$K_T = D / T, \quad (5.2)$$

де  $D$  – сумарне число днів непрацездатності за всіма нещасними випадками за даний період.

При поглибленому статистичному аналізі травматизму крім виявлення безпосередніх причин травматизму проводиться також аналіз нещасних випадків за характером впливу на організм людини, за видами робіт, аналізуються відомості про постраждалих (професія, стаж, вік, стать) і дані про час події (місяць року, день тижня, зміна, година робочого дня) [19].

Статистичні методи передбачають наступні етапи дослідження: спостереження, накопичення статистичного матеріалу і обробку (аналіз), отриманих даних з наступними висновками і рекомендаціями. Аналіз статистичного матеріалу, згрупованого в табличні зведення, стає більш наочним при графічному його зображенні у вигляді діаграм і графіків [19].

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Різновидом статистичного методу є груповий і топографічний. Груповий метод вивчення травматизму заснований на повторюваності нещасних випадків незалежно від тяжкості ушкодження. Наявний матеріал розслідування розподіляється по групах з метою виявлення нещасних випадків, однакових за обставинами, що відбулися при однорідної обстановці на однорідному обладнанні, а також повторюваних за характером пошкоджень. Це дозволяє визначити професії та роботи, на які падає більше число нещасних випадків, виявити дефекти даного виду виробничого обладнання та намітити шляхи його модернізації з метою забезпечення безпеки праці. Топографічний метод полягає у вивченні причин нещасних випадків за місцем їх пригоди. Усі нещасні випадки систематично наносяться умовними знаками на плани цехів, у результаті чого наочно видно місця травматизму, виробничі ділянки, які потребують особливої уваги, ретельного обстеження і вживання профілактичних заходів [19].

Статистичні методи дослідження дають можливість отримати загальну картину стану травматизму, встановити його динаміку, виявити певні зв'язки і залежності. Однак при цьому не вивчаються поглиблено виробничі умови, в яких відбулися враховані нещасні випадки.

Монографічний метод вивчення травматизму включає в себе детальне дослідження всього комплексу умов, в яких стався нещасний випадок: трудовий і технологічний процеси, робоче місце, основне і допоміжне обладнання, оброблювані матеріали, індивідуальні захисні засоби, загальні умови виробничої обстановки і т.д. При монографічному аналізі певної ділянки виробництва широко застосовують також технічні методи дослідження (випробування обладнання, контроль виробничого середовища та ін.). У результаті такого дослідження виявляються не тільки причини відбух нещасних випадків, а й, що особливо важливо, потенційні небезпеки і шкідливості, які можуть зробити шкідливий вплив на працюючих [19].

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

Монографічний аналіз дає можливість найбільш повно встановити способи попередження травматизму і професійних захворювань.

Економічний метод полягає у визначенні економічного збитку від виробничого травматизму, а також в оцінці ефективності витрат, спрямованих на запобігання нещасним випадкам, з метою оптимального розподілу коштів на заходи з охорони праці [19].

Поряд із традиційними методами аналізу травматизму можна відзначити деякі нові напрямки, характерні для дослідження умов безпеки праці та попередження виробничого травматизму.

Системний підхід до вирішення проблеми безпеки праці передбачає вивчення повної сукупності факторів, що впливають на умови праці, на всіх стадіях виробничого процесу. При цьому використовуються комплексні методи дослідження, які поєднують у собі розглянуті вище методи. Наприклад, результати монографічного дослідження окремих нещасних випадків за тривалий період часу можуть бути використані для статистичного аналізу [19].

Для більш повного і правильного уявлення про стан безпеки праці на окремих підприємствах використовуються питомі показники виробничого травматизму, звані коефіцієнтами.

Коефіцієнт частоти травматизму  $k_{\text{ч}}$  характеризує число нещасних випадків на виробництві за певний проміжок часу (зазвичай за рік) і розраховується за формулою [20]:

$$k_{\text{ч}} = (A_{\text{ЗАГ}} / B) \cdot 1000, \quad (5.3)$$

де  $A_{\text{ЗАГ}}$  – загальне число прийнятих до обліку нещасних випадків за звітний період (включаючи випадки переведення на легшу роботу);

$B$  – середньооблікова кількість працюючих на підприємстві.

Коефіцієнт тяжкості травматизму  $k_{\text{Т}}$  оцінює середню тривалість непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок з тимчасовою

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

втратою працездатності (при розрахунку даного коефіцієнта не враховуються нещасні випадки зі смертельними наслідками та важкі нещасні випадки, що призвели до інвалідності) і розраховується за формулою [20]:

$$k_T = D / N, \quad (5.4)$$

де  $D$  – загальна кількість випадків тимчасової непрацездатності за всіма травмованими;

$N$  – кількість травмованих з тимчасовою втратою працездатності.

Даний показник не дозволяє цілком об'єктивно характеризувати тяжкість травматизму, оскільки не враховує нещасні випадки зі смертельними наслідками та зі стійкою втратою працездатності.

Коефіцієнт смертності  $k_{CM}$  обчислюється за формулою [20]:

$$k_{CM} = (N_C / B) \cdot 1000, \quad (5.5)$$

де  $N_C$  – число потерпілих зі смертельним результатом за звітний період.

Крім того, у ряді випадків для обліку економічних втрат використовується показник матеріальних наслідків, що розраховується за формулою [20]:

$$k_E = (M_{II} / B) \cdot 1000, \quad (5.6)$$

де  $M_{II}$  – матеріальні наслідки від нещасних випадків за звітний період.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

## Список літератури

1. Воронін Л. Г. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів : Навчальний посібник / Л. Г. Воронін, А. Р. Степанюк, Л. І. Ружинська. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 68 с.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» «Розрахунок кожухотрубного теплообмінника-підігрівача» для студентів III-IV курсів усіх форм навчання та спеціальностей / Укл. : О. С. Смірнова, С. О. Опарін, А. А. Біла. – Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2008. – 38 с.
3. Таранова Л. В. Теплообменные аппараты и методы их расчета : Учебное пособие / Л. В. Таранова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. – 198 с.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
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. Зайцева Т. М. Ректифікаційна установка. Розробити кожухотрубний конденсатор етанолу : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 6.133 – галузеве машинобудування / Т. М. Зайцева; наук. керівник Р.О. Острога. – Суми : СумДУ, 2020. – 48 с.
7. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
8. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
9. 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.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

10. 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.

11. 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.

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

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

14. 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.

15. Монтаж основних апаратів і допоміжного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://stroy-spravka.ru/article/montazh-osnovnykh-apparatov-i-vspomogatelnogo-oborudovaniya>

16. Фармазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фармазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

17. Травматизм, причины травматизму, виробничий травматизм, профілактика травматизму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.2gdp.by/informatsiya/sovety-dlya-patsientov/1081-travmatizm-prichiny-travmatizma-proizvodstvennyj-travmatizm-profilaktika-travmatizma>

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Причини виробничого травматизму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sop.com.ua/article/ru/875-prichiny-proizvodstvennogo-travmatizma>

19. Правові та організаційні питання охорони праці в машинобудуванні. Методи аналізу виробничого травматизму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ohrana-bgd.narod.ua>

20. Основні показники виробничого травматизму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://studref.com/422598/bzhd/osnovnye\\_pokazateli\\_proizvodstvennogo\\_travmatizma](https://studref.com/422598/bzhd/osnovnye_pokazateli_proizvodstvennogo_travmatizma)

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46