

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
етанолу. Розробити апарат повітряного охолодження для
конденсації парів етанолу

Виконав:
студент групи ХМдн-94р
Яндола Олександр Васильович

підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

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-94р Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Яндолі Олександрю Васильовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві етанолу.
Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів етанолу

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження типу АПГ для конденсації парів етанолу в кількості 28000 т/рік. Етанол потрапляє в апарат при температурі конденсації під тиском 0,25 МПа. Температуру атмосферного повітря прийняти 22°C.

Питання до розділу «Охорона праці»: Закон України «Про охорону праці».

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

1. Технологічна схема установки у виробництві етанолу – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик апарата повітряного охолодження – 1,0 арк.
3. Складальні кресленики секції теплообмінної та опори – 1,5 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.

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 2022 р.

Керівник

підпис

к.т.н. Острога Р.О.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки у виробництві етанолу	7
1.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів повітряного охолодження	8
1.3 Опис апарату повітряного охолодження (АПО) та вибір основних конструкційних матеріалів	15
2 Технологічні та проєктні розрахунки	19
2.1 Технологічні розрахунки	19
2.2 Конструктивні розрахунки	23
2.3 Гідравлічні розрахунки	27
2.4 Розрахунок та вибір допоміжного обладнання	28
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	33
4 Монтаж і ремонт АПО	37
4.1 Монтаж АПО	37
4.2 Ремонт АПО	39
5 Охорона праці	42
Література	47
Додатки	

Підп. і дата						Інв.№ дубл.									
Взам. інв.№						Підп. і дата									
Інв.№ підл						XI.T.00.00.00 ПЗ									
	Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Виробництво етанолу. Апарат повітряного Охолодження (АПО) Пояснювальна записка			Лім.		Лист		Листів		
	Розроб.	Яндола							к	р	б	4		48	
	Перев.	Острога													
	Т. контр.														
Н. контр.															
Затв.	Острога				СумДУ, ХМдн-94р										

Вступ

Етиловий спирт, також відомий як етанол, є одним з найбільш поширених і важливих хімічних сполук у світі. Він має широкий спектр застосувань у промисловості, медицині, харчовій промисловості, енергетиці та інших галузях. Етанол є безбарвною рідиною з характерним запахом. Він легко змішується з водою та багатьма органічними розчинниками. Основним джерелом етанолу є рослинна сировина, така як цукровий тростник, цукровий буряк, кукурудза, пшениця, ячмінь та інші біомаси [1].

Етанол має властивості розчинника і використовується у багатьох хімічних процесах та виробництвах. Він використовується для виробництва алкогольних напоїв, таких як пиво, вино та спиртні напої. Крім того, етанол є важливим компонентом у виготовленні лаків, розчинників, косметичних засобів, фармацевтичних препаратів та багатьох інших товарів [1].

Виробництво етилового спирту може проводитись за допомогою різних методів, але найпоширенішим є ректифікаційний. Ректифікаційний спосіб виробництва етанолу використовується для отримання високоочищеного етилового спирту з сировини, яка містить низькі концентрації спирту. Основним етапом цього процесу є дистиляція, яка відбувається у спеціальному приладі, який називається ректифікаційною (або фракціонуючою) колоною.

У галузях промисловості, де використання інших систем охолодження є неможливим або неефективним з економічної точки зору, використання повітряного охолодження є необхідним. Це особливо стосується промислових підприємств, розташованих далеко від природних водних джерел, які потребують охолодження технологічних рідин, парів і газів. Для цих цілей використовуються спеціальні теплообмінні установки, відомі як апарати повітряного охолодження (АПО). Хоча АПО зазвичай мають вищу вартість, ніж теплообмінники, які використовують воду для охолодження, вони мають значні переваги. Наприклад, використання повітряного охолодження дозволяє уник-

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата					
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ				Лист
									5

нути проблем, пов'язаних з корозією і забрудненням, що виникають при використанні охолоджувальної води. Крім того, це усуває ризик змішування води з технологічним середовищем, яке охолоджується [2, 3].

Даний кваліфікаційний проєкт виконано у відповідності до методичних вказівок [4] із представленням усіх регламентованих розділів.

Инв.№подл	Подп. и дата		Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Инв.№ инв.№	Подп. и дата	Инв.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
														6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки у виробництві етанолу

Технологічну схему ректифікаційної установки у виробництві етанолу представлено на рис. 1.1.

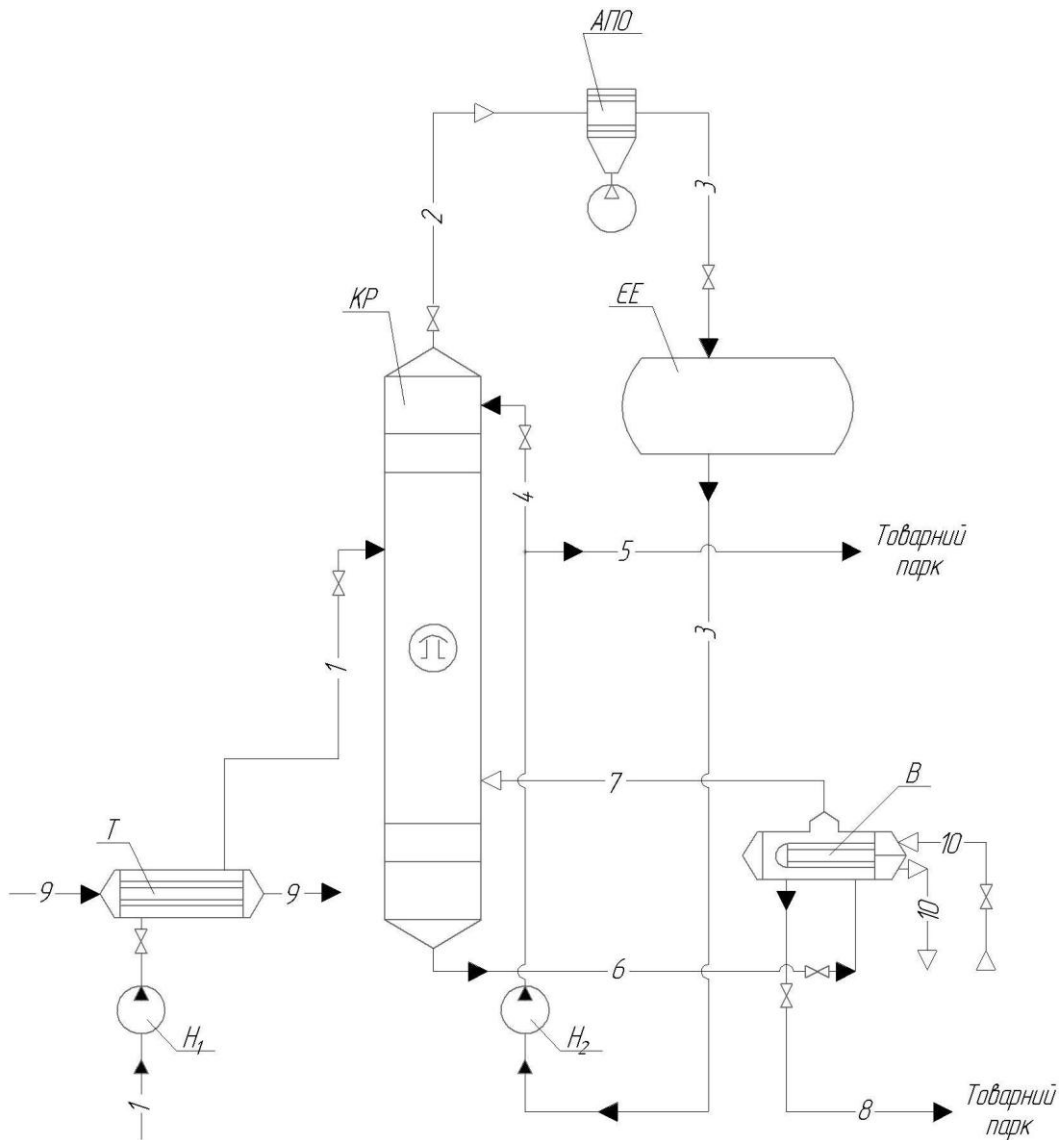


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві етанолу

Принцип роботи представленої установки полягає у наступному. Початкова бінарна суміш під дією тиску, створеного відцентровим насосом, пос-

Инва.№подл	Подп. и дата
Инва.№ дубл.	Инва.№ дубл.
Взам. инв.№	Взам. инв.№
Подп. и дата	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
----	------	----------	-------	------

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист
7

тупає до теплообмінника-підігрівача. Тут вона підігрівається до температури кипіння завдяки теплу насиченої водяної пари, яка при цьому конденсується у проміжному просторі теплообмінника.

Після підігріву суміші до температури кипіння вона поступає до живильної секції атмосферної ректифікаційної колони. На тарілці живлення колони склад рідини відповідає складу початкової суміші. У результаті паро-рідинної взаємодії відбувається розділення суміші на два складових компонента – важколетючий і легколетючий. Таким чином, із нижньої частини колони відводиться кубовий залишок, який спрямовується до теплообмінника-випарника. Частина кубового залишку випаровується, що забезпечує парове зрошення колони.

У верхній частині ректифікаційної колони відбувається процес збагачення парою легколетючого компонента (у нашому випадку це етанол). Пари етанолу покидають колону через верхній штуцер і спрямовуються у трубний простір апарату повітряного охолодження, де відбувається конденсація продукту за рахунок відведення тепла холодному повітрю, яке постійно циркулює за допомогою вентиляторів. Частина сконденсованого (рідкого) етанолу забирається за допомогою насосу і повертається до ректифікаційної колони для зрошення її верхньої частини (у вигляді флегми). Інша частина, відома як дистилат, направляється до товарного парку.

1.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів повітряного охолодження

АПО складаються з різних компонентів, які спільно забезпечують їх ефективну роботу. Вони включають в себе такі основні елементи [5]:

1. Теплообмінні секції мають ключове значення в апаратах повітряного охолодження. Теплообмінна поверхня складається з оребрених труб, які закріплені в трубних решітках. Труби розташовані в чотири, шість або вісім

Инд.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инд.№ дубл.	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист 8
----	------	----------	-------	------	------------------	-----------

рядів і зазвичай розміщені по вершинах рівностороннього трикутника. Це розташування забезпечує більш ефективний теплообмін. Крім того, кришки приєднані до трубних решіток і мають внутрішню порожнину, яка допомагає розподілити охолоджувальний потік рідини по трубах.

2. Осьовий вентилятор з приводом відповідає за створення потоку повітря через теплообмінні секції. Вентилятор зазвичай розташовується на осі апарата і має механічний привід, який забезпечує його рух.

3. Пристрої для регулювання витрати охолоджуючого повітря дозволяють контролювати і регулювати витрату охолоджуючого повітря. Вони гарантують оптимальну ефективність охолодження.

4. Для підтримки і фіксації компонентів апаратів повітряного охолодження використовуються опорні стійки, рами та інші конструкції. Вони забезпечують стійкість і надійність апарату під час його роботи.

Теплообмінні секції можуть бути розміщені горизонтально, вертикально або під кутом, що визначає тип апарату повітряного охолодження. Залежно від конкретних потреб і умов застосування, можуть бути використані різні варіації цих конфігурацій. Секції монтуються на рамі, яка підтримується опорними стійками апарату. Це забезпечує стабільну позицію і фіксує секції в потрібному положенні [3].

Опорні стійки також відповідають за підтримку ваги апарату і забезпечують його стійкість під час роботи. Огороджувальні конструкції використовуються для захисту апарату повітряного охолодження від зовнішніх впливів і небажаного доступу. Вони можуть включати обшивку, решітки або інші захисні елементи, які забезпечують безпеку та ефективну роботу апарату [3].

Охолодження та конденсація різних теплоносіїв за допомогою повітря могло бути невигідним з економічної точки зору, якби в трубних секціях були встановлені гладкі труби. Це пов'язано з низькою швидкістю охолоджуючого потоку, а також низькою густиною і теплопровідністю повітря, що призво-

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										9
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

дить до низьких значень коефіцієнтів тепловіддачі з боку повітря. Однак, низькі коефіцієнти тепловіддачі з боку повітря порівняно з коефіцієнтами для охолоджуваних або конденсованих рідин можуть бути частково компенсовані за рахунок розвитку поверхонь з боку повітря. Ця можливість виникає, якщо використовуються оребрені труби, чия зовнішня поверхня має площу, більшу в 10–25 разів, ніж площа їх внутрішньої поверхні [3, 5].

Отже, використання оребрених труб дозволяє збільшити площу теплообміну з повітрям, що частково компенсує низькі коефіцієнти тепловіддачі цього теплоносія. Це забезпечує більш ефективний процес охолодження та конденсації, необхідний для деяких промислових процесів із використанням повітряного охолодження.

Форма ребер може варіюватися і можуть використовуватися ребра для групування по дві, три або більше труб. Існує кілька способів виготовлення ребер. Наприклад, ребра можуть бути навиті вигнутими стрічками у формі спіралі навколо труби, або пластини круглої або прямокутної форми можуть бути запресовані у неглибокі пази на зовнішній поверхні труби. Інший метод включає приварювання або паяння ребер або стержнів до труби. Однак у всіх цих випадках спостерігається погіршення зчеплення ребра з поверхнею труби через корозію, особливо якщо ребра і труба виготовлені з різних матеріалів. Крім того, вказані методи монтажу ребер характеризуються високою складністю і вимагають багато робочих годин [3, 5].

Таким чином, у залежності від потреби і умов застосування, можуть бути використані різні форми і методи виготовлення ребер для досягнення оптимального зчеплення з поверхнею труби без проблем корозії і з врахуванням складності процесу монтажу.

На сьогоднішній день найбільш практичним і технологічно високим вважаються оребрені труби, які виготовляються з суцільної товстостінної труби. Зазвичай такі труби виготовляють з алюмінію або алюмінієвих сплавів і піддаються механічній обробці. Ребра нарізаються під час проходження труби через набір формуючих дисків. Метод оребрення труб шляхом попереч-

Инов.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инов.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
										10
					XI.T.00.00.00 ПЗ					
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

но-гвинтового накочування є високопродуктивним і добре піддається механізації та автоматизації. Оребрення за допомогою інших методів становить не більше 10–15 % загального обсягу виробництва. Таким чином, найбільш практичним і ефективним способом виготовлення оребрених труб на сьогодні є використання суцільних товстостінних труб з алюмінію або алюмінієвих сплавів, які піддаються механічній обробці шляхом проходження через формуючі диски за допомогою методу поперечно-гвинтового накочування [5].

Із урахуванням змінного характеру навантаження на апарат, який залежить від технологічного режиму, температури і вологості повітря, необхідно, щоб вентилятори мали можливість регулювання витрати повітря в широкому діапазоні. Регулювання процесу повітряного охолодження сприяє збереженню енергії та сировини, а також збільшенню терміну служби та надійності роботи апарату повітряного охолодження, що сприяє ефективному управлінню технологічним процесом. Найбільш значимою складовою експлуатаційних витрат апарату повітряного охолодження є електроенергія, яка використовується для приводу вентилятора. Завдяки раціональному регулюванню можлива економія електроенергії, яка може сягати до 60% від енергії, споживаної двигунами при номінальному тепловому навантаженні. Це дозволяє зменшити витрати на електроенергію і зберегти значну кількість ресурсів, що призводить до підвищення ефективності і довговічності роботи апарату повітряного охолодження [3].

Система регулювання повинна задовольняти технологічні вимоги незалежно від змінного режиму роботи вентилятора. Для досягнення цього регулювання витрати повітря може бути здійснене декількома способами:

Зміна витрати охолоджуючого повітря, яке подається до теплообмінних секцій. Це може бути досягнуто шляхом регулювання обсягу повітря, що поступає в апарат повітряного охолодження.

Шляхом поєднання різних методів регулювання, таких як зміна витрати повітря, підігрівання повітря, перепуск технологічного потоку та зволоження, досягається оптимальна ефективність апаратів повітряного охолодження.

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	11

ня. Це дозволяє знизити споживання електроенергії та забезпечити стабільну температуру на виході з апарату. Таке комбіноване регулювання в АПО є важливим фактором для забезпечення оптимальної ефективності та зниження витрат електроенергії. Воно дозволяє забезпечити стабільність технологічних процесів та підтримувати необхідні параметри температури з урахуванням зміни умов роботи. Такий підхід сприяє економічності та надійності функціонування АПО, а також забезпечує оптимальні умови для збереження енергії.

Для усталеного процесу, коли температури в подібних точках теплоносіїв не змінюються у часі, тепловий потік знаходять за рівнянням [6]:

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

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

$\Delta t_{\text{СЕР}}$ – середня різниця температур між теплоносіями, $^{\circ}\text{С}$;

F – площа поверхні теплопередачі, м^2 .

Рівняння (1.1) є основним кінетичним рівнянням процесу теплопередачі.

Розрахунок та вибір стандартизованого АПО здійснюється за величиною площі поверхні теплопередачі.

Поверхня теплопередачі розраховується за формулою [6]:

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

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої стінки або при великому радіусі її кривизни ($d_B / d_H > 0,5$) складе [6]:

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

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

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата					
					Лист				
					XI.T.00.00.00 ПЗ				
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	12				

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

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

Орієнтовні значення коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі наведені у таблицях [6].

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює [6]:

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

де Δt_B і Δt_M – відповідно 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 $t_{CEP} = (t_1 + t_2) / 2$ [6].

Для теплоносія, у якого $t_2 / t_1 > 2$ середню температуру розраховують за формулою [6]:

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

Для обчислення коефіцієнта тепловіддачі від теплоносія до внутрішніх стінок трубок використовується залежність [7]:

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot \frac{\lambda_g}{d_{вн}} \cdot Re_g^{0,8} \cdot Pr_g^{0,4}, \quad (1.5)$$

де λ_g – теплопровідність етанолу, Вт/(м·К);

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

Re_g – критерій Рейнольдса руху теплоносія по трубам;

Pr_g – критерій Прандтля руху теплоносія по трубам.

Индв.№поддл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
----	------	----------	-------	------

Для обчислення коефіцієнта тепловіддачі від оребреної поверхні трубок до повітря використовується залежність [7]:

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

де k – поправка на оребрення;

h – висота ребер труб, м;

u – крок між ребрами, м;

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

d_n – зовнішній діаметр трубок, м;

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

Основні критерії подібності, які застосовуються при розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [2, 6].

Критерій Нусельта 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 режим руху теплоносія:

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

де w – швидкість теплоносія, м/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
											14

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.

– для перехідного режиму

$$\text{Nu} = 0,008 \cdot \text{Re}^{0,9} \cdot \text{Pr}^{0,43}; \quad (1.10)$$

– для турбулентного режиму

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3}. \quad (1.11)$$

1.3 Опис апарату повітряного охолодження (АПО)

та вибір основних конструкційних матеріалів

Апарати повітряного охолодження горизонтального типу АПГ (рис. 1.2) дозволяють ефективно обробляти різноманітні речовини, які зустрічаються в промислових процесах. Вони забезпечують конденсацію пароподібних речовин, перетворюючи їх у рідкий стан, а також охолодження газоподібних і рідких середовищ до необхідних температур.

Индв.№подл	Подп. и дата	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	Индв.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
														15

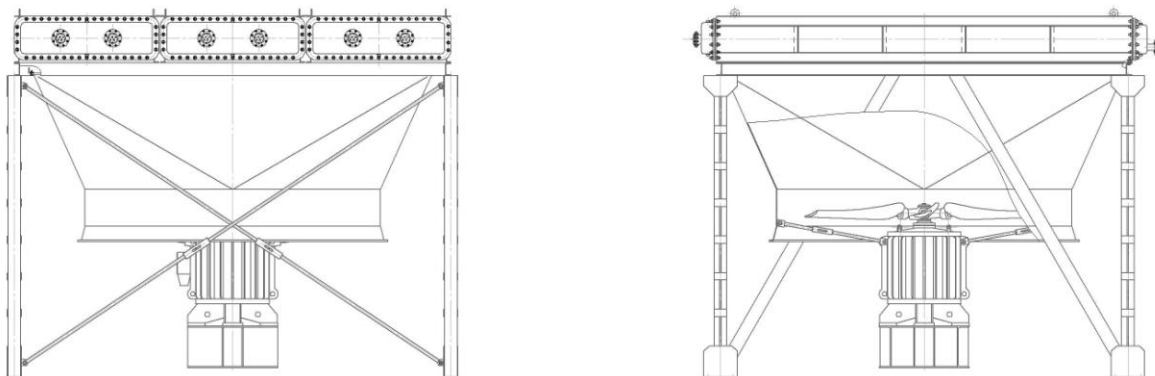


Рисунок 1.2 – Схема (у двох проєкціях) апарату типу АПГ

Такі апарати мають горизонтальну конфігурацію, що робить їх особливо зручними для використання в різних промислових установках. Вони можуть бути використані для охолодження різних речовин, таких як рідкі хімічні реагенти, нафтопродукти, газоподібні сполуки тощо. Це дає можливість широкому спектру промислових підприємств використовувати ці апарати для оптимального контролю температури і стану речовин у своїх процесах.

Принцип роботи апаратів типу АПГ полягає у відведенні тепла з робочого середовища, що циркулює по внутрішнім трубним секціям, за допомогою повітря, яке пропускається через ці секції та нагнітається потужним спеціальним вентилятором (одним або двома). Апарати типу АПГ використовують біметалеві оребрені труби завдовжки 4, 8 або 12 метрів, які сприяють максимальному теплообміну з охолоджувачем, тобто повітрям. У разі потреби апарати можуть бути оснащені блоком рециркуляції нагрітого повітря для запобігання переохолодженню продукту.

Три трубні секції групуються залежно від кількості в ряду труб – 4, 6 або 8. Вони монтуються на металевому каркасі на опорах, які дозволяють розміщувати промислові приводні вентилятори знизу. Лопаті вентилятора виготовлені з алюмінію або композитного матеріалу. Вони обертаються всередині повітряного колектора і тим самим нагнічують повітря в простір між секціями. Регулювання подачі повітря може здійснюватися за допомогою спеці-

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
										16
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					

альних жалюзів, а також шляхом зміни кута нахилу лопатей вентилятора чи, рідше, зміни частоти обертання валу електродвигуна. Зовнішні поверхні теплообмінних труб покриваються оребренням, зазвичай з використанням алюмінієвої стрічки. Оребрення може виконуватися шляхом навивки стрічки з напругою або вкладання її в попередньо створену канавку глибиною до 0,5 мм і застосування металевого обгортання навколо основної труби для підвищення жорсткості і зменшення термічного опору.

При виборі матеріалів для виготовлення хімічних апаратів і машин необхідно враховувати особливості їх експлуатації, зокрема можливі зміни фізико-хімічних властивостей матеріалів під впливом робочого середовища, температури та хіміко-технологічних процесів. При цьому важливо дотримуватися галузевого стандарту. Для виготовлення хімічних апаратів рекомендується використовувати конструкційні матеріали, що мають швидкість корозії не більшу ніж 0,1–0,5 мм/рік. Під швидкістю корозії металів розуміють проникнення корозійного впливу на глибину металу [8].

У джерелі [9] міститься список структурних сталей, які мають стійкі властивості у присутності етилового спирту і рекомендовані для використання при проектуванні хімічної апаратури: OX13, 1X13, X17, OX17T, 12X18H10T, 10X17H13M2T.

Із наведеного переліку вибираємо сталь 12X18H10T, яка має високу технологічність при обробці, добре піддається деформації як у гарячому, так і в холодному станах. Ця сталь легко зварюється будь-яким методом зварювання і не потребує обов'язкової термічної обробки після зварювання.

Враховуючи корозійну активність етанолу, робочий тиск і температуру для проектного апарату повітряного охолодження ми використовуємо біметалічні труби типу БЗ. Ці труби складаються зі сталеві внутрішньої труби із накатним гвинтовим ребром та зовнішньої алюмінієвої труби. Алюміній має ряд властивостей, які відрізняють його від інших металів. По-перше, це невелика щільність, висока пластичність і достатня механічна мі-

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					17

цність, а також висока теплопровідність і електропровідність. По-друге, алюміній не токсичний, немагнітний і стійкий до корозії певних хімічних речовин.

Пароніт – це неметалевий матеріал, що використовується для виготовлення ущільнювальних прокладок. Він отримується шляхом пресування азбокаучукової суміші. Пароніт часто використовується для ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань в хімічній апаратурі. Пароніт має деякі характеристики, які роблять його популярним у застосуваннях, де необхідна ущільнювальна функція. Він має добру стійкість до впливу хімічних речовин і температурних змін. Крім того, пароніт має високу герметичність і надійність утримання рідин і газів під тиском.

Застосування пароніту дозволяє створити ефективну ущільнювальну систему, яка запобігає витоку рідин і газів з апаратури. Він широко використовується в різних галузях промисловості, зокрема в хімічній, нафтовій, нафтохімічній та інших галузях, де важлива надійна ущільнювальна система для забезпечення безпеки та ефективності роботи обладнання. Отже, для виготовлення неметалевих ущільнювальних прокладок для фланцевих з'єднань апаратури ми використовуємо пароніт ПОН-1.

Инд.№подл	Подп. и дата		Инд.№ дубл.	Взам. инв.№	Подп. и дата	Инд.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
													18

2 Технологічні і проєктні розрахунки

2.1 Технологічні та енергетичні розрахунки

Розрахунок проводимо у відповідності до методики [6].

Пари етанолу надходять у теплообмінний апарат уже при температурі конденсації, яка при тиску 0,25 МПа становить 102°C [10].

Таким чином, теплове навантаження конденсатора розраховується як:

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

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

$r_{\text{Г}}$ – питома теплота конденсації етанолу, кДж/кг.

$$Q = \left(\frac{28000 \cdot 1000}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \right) \cdot 800 = 710 \text{ кВт}.$$

Орієнтовна поверхню теплообміну складе:

$$F_{\text{max}} = \frac{Q}{q}, \quad (2.2)$$

де q – теплонапруженість апарату, Вт/м².

При конденсації парогазової суміші $q = 750\text{--}1000$ Вт/м² [6].

$$F_{\text{max}} = \frac{710 \cdot 10^3}{900} = 789 \text{ м}^2.$$

За аеродинамічною характеристикою вентилятора [11] визначаємо величини, віднесені до стандартних умов (кут установки лопатей 15°):

- об'ємна витрата повітря $V_0 = 210000$ м³/год.;
- напір $P_{\text{ВО}} = 36 \cdot 9,81 = 353$ Па.

Индв.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	Индв.№ дубл.
Индв.№подл	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						19

Об'ємна витрата повітря, його густина та напір вентилятора за робочих умов (температура 295 К; атмосферний тиск 101325 Па):

$$V_B = V_0 \cdot \frac{T \cdot P_0}{P \cdot T_0}; \quad (2.3)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P \cdot T_0}{T \cdot P_0}; \quad (2.4)$$

$$P_B = P_{BO} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (2.5)$$

де ρ_0 – густина повітря за температури 273 К, кг/м³.

$$V_B = 210000 \cdot \frac{295}{273} = 226923 \text{ м}^3/\text{год.};$$

$$\rho_B = 1,29 \cdot \frac{273}{295} = 1,19 \text{ кг/м}^3;$$

$$P_B = 353 \cdot \frac{1,19}{1,29} = 326 \text{ Па.}$$

Масова витрата повітря одним вентилятором:

$$G_B = V_B \cdot \rho_B; \quad (2.6)$$

$$G_B = 226923 \cdot 1,19 = 270038 \text{ кг/год.}$$

Визначаємо кінцеву температура повітря:

$$t_{2K} = t_{2П} + \frac{Q}{c_B \cdot G_B}, \quad (2.7)$$

де $t_{2П}$ – початкова температура повітря, °С;

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										20
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

c_B – теплоємність повітря за робочих умов, кДж/(кг·К).

$$t_{2K} = 22 + \frac{710 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1000 \cdot 270038} = 31,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня різниця температур визначається за середньо логарифмічною залежністю:

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (2.8)$$

де Δ_B і Δ_M – відповідно більша та менша різниці температур, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t_B = t_1 - t_{2H} = 102 - 22 = 80 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_M = t_1 - t_{2K} = 102 - 31,5 = 70,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{80 - 70,5}{\ln \frac{80}{70,5}} = 75 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

За [5] вибираємо стандартизований горизонтальний апарат типу АПГ із трьома теплообмінними секціями, який має наступні характеристики: зовнішня обрєблена поверхня 875 м^2 ; довжина теплообмінних труб 4 м; число труб в одному ході 246; число ходів по трубах 1; число рядів труб в секції 4; коефіцієнт обрєблення 9.

Для нагнітання повітря застосовується осьовий вентилятор В-О25-К4 з такими характеристиками: діаметр вентилятора 2,5 м; число лопатей 4; створюваний напір 180 Па; частота обертання 200 об/хв.; споживана потужність 10 кВт.

Швидкість повітря у найбільш вузькому перерізі пучка труб:

Ивн.№подл	Подп. и дата	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата	Ивн.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
														21

$$w_{mm} = \frac{V_B}{f_{mm}}, \quad (2.9)$$

де f_{mm} – сумарна поверхня найбільш вузького перерізу, m^2 .

$$w_{mm} = \frac{226923}{3600 \cdot 5,35} = 11,8 \text{ м/с.}$$

Критерій Прандтля для повітря:

$$Pr = \frac{c_B \cdot \mu_B}{\lambda_B}, \quad (2.10)$$

$$Pr = \frac{1000 \cdot 18,5 \cdot 10^{-6}}{2,6 \cdot 10^{-2}} = 0,71.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря при коефіцієнті оребрення $\varphi = 9$:

$$\alpha_2 = C_2 \cdot \lambda_B \cdot \left(\frac{w \cdot \rho_B}{\mu_B} \right)^{0,65} \cdot Pr^{0,35}, \quad (2.11)$$

де $C_2 = 0,5$ – коефіцієнт, що залежить від оребрення труб [6].

$$\alpha_2 = 0,5 \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{11,8 \cdot 1,2}{18,5 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,65} \cdot 0,71^{0,35} = 77 \frac{Вт}{m^2 \cdot K}.$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{np} = C_1 \cdot \alpha_2, \quad (2.12)$$

де $C_1 = 0,8$ – коефіцієнт, що залежить від оребрення труб.

$$\alpha_{np} = 0,8 \cdot 77 = 61,6 \frac{Вт}{m^2 \cdot K}.$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Лист	
						3м

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони етилового спирту:

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_1}{d_1}, \quad (2.13)$$

де Nu – критерій Нусельта;

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності етанолу, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

d_1 – внутрішній діаметр труби.

Фізичні параметри етанолу [10]: густина $740 \text{ кг}/\text{м}^3$; коефіцієнт теплопровідності $0,155 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; теплоємність $3,29 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; кінематична в'язкість $6,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Дійсна швидкість етанолу в трубах:

$$w_1 = \frac{n_x \cdot V_1}{s_1 \cdot n_c}, \quad (2.14)$$

де n_x – число ходів по трубах;

V_1 – об'ємна витрата етанолу, $\text{м}^3/\text{с}$;

s_1 – загальна площа внутрішнього трубного простору, м^2 ;

n_c – кількість секцій.

Об'ємна витрата етанолу становить:

$$V_1 = \frac{G}{\rho}; \quad (2.15)$$

$$V_1 = \frac{28000 \cdot 1000}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 740} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Загальна площа внутрішнього трубного простору однієї секції:

$$s_1 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \quad (2.16)$$

де n – кількість труб в одній секції.

Ивн.№подл	Подп. и дата	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата	Ивн.№подл	XI.T.00.00.00 ПЗ				Лист
								Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$s_1 = 82 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 0,028 \text{ м}^2.$$

Підставляючи отримані значення, знаходимо усереднену швидкість етилового спирту в трубному просторі:

$$w_1 = \frac{1 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{0,028 \cdot 3} = 0,014 \text{ м/с.}$$

Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{0,014 \cdot 0,021}{6,0 \cdot 10^{-7}} = 500.$$

Далі визначаємо критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 3,29 \cdot 10^3}{0,155} = 9,34.$$

Режим руху теплоносія у трубному просторі – ламінарний. Отже, критерій Нусельта визначаємо за критеріальним рівнянням (1.9).

Попередньо розраховуємо критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot d_1^3 \cdot \rho_{сер}^2}{\mu_1} \cdot \beta \cdot \Delta t, \quad (2.17)$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення етанолу при його середній температурі, K^{-1} .

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,021^3 \cdot 740^2}{4,4 \cdot 10^{-4}} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 678;$$

$$Nu = 0,74 \cdot (500 \cdot 9,34)^{0,2} \cdot (678 \cdot 9,34)^{0,1} \approx 34.$$

Индв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						24

Із рівняння (1.6) визначаємо коефіцієнт тепловіддачі зі сторони етилового спирту:

$$\alpha_1 = \frac{34 \cdot 0,155}{0,021} = 251 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі дорівнює:

$$K = \frac{1}{\psi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + r_1 \right) + \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}} + r_2}, \quad (2.18)$$

де ψ – коефіцієнт збільшення поверхні; $\psi = 12$;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з боку етанолу, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha_{\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

r_1 і r_2 – термічні опори можливих забруднень відповідно з боку етанолу і повітря, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; за [6]: $r_1 = 0,0006 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; $r_2 = 0,0004 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

$$K = \frac{1}{12 \cdot \left(\frac{1}{251} + 0,0006 \right) + \frac{1}{61,6} + 0,0004} = 14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Уточнюємо площу поверхні теплообміну апарату повітряного охолодження за рівнянням (1.1):

$$F_p = \frac{710 \cdot 10^3}{14 \cdot 75} = 676 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні становить:

Индв.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						25

$$\beta = \frac{F_T - F_P}{F_P} \cdot 100\%; \quad (2.19)$$

$$\beta = \frac{875 - 676}{875} \cdot 100\% = 22,7\%.$$

Уточнений розрахунок показав, що вибраний теплообмінний апарат задовольняє вимогам технологічного процесу та забезпечує достатній запас по верхні.

Діаметри штуцерів для входу і виходу теплоносіїв.

Визначаємо діаметри штуцерів для введення парів і виходу рідкого етанолу:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.20)$$

де V – об'ємна витрата продукту, m^3/c ;

w – швидкість руху продукту: для газоподібного етанолу $w_{II} = 5-15$ м/с [6], приймаємо $w_{II} = 10$ м/с; для рідкого етанолу $w_p = 0,5-2,5$ м/с [6], приймаємо $w_p = 0,5$ м/с.

– діаметр штуцера для введення парів етанолу

Густина парів етанолу:

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0}, \quad (2.21)$$

де ρ_0 – густина парів етанолу за н.у.; $\rho_0 = 1,85$ кг/м³ [10].

$$\rho_1 = 1,85 \cdot \left(\frac{273}{273 + 102} \right) \cdot \frac{0,25}{0,1} = 3,37 \text{ кг/м}^3;$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										26
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

$$V_1 = \frac{28000 \cdot 1000}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3,37} = 0,26 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d_A = \sqrt{\frac{0,26}{0,785 \cdot 10}} = 0,183 \text{ м.}$$

Приймаємо 2 окремих патрубки діаметрами $d_A = 100 \text{ мм.}$

– діаметр штуцера для виходу рідкого етанолу

$$d_B = \sqrt{\frac{28000 \cdot 1000}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 740 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,055 \text{ м.}$$

Так само приймаємо 2 окремих патрубки діаметром $d_B = 30 \text{ мм.}$

2.3 Гідравлічні розрахунки

Аеродинамічний опір пучка труб [7]:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{\rho_B}{g} (w_y)^2 n_p \left(\frac{S_p}{d_3} \right)^{-0,72} \cdot Re^{-0,24}, \quad (2.22)$$

де ρ_B – густина повітря при його початковій температурі;

w_y – швидкість в стиснутому перерізі ребреного трубного пучка;

n_p – число горизонтальних рядів труб в пучку (по вертикалі); $n_p = 4$;

S_p – крок ребер; $S_p = 0,003 \text{ м.}$

d_3 – зовнішній діаметр труби; $d_3 = 0,028 \text{ м.}$

Re – критерій Рейнольдса, віднесений до діаметра труб d_3 .

$$Re = \frac{w_y \cdot d_3}{\nu_B}, \quad (2.23)$$

де ν_B – кінематична в'язкість повітря; за [10] $\nu_B = 15,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$

Индв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	Индв.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
												27

$$Re = \frac{11,8 \cdot 0,028}{15,8 \cdot 10^{-6}} = 20911.$$

Підставляючи чисельні значення у рівняння (2.22), визначаємо аеродинамічний опір трубного пучка:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,2}{9,81} \cdot 11,8^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0,003}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 20911^{-0,24} = 303 \text{ Па.}$$

Вибраний раніше вентилятор має достатній напір (до 403 Па), що гарантує стійку та надійну роботу проектованого апарату повітряного охолодження.

2.4 Розрахунок та вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір відцентрового насосу для подачі зрошення в колону [11]. Для всмоктуючої і напірної лінії приймаємо однакову швидкість течії рідини, яка становить $w = 1,5$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.24)$$

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:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (2.25)$$

Индв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

28

$$Re = \frac{1,5 \cdot 0,032 \cdot 740}{4,44 \cdot 10^{-4}} = 80000.$$

Отже, режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м. Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 7,8 \cdot 10^{-3}.$$

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = 128; 560 \cdot \frac{1}{e} = 71680; 10 \cdot \frac{1}{e} = 1280; Re > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.26)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (7,8 \cdot 10^{-3})^{0,25} = 0,03.$$

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. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ				Лист
									29
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

2) 2 коліна з кутом $90^\circ \xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$;

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:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.27)$$

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:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.28)$$

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

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \quad (2.29)$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										30
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку ця різниця дорівнює $(P_2 - P_1) = 0,2 - 0,1 = 0,1$ МПа;

H_r – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{740 \cdot 9,81} + 6 + 2,22 = 22 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.30)$$

де Q – подача (витрата), $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса, м.

$$N_{\Pi} = 740 \cdot 9,81 \cdot 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 22 = 163 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (2.31)$$

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

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

$$N = \frac{163}{1 \cdot 0,6} = 272 \text{ Вт.}$$

За [11] 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 .

Индв.№поддл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						31

Розрахунок і вибір ємності для рідкого етанолу [12].

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:

$$V_{\text{ЄЕ}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.32)$$

де G – витрата конденсату, кг/год.;

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

$$V_{\text{ЄЕ}} = \frac{28000 \cdot 1000 \cdot 6}{365 \cdot 24 \cdot 0,8 \cdot 740} = 32,4 \text{ м}^3.$$

Задаємося стандартизованим діаметром циліндричної ємності $D = 3,2$ м, тоді її висота буде дорівнювати:

$$H = \frac{V_{\text{ЄЕ}}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.33)$$

$$H = \frac{32,4}{0,785 \cdot 3,2^2} = 4,0 \text{ м}.$$

Ивн.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
											32

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

Розрахунок плоскої кришки [13]. Розрахункова товщина стінки плоскої кришки, що працює під внутрішнім тиском:

– при розрахункових параметрах

$$s_{IR} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}}, \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнт, який визначається у залежності від з'єднання кришки із корпусом; за [13] $K = 0,41$;

K_0 – коефіцієнт послаблення кришки;

D_R – розрахункова довжина кришки; $D_R = D = 1380$ мм;

φ – коефіцієнт міцності зварного шва; $\varphi = 1,0$ [13];

$[\sigma]$ – допустиме напруження в робочому стані.

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.2)$$

де σ^* – нормативне допустиме напруження при робочій температурі;

η – поправний коефіцієнт, який враховує вид заготовки; $\eta = 1,0$ [10].

$$[\sigma] = 154 \cdot 1,0 = 154 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт послаблення для кришки, що має кілька отворів:

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot d_A}{D_R}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot d_A}{D_R}}}. \quad (3.3)$$

Беремо до уваги отвори під штуцер А, оскільки вони є найбільшими за діаметром.

Инва.№подл	Подп. и дата	Инва.№ дубл.	Взам. инв.№	Подп. и дата						Лист
										XI.T.00.00.00 ПЗ
										33
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot 100}{1380}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot 100}{1380}}} = 1,27.$$

Далі визначаємо розрахункову товщину стінки плоскої кришки при розрахункових параметрах за рівнянням (3.1):

$$s_{IR} = 0,41 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{154 \cdot 1,0}} = 29 \text{ мм.}$$

– при гідравлічному випробуванні

$$s_{IRB} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p_B}{[\sigma]_B \cdot \varphi}}, \quad (3.4)$$

де p_B – пробний тиск при гідравлічному випробуванні, МПа;

$[\sigma]_B$ – допустиме напруження при гідравлічному випробуванні, МПа.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [13]:

$$p_B = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження для сталі 12X18H10T при температурі 20°C.

$$[\sigma] = 160 \cdot 1,0 = 160 \text{ МПа.}$$

Визначаємо пробний тиск при гідравлічному випробуванні:

$$p_B = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,25 \cdot \frac{160}{154} = 0,32 \\ 0,25 + 0,3 = 0,55 \end{array} \right\} = 0,55 \text{ МПа.}$$

Индв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						34

Допустиме напруження при випробуванні:

$$[\sigma]_B = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}, \quad (3.6)$$

де $\sigma_{m 20}$ – мінімальне значення межі плинності матеріалу при температурі 20°C;

$$[\sigma]_B = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки плоскої кришки при гідравлічному випробуванні за рівнянням (3.4):

$$s_{IRB} = 0,41 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0,55}{218 \cdot 1,0}} = 36 \text{ мм.}$$

Прибавка до розрахункової товщини стінки [13]:

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

де c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії, мм;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску; $c_2 = 0$;

c_3 – технологічна прибавка; $c_3 = 0$.

Прибавка для компенсації корозії та ерозії:

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

де Π – проникність матеріалу; $\Pi = 0,1$ мм/рік;

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

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ мм.}$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
											35

Виконавча товщина плоскої кришки, яка працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = \max(s_{IR}; s_{IR_B}) + c; \quad (3.9)$$

$$s_1 = \max(29; 36) + 1,5 = 36 + 1,5 = 37,5 \text{ мм.}$$

Округлюючи до найближчого більшого стандартного значенням, отримуємо $s_1 = 38 \text{ мм.}$

Далі перевіряємо умову застосовуваності розрахункових формул для плоскої кришки, а саме:

$$\frac{s_1 - c}{D_R} \leq 0,1; \quad (3.10)$$

$$\frac{38 - 1,5}{1380} = 0,026 < 0,1.$$

Умова застосовуваності розрахункових формул виконується.

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										36
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

4 Монтаж і ремонт АПО

4.1 Монтаж АПО [14, 15]

Апарати повітряного охолодження монтується вже у повній зібраній формі, з установленими трубопроводами та металоконструкціями каркасів, перед установкою в проектне положення. Перед самою установкою, апарат проходить гідравлічне випробування, що має на меті перевірити його міцність та герметичність. Гідравлічне випробування включає окрему перевірку як міжтрубного простору, так і трубного простору, забезпечуючи повну перевірку функціональності та надійності апарату.

Монтаж, пуск, експлуатація і ремонт апаратів повітряного охолодження повинні виконуватися з дотриманням правил безпеки, що встановлені для відповідних видів робіт. Також необхідно дотримуватися загальних правил безпеки та пожежної безпеки, викладених у відповідних інструкціях, що діють на даному виробництві.

Апарат повітряного охолодження монтується на спеціальній технологічній етажерці. Монтаж проходить за такою послідовністю дій:

- Розміщують контейнери на технологічній етажерці, з'єднують їх і закріплюють між собою за допомогою кріпильних болтів.
- На контейнері встановлюють дифузори, з'єднують їх і закріплюють між собою кріпильними болтами.
- Встановлюють та закріплюють теплообмінні секції на штирях дифузорів з відповідним маркуванням.
- Перевіряють якість виготовлення шпильок, гайок та шайб. Різьба повинна бути чистою без будь-яких забруднень, подряпин або пошкоджень. Поверхня на нарізаній частині шпильок повинна бути гладкою.
- Затягують усі болтові з'єднання, використовуючи стандартні ключі без використання подовжувачів.

Ивн.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

- Перед затягуванням гайок ретельно перевіряють привалочні поверхні фланців на наявність дефектів, оскільки вони не допускаються.
- Перевіряють правильну установку фланців та прокладок на штуцерах входу і виходу робочого середовища в теплообмінній секції.

Також слід перевірити розмір і стан прокладок, щоб вони відповідали розмірам привалочних поверхонь стикуючих фланців. Переконайтеся, що прокладки правильно встановлені в пази і що всі шпильки присутні в отворах фланців. Недостатня кількість шпильок або неправильне їх положення не допускаються. Також заборонено підтягувати шпильки під час роботи апарату.

Виявлені під час монтажу дефекти та методи їх усунення повинні бути зареєстровані в паспорті АПО.

Виконати під'єднання АПО до всіх необхідних комунікацій і арматури. Очистити від бруду і сторонніх предметів підводи і відводи трубопроводів перед приєднанням до апарату.

Провести ефективне заземлення апарату відповідно до вимог Правил установки електроустановок. Забезпечити належне заземлення апарату для електробезпеки та відведення надлишкового струму.

Перевірити правильність установки апарату на фундаменті, враховуючи наступні аспекти:

- для теплообмінних секцій перевірити рівень гідростатичним або брусковим рівнем;
- визначити правильне положення опорних стійок шляхом вимірювання їх осей за допомогою схила;
- кронштейни опорних стійок повинні знаходитися в одній горизонтальній площині, що перевіряється за допомогою натягнутої струни;
- переконайтеся, що привід вентилятора не відхиляється від горизонтальної площини, що вимірюється брусковим рівнем.

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	38

При установці колеса вентилятора важливо дотримуватися рівномірного радіального зазору в межах припустимих розмірів. Під час центрування валів рекомендується проводити вимірювання в чотирьох положеннях під час спільного повороту напівмуфт на 90°. Центрування приводу вважається правильним, якщо різниця діаметрально протилежних розмірів перекосу та паралельного зміщення осей не перевищує 0,06 мм при діаметрі муфти 250 мм. Виконання цих кроків забезпечить належну установку і правильну роботу повітряного охолодження, а також гарантуватиме безпеку та ефективність його функціонування.

4.2 Ремонт АПО [15]

Апарат, який підлягає розборці для ремонту і очищення, повинен бути зупинений, звільнений від теплоносіїв, відключений і заглушений від іншої апаратури, пропарений і пройдений азотом. Повинні бути створені нормальні умови, а саме: тиск – атмосферний, температура – знижена до нормальної, вибухо- і пожежонебезпечні середовища – відсутні. У деяких випадках пропарку і промивку чередують кілька разів. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C.

Найбільш поширеними дефектами у апаратів з трубною системою є:

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

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

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										39
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

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

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

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

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

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

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

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

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

Индв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
										40

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

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.

Инв.№подл	Подп. и дата		Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл	Лист
	Зм	Лист							
XI.T.00.00.00 ПЗ									Лист
									41

5 Охорона праці [16, 17]

Закон України «Про охорону праці»

Закон України «Про охорону праці» є основним нормативним актом, що регулює сферу охорони праці в Україні. Його основною метою є забезпечення безпеки та здоров'я працівників на робочому місці шляхом встановлення відповідних стандартів, вимог та процедур.

Цей закон визначає права та обов'язки роботодавців, працівників, представників профспілок і контролюючих органів у сфері охорони праці. Він встановлює обов'язкові заходи щодо попередження виникнення нещасних випадків та професійних захворювань шляхом застосування профілактичних заходів, раціональної організації праці, використання безпечного обладнання та технологій.

Закон також передбачає проведення навчання та підвищення кваліфікації працівників з питань безпеки праці, систему оцінки ризиків на робочих місцях, обов'язковий медичний огляд працівників, а також встановлює процедури розслідування нещасних випадків на роботі та відповідальність за порушення вимог закону.

Закон України «Про охорону праці» має важливе значення для створення безпечних та здорових умов праці в усіх галузях економіки. Він сприяє забезпеченню дотримання принципів охорони праці, підвищенню культури безпеки на роботі, а також покращенню якості працівничого колективу та продуктивності праці.

Закон України «Про охорону праці» складається з дев'яти розділів, які включають загальні положення стосовно охорони праці, гарантії прав на охорону праці, організацію системи охорони праці, заохочення охорони праці, нормативно-правові акти, що регулюють питання охорони праці, державне управління в галузі охорони праці, державний нагляд та громадський

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	42

У розділі III «Організація охорони праці» встановлено, що роботодавець має обов'язок створювати систему управління охороною праці на підприємстві та забезпечувати її ефективне функціонування з метою досягнення встановлених нормативів і підвищення рівня охорони праці. У цьому розділі також описані обов'язки працівників, які полягають у збереженні свого власного здоров'я та безпеки, а також безпеки оточуючих осіб. Працівники повинні бути ознайомлені та дотримуватися вимог нормативно-правових актів з охорони праці, а також проходити медичні огляди, які передбачені законодавством. Працівник несе особисту відповідальність за порушення зазначених вимог.

У розділі IV – «Стимулювання охорони праці» описується система економічного стимулювання працівників (стаття 25) за їх активну участь та ініціативу у впровадженні заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки праці. Цей стимулюючий механізм здійснюється відповідно до положень колективного договору, угоди та законодавства.

У розділі V – «Нормативно-правові акти з охорони праці» визначаються правила, норми, регламенти, положення, стандарти, інструкції та інші документи, які є обов'язковими для дотримання. Ці документи періодично переглядаються, але не рідше одного разу на 10 років. Стандарти, технічні умови та інші документи, що стосуються засобів праці та технологічних процесів, повинні містити вимоги з охорони праці та погоджуватися з органами державного нагляду за охороною праці. Нормативно-правові акти з охорони праці розповсюджуються на сферу трудового й професійного навчання.

У розділі VI – «Державне управління охороною праці» (стаття 32) визначаються органи державного управління охороною праці та їх компетенція. Серед цих органів є Кабінет Міністрів, який відповідає за забезпечення реалізації державної політики в галузі охорони праці. Також визначається спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади,

Инов.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инов.№ дубл.	Подп. и дата	Инов.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист

11. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 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, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 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. Федерация профспілок працівників малого та середнього підприємництва України. Закон України «Про охорону праці» № 2694-12 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://federation.org.ua/zakonodavstvo/zakon-ukraini-pro-okhoronu-pratsi-2694-12.html>
17. Основи охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/9/883.html>

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
												48