

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____ підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Тема роботи: Виробництво етанолу. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів етанолу / Ethanol production. Develop an air cooler to condense ethanol vapors

Виконав:

студент групи ХМз – 81с

Сущенко Дмитро Миколайович

_____ підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викладач

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 ХМз – 81с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Сущенко Дмитру Миколайовичу

1 Тема проекту: Виробництво етанолу. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів етанолу / Ethanol production. Develop an air cooler to condense ethanol vapors

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження типу АПГ для конденсації парів етанолу. Продуктивність апарату складає 25550 т/рік. Етанол потрапляє в апарат при температурі конденсації під тиском 0,21 МПа. Температуру атмосферного повітря прийняти 25°C.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема виробництва етанолу</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик апарата</u> | – 1,5 арк. |
| 3. <u>Складальні кресленики вузлів</u> | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 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 2021 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

Вступ

Теплообмінні апарати призначені для проведення процесів теплообміну при необхідності нагрівання або охолодження технологічного середовища або з метою утилізації теплоти.

Теплообмінна апаратура становить досить значну частину технологічного обладнання в хімічній і суміжних галузях промисловості. Питома вага на підприємствах хімічної промисловості теплообмінного обладнання становить в середньому 15–18 %, в нафтохімічній і нафтопереробній промисловостях – 50 %. Значний обсяг теплообмінного обладнання на хімічних підприємствах пояснюється тим, що майже всі основні процеси хімічної технології (випарювання, ректифікація, сушіння та ін.) пов'язані з необхідністю підведення або відведення теплоти [1].

У хімічній та особливо нафтохімічній промисловості більшу частину теплообмінних апаратів складають конденсатори і холодильники. Використання для цих цілей апаратів водяного охолодження, наприклад кожухотрубних або зрошувальних, пов'язано зі значними витратами води і, отже, з великими експлуатаційними витратами. Для цих цілей застосовуються спеціальні теплообмінні установки – апарати повітряного охолодження (АПО) [1].

Апарати повітряного охолодження в основному використовуються там, де застосування інших систем охолодження технічно неможливе або недоцільне з економічної точки зору. Великі виробничі підприємства різних галузей промисловості, розташовані далеко від природних джерел води, потребують охолодження технологічних рідин, парів і газів. Як правило, вартість апаратів повітряного охолодження вище, ніж у теплообмінників, які охолоджуються водою [2].

Застосування апаратів повітряного охолодження у якості холодильників-конденсаторів має ряд переваг: виключаються витрати на підготовку і

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

перекачування води; знижуються трудомісткість і вартість ремонтних робіт; спрощується регулювання процесу охолодження і т. п. [3].

Дана кваліфікаційна робота являє собою комплексний навчально-дослідний та практичний проект, який виконано у відповідності до методичних вказівок [4] із представленням усіх регламентованих розділів.

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
												6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

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

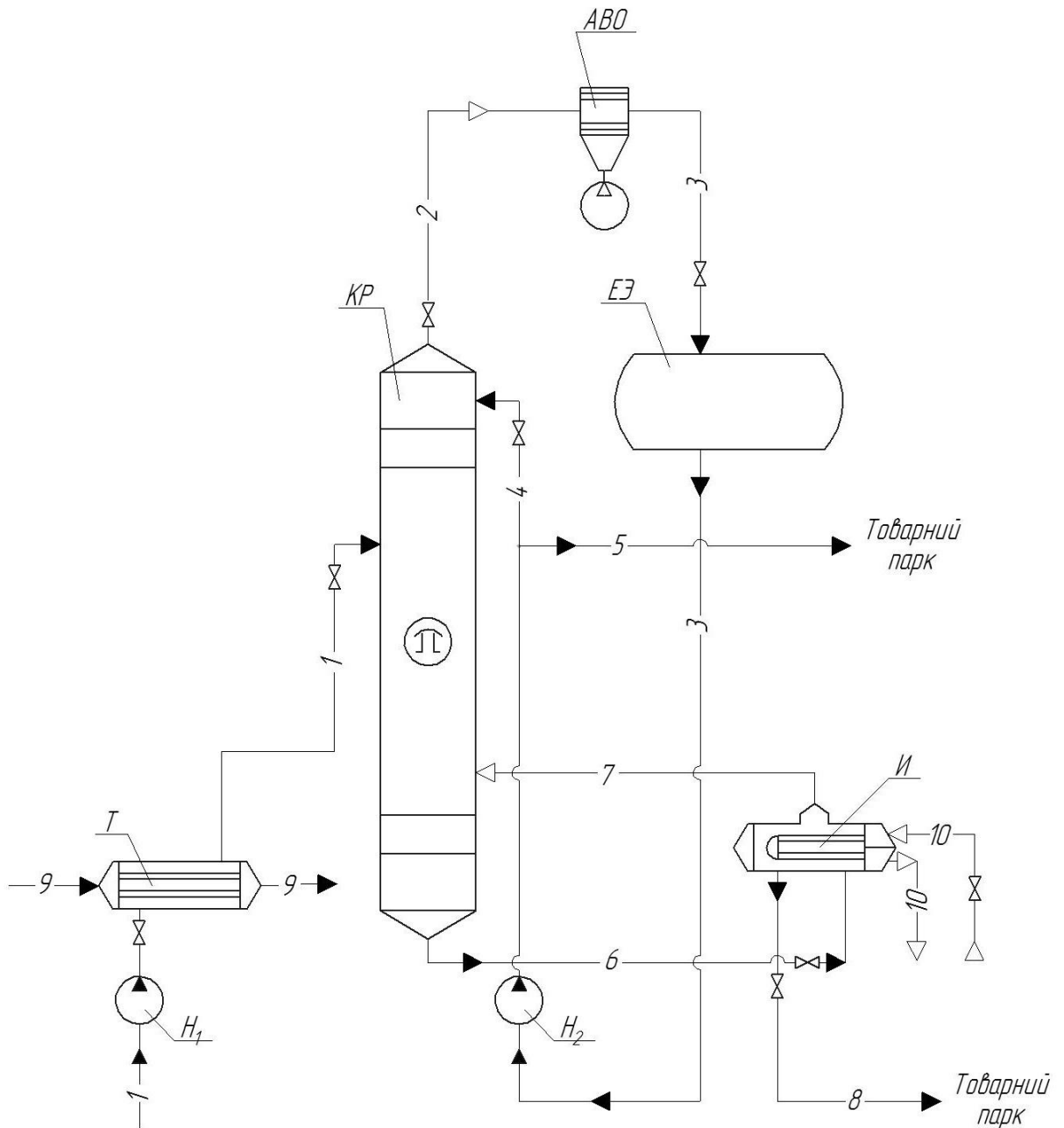


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві етилового спирту

Инв.№подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Подп. и дата	Инв.№ дубл.	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Дата		7

Принцип роботи представленої ректифікаційної установки полягає у наступному. Вихідна двокомпонентна суміш за допомогою тиску, створюваного відцентрови насосом H_1 , подається у теплообмінник-підігрівач T . 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 KP . На тарілці живлення колони склад рідини відповідає складу початкової суміші. У результаті протитечійної парорідинної взаємодії відбувається розділення суміші на два окермих компоненти – важкоплячий та легкокипаючий. Таким чином, із нижньої частини колони відводиться кубовий залишок, який спрямовується у теплообмінник-випарник $И$. Частина кубового залишку випаровується і таким чином забезпечується парове зрошення ректифікаційної колони KP .

У верхній частині колони KP відбувається процес збагачення пари легкокипаючим компонентом (у нашому випадку це етанол). Пари етанолу виходять із колони через її верхній штуцер, після чого спрямовуються у требний простір апарату повітряного охолодження ABO . У цьому апараті відбувається конденсація продукту за рахунок відведення тепла холодному повітрю, яке безперервно нагнітається вентиляторами. Частина сконденсованого (рідкого) етанолу відбирається і у вигляді флегми за допомогою насосу H_2 повертається до ректифікаційної колони (на зрошення її верхньої частини). Інша частина, так званий дистиллят, спрямовується у товарний парк.

1.2 Теоретичні основи процесів повітряного охолодження

Під теплообмінних апаратом розуміють такий апарат, де гарячий теплоносіє віддає своє тепло холодному теплоносію. Рушійною силою такого процесу є різниця температур. Гарячим теплоносієм називається теплоносіє із більш високою температурою, а холодний теплоносіє – це теплоносіє із

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
										8
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					

мени високою температурою відповідно [5]. У нашому випадку холодним теплоносієм є повітря, а гарячим – пари етанолу. Отже, конденсація парів етанолу є цільовим процесом, а нагрівання атмосферного повітря – побічним.

Конденсація пари є складним і багатостадійним процесом, який включає в себе наступні стадії [1]:

- перенесення тепла (тепловіддачу) в межах кожного з теплоносіїв;
- перенесення тепла через кордон розділення фаз – поверхня теплопередачі (площа, через яку відбувається передача тепла від гарячого теплоносія).

Технологічний розрахунок апарату включає в себе три основні складові розрахунку і ведеться за методикою, розглянутою в навчальному посібнику [6]:

- тепловий розрахунок, який показує яку кількість тепла необхідно відвести від апарату при даних значеннях температури і витрат, а також характеристики енергоносіїв та визначення необхідних параметрів процесу та розмірів апарату;
- гідравлічний розрахунок, який показує які опори виникають на шляху руху енергоносія; підбір насосу, якщо це необхідно.
- аеродинамічний розрахунок, який показує які опори виникають на шляху повітря при проході через секцію, а також визначення витрат повітря, що проходить через апарат.

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, $^{\circ}\text{C}$;

F – площа поверхні теплопередачі, м^2 .

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						9

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

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

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

Орієнтовні значення коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі наведені у таблицях [1, 6].

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює [6]:

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

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

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						10

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

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

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.

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 [1, 2, 6].

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						11

Критерій Нусельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

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

де α – коефіцієнт тепловіддачі, $Вт/(м^2 \cdot К)$;

l – визначальний геометричний розмір, $м$;

λ – теплопровідність теплоносія, $Вт/(м \cdot К)$.

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

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

де w – швидкість теплоносія, $м/с$;

ρ – густина теплоносія, $кг/м^3$;

μ – динамічна в'язкість теплоносія, $Па \cdot с$.

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

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

де c – питома теплоємність теплоносія, $Дж/(кг \cdot К)$.

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

– для ламінарного режиму

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

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

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						12

– для перехідного режиму

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

– для турбулентного режиму

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

1.3 Опис конструкції апарату повітряного охолодження та вибір основних конструкційних матеріалів

Апарати повітряного охолодження горизонтальні АВГ (рис. 1.2) призначені для конденсації та охолодження пароподібних, газоподібних і рідких середовищ, що застосовуються в технологічних процесах хімічної, нафтопереробної, нафтохімічної та суміжних галузях хімічної промисловості [1].

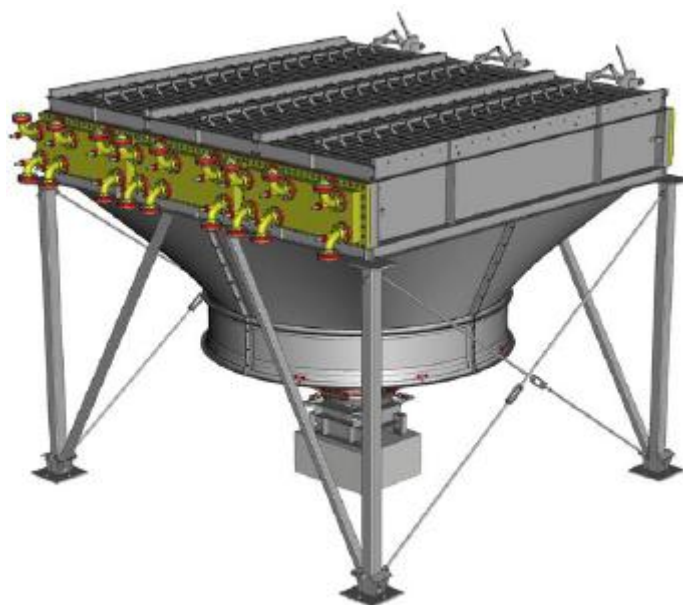


Рисунок 1.2 – Віртуальна модель апарату типу АВГ

Принцип дії апаратів типу АВГ полягає в охолодженні робочого середовища, що циркулює по трубним секціях, за рахунок повітря, що проходить

Инд. №подл	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № докум.	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
												13

У [9] наведено перелік конструктивних сталей, що є стійкими в середовищі етилового спирту і рекомендованих для застосування при конструюванні хімічної апаратури. Це наступні сталі: ОХ13, 1Х13, Х17, ОХ17Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т.

Вибираємо сталь 12Х18Н10Т, яка є технологічною при обробці, добре деформованою, як в гарячому і в холодному станах. Ця сталь добре зварюється усіма видами зварювання і не вимагає обов'язкової термічної обробки виробу після зварювання.

Також, враховуючи корозійну активність етанолу, величину робочого тиску і робочої температури – для проектного апарату повітряного охолодження приймаємо біметалічні труби виконання БЗ. Така труба складається із внутрішньої (сталеві) і зовнішньої (алюмінієвої) з накатним гвинтовим ребром.

Алюміній має низку властивостей, які відрізняють його від інших металів. По-перше, це невелика щільність, гарна пластичність і достатня механічна міцність, високі тепло- і електропровідність. По-друге, алюміній нетоксичний, немагнітний і корозійностійкий до ряду хімічних речовин.

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апарату використовуємо пароніт ПОН – 1. Це листовий прокладковий матеріал, який виготовляється пресуванням азбокаучукової маси. Складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів [8].

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

2 Технологічні і проектні розрахунки

2.1 Технологічні та енергетичні розрахунки

Розрахунок проводимо у відповідності до методик [1, 6].

Пари етанолу надходять у теплообмінний апарат уже при температурі конденсації (згідно завдання на кваліфікаційну роботу). При тиску 0,2 МПа температура конденсації етилового спирту становить 94,6°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.

$$Q = \left(\frac{25550 \cdot 1000}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \right) \cdot 850 = 689 \text{ кВт}.$$

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].

$$F_{\text{max}} = \frac{689 \cdot 10^3}{850} = 811 \text{ м}^2.$$

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 $P_{\text{в0}} = 36 \cdot 9,81 = 353$ Па.

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

Об'ємна витрата повітря, його густина та напір вентилятора за робочих умов (температура 293 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.

$$V_B = 210000 \cdot \frac{293}{273} = 225385 \text{ м}^3/\text{год.};$$

$$\rho_B = 1,29 \cdot \frac{273}{293} = 1,2 \text{ кг/м}^3;$$

$$P_B = 353 \cdot \frac{1,2}{1,29} = 328 \text{ Па.}$$

Масова витрата повітря одним вентилятором:

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

$$G_B = 225385 \cdot 1,2 = 270462 \text{ кг/год.}$$

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
										17
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

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

$$t_{2K} = 25 + \frac{689 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1,0 \cdot 10^3 \cdot 270462} = 34,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температурну схему процесу конденсації етилового спирту представлено на рис. 2.1.

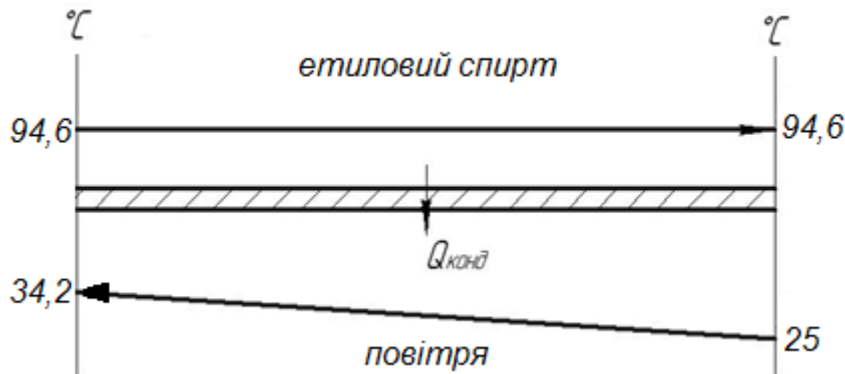


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу конденсації етилового спирту

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 Δt_B і Δt_M – відповідно більша та менша різниці температур, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t_B = t_1 - t_{2H} = 94,6 - 25 = 69,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_M = t_1 - t_{2K} = 94,6 - 34,2 = 60,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{69,6 - 60,4}{\ln \frac{69,6}{60,4}} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

За [5] вибираємо стандартизований горизонтальний апарат типу АПГ із трьома теплообмінними секціями, який має наступні характеристики:

– зовнішня обрєблена поверхня, м ²	875
– довжина теплообмінних труб, м	4
– 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 типу В-О25-К4. Він має наступні характеристики:

– діаметр вентилятора, м	2,5
– число лопатей	4
– напір, Па	180
– частота обертання, об/хв.	200
– споживана потужність, кВт	10

Швидкість повітря у найбільш вузькому перерізі пучка труб:

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

де $f_{\text{шт}}$ – сумарна поверхня найбільш вузького перерізу, м².

$$w_{\text{шт}} = \frac{225385}{3600 \cdot 5,35} = 11,7 \text{ м/с.}$$

Критерій Прандтля для повітря:

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

$$\text{Pr} = \frac{1,0 \cdot 10^3 \cdot 18,5 \cdot 10^{-6}}{2,6 \cdot 10^{-2}} = 0,71.$$

Инва.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инва.№ дубл.	Подп. и дата	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
											19

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

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

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

$$\alpha_2 = 0,5 \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{11,7 \cdot 1,2}{18,5 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,65} \cdot 0,71^{0,35} = 76,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

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

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

$$\alpha_{np} = 0,8 \cdot 76,6 = 61,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

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 етилового спирту наступні [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:

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

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						

де n_x – число ходів по трубах;

V_1 – об'ємна витрата етанолу, m^3/c ;

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

n_c – кількість секцій.

Об'ємна витрата етанолу становить:

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

$$V_1 = \frac{70 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 740} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

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.

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

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

$$w_1 = \frac{1 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}}{0,028 \cdot 3} = 0,013 \text{ м/с}.$$

Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{0,013 \cdot 0,021}{6,0 \cdot 10^{-7}} = 458.$$

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

Далі визначаємо критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{4,44 \cdot 10^{-4} \cdot 3,29 \cdot 10^3}{0,155} = 9,42.$$

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

Попередньо розраховуємо критерій Грасгофа:

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

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

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,021^3 \cdot 740^2}{4,44 \cdot 10^{-4}} \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 616;$$

$$Nu = 0,74 \cdot (458 \cdot 9,42)^{0,2} \cdot (616 \cdot 9,42)^{0,1} = 33,4.$$

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

$$\alpha_1 = \frac{33,4 \cdot 0,155}{0,021} = 246,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі дорівнює:

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

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

Индв.№поддл	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
						22

де V – об'ємна витрата продукту, $\text{м}^3/\text{с}$;

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

– 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.; $\rho_0 = 1,85 \text{ кг/м}^3$ [10].

$$\rho_1 = 1,85 \cdot \left(\frac{273}{273 + 94,6} \right) \cdot \frac{0,2}{0,1} = 2,75 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_1 = \frac{70 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 2,75} = 0,29 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d_A = \sqrt{\frac{0,29}{0,785 \cdot 10}} = 0,192 \text{ м.}$$

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

– діаметр штуцера для виходу рідкого етанолу

$$d_B = \sqrt{\frac{70 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 740 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,053 \text{ м.}$$

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

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

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

2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка

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 орбреного трубного пучка;

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

S_p – крок ребер; $S_p = 0,003$ м;

d_3 – зовнішній діаметр труби; $d_3 = 0,028$ 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] $\nu_B = 15,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = \frac{11,7 \cdot 0,028}{15,8 \cdot 10^{-6}} = 20734.$$

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

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,2}{9,81} \cdot 11,7^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0,003}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 20734^{-0,24} = 298,6 \text{ Па.}$$

Обраний раніше вентилятор ЦАГІ КК-2М розвиває напір до 403 Па, а, отже, він із запасом забезпечить стабільну роботу проектного апарату повітряного охолодження.

Ивн. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ивн. № дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										25
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Для зони, що є автотомельною 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) вентиля прямоточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

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

3) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

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

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

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

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

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

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

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

Втрачений натиск в напірної лінії:

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

Загальні втрати напору:

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

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

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

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

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

H_{Γ} – 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.

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

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

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

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

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

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

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

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 .

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:

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

де G – витрата конденсату, кг/год. ;

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

$$V_{CE} = \frac{70 \cdot 1000 \cdot 6}{24 \cdot 0,8 \cdot 740} = 29,6 \text{ м}^3.$$

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

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

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

$$H = \frac{29,6}{0,785 \cdot 2,8^2} = 4,8 \text{ м.}$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл	XI.T.00.00.00 ПЗ				Лист
										3м

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.

Инд. №подл	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Инд. №подл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
														31

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

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

$$s_{IR} = 0,41 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{154 \cdot 1,0}} = 25,9 \text{ мм.}$$

– 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;

$[\sigma]$ – 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:

$$p_B = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{160}{154} = 0,26 \\ 0,2 + 0,3 = 0,5 \end{array} \right\} = 0,5 \text{ МПа.}$$

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

32

Допустиме напруження при гідравлічному 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):

$$s_{IRB} = 0,41 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{218 \cdot 1,0}} = 34,4 \text{ мм.}$$

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
											33

Виконавча товщина плоскої кришки, яка працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = \max(s_{1R}; s_{1RB}) + c; \quad (3.9)$$

$$s_1 = \max(25,9; 34,4) + 1,5 = 34,4 + 1,5 = 35,9 \text{ мм.}$$

Округлюючи до найближчого більшого стандартного значенням, отримуємо $s_1 = 36 \text{ мм}$.

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

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

$$\frac{36 - 1,5}{1380} = 0,025 < 0,1.$$

Умова застосовуваності розрахункових формул виконується.

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										34
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

4 Монтаж і ремонт апарату киплячого шару

4.1 Монтаж апарату [14, 15]

Монтаж апаратів повітряного охолодження проводиться у максимально зібраному вигляді – уже зі встановленими вузлами трубопроводів та металоконструкціями каркасів. Установці апарату в проектне положення передують його гідравлічне випробовування на міцність та герметичність. При цьому окремо випробовують міжтрубний і трубний простори.

Апарати встановлюють у проектне положення на фундамент або іншу підставу за допомогою монтажних кранів або інших вантажопідійомних механізмів.

Монтаж, пуск, експлуатація і ремонт АПО повинні проводитися із дотриманням правил безпеки, що встановлені для окремих видів робіт, загальних правил безпеки та пожежної безпеки, викладених у відповідних інструкціях, що діють на даному виробництві.

Апарат повітряного охолодження встановлюється на спеціальній технологічній етажерці. Монтаж АПО проводиться у такій послідовності:

1. Виставляють на технологічній етажерці контейнери; з'єднують та закріплюють їх між собою кріпильними болтами;
2. На контейнер встановлюють дифузори; з'єднують та закріплюють їх між собою кріпильними болтами;
3. Встановлюють та закріплюють теплообмінні секції на штирі дифузорові із відповідним маркуванням;
4. Перевіряють якість виготовлення шпильок, гайок та шайб: різьба повинна бути без забруднень, подряпин, зривів тощо; поверхня на нарізаній частині шпильок – гладкою; гайка, надіта на різьблення шпильки, не повинна мати слабину.

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

5. Затягують усі болтові з'єднання, використовуючи стандартні ключі, без подовжувачів;

6. Перед затягуванням гайок зробити ретельний огляд привалочних поверхонь фланців – дефекти на цих поверхнях не допускаються.

7. Перевіряють установку в теплообмінній секції відповідних фланців і прокладок на штуцерах входу і виходу робочого середовища.

8. Також слід перевіряти розмір і стан прокладок на відповідність їх розмірам привалочних поверхонь стікуючих фланців. Далі перевірити правильність установки прокладок, переконатися в наявності повного комплекту шпильок в отворах фланців і в тому, що прокладки увійшли в пази. Неповний комплект шпильок або перекос фланців не допускається. Також забороняється підтяжка шпильок 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 заземлення апарату у відповідності вимогам ПУЕ.

Правильність установки апарату на фундамент вивіряють: теплообмінних секцій – гідростатичним або брусковим рівнем; осей опорних стійок – схилом; відхилення площин кронштейнів опорних стійок від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутій струні; відхилення від горизонтальності приводу вентилятора – брусковим рівнем.

При установці колеса вентилятора повинен бути витриманий рівномірний радіальний зазор в межах допустимих розмірів. При центруванні валів вимірювання слід проводити в чотирьох положеннях при спільному повороті напівмуфт на 90°. Центрування приводу вважається правильним, якщо різниця діаметрально протилежних розмірів перекосу і паралельного зміщення осей не перевищують 0,06 мм (при діаметрі муфти 250 мм).

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

4.2 Ремонт апарату [15]

Ремонт – це комплекс операцій по відновленню справного стану працездатності та ресурсу обладнання. Апарати повітряного охолодження часто працюють в умовах підвищеної корозійної активності. Для боротьби з корозійними середовищами в трубних секціях АПО, зазвичай, використовують біметалічні труби із внутрішніми трубами із латуні чи сталі. Трубні решітки також можуть бути виготовлені біметалічними – із захисним шаром латуні товщиною 8 мм.

Стан зовнішньої поверхні елементів апаратів повітряного охолодження, працюючих під тиском, перевіряється у наступних місцях: у місці приварювання фланців; у місці перетину зварних швів; зовнішньої поверхні трубного простору.

Перевіряються наступні дефекти: на поверхні – тріщини, надриви, підвищена швидкість корозії стінок; на зварних швах – дефекти зварювання, тріщини, надриви тощо.

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.

Ивн.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата						
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
					XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										37

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 загнушити до 10 % трубок.

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

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачищення і загнушка 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 підібраному 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 момента-

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						38

ми. 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). 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.

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

5 Охорона праці

Небезпечні зони устаткування. Класифікація та призначення засобів захисту [16–18].

Небезпечна зона – це простір, в якому можлива дія на працівника небезпечного і (або) шкідливого виробничого фактора. Небезпека локалізована в просторі навколо рухомих елементів: ріжучого інструменту, оброблюваних деталей, планшайб, зубчастих, ремінних і ланцюгових передач, робочих столів верстатів, конвеєрів і т. д. Особлива небезпека створюється у випадках, коли можливим є захоплення одягу або волосся працюючого рухомими частинами обладнання.

Наявність небезпечної зони може бути обумовлено небезпекою ураження електричним струмом, впливом теплових, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, шумом, вібрацією, ультразвуком, шкідливими парами і газами, пилом, можливістю травмування відлітаючими частинками матеріалу заготовки та інструменту при обробці, вильотом оброблюваної деталі через погане її закріплення або поломки.

Розміри небезпечної зони в просторі можуть бути постійними (зона між ременем і шківом) і змінними (поле прокатних станків, зона різання при зміні режиму і характеру обробки, зміна різального інструменту і т. д.).

При проектуванні і експлуатації технологічного обладнання необхідно передбачати застосування пристроїв або виключати можливість контакту людини із небезпечною зоною, або знижувати небезпеку контакту (засобами захисту працюючих). Засоби захисту працюючих за характером їх застосування поділяються на дві категорії: колективні та індивідуальні.

Засоби колективного захисту в залежності від призначення поділяються на такі класи: нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць, нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць, засоби захисту від іонізуючих випромінювань, інфрачервоних

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	40

випромінювань, ультрафіолетових випромінювань, електромагнітних випромінювань, магнітних і електричних полів, випромінювання оптичних квантових генераторів, шуму, вібрації, ультразвуку, ураження електричним струмом, електростатичних зарядів, від підвищених і знижених температур поверхонь обладнання, матеріалів, виробів, заготівель, від підвищених і знижених температур повітря робочої зони, від впливу механічних, хімічних, біологічних факторів.

Засоби індивідуального захисту в залежності від призначення поділяються на такі класи: ізолюючі костюми, засоби захисту органів дихання, спеціальний одяг, спеціальне взуття, засоби захисту рук, голови, обличчя, очей, органів слуху, засоби захисту від падіння та інші аналогічні засоби, захисні дерматологічні засоби.

Усі засоби колективного захисту працюючих, що застосовуються в машинобудуванні, за принципом дії можна розділити на огорожувальні, запобіжні, блокуючі, сигналізуючі, а також системи дистанційного керування машинами. Кожен із перерахованих підкласів має кілька видів і підвидів. Загальними вимогами до засобів захисту є: створення найбільш сприятливих для організму людини співвідношень із навколишнім зовнішнім середовищем і забезпечення оптимальних умов для трудової діяльності; висока ступінь захисної ефективності; облік індивідуальних особливостей обладнання, інструменту, пристосувань або технологічних процесів; надійність, міцність, зручність обслуговування машин і механізмів, облік рекомендацій технічної естетики.

Огорожувальні засоби захисту перешкоджають появі людини в небезпечній зоні. Застосовуються для ізоляції систем приводу машин і агрегатів, зон обробки заготовок, для огороження струмоведучих частин, зон інтенсивних випромінювань (теплових, електромагнітних, іонізуючих), зон виділення шкідливих речовин, що забруднюють повітряне середовище і т. д.

Инд. №поддл	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инд. №поддл	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
												41

Конструктивні рішення огорожувальних пристроїв різноманітні. Вони залежать від виду обладнання, розташування людини в робочій зоні, специфіки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які супроводжують технологічний процес. Огороджувальні пристрої діляться на три основні групи: стаціонарні (незнімні), рухливі (знімні) і переносні. Стаціонарні огорожі періодично демонтуються для здійснення допоміжних операцій (зміни робочого інструменту, змазування, проводячи контрольні виміри деталей і т. п.). Їх виготовляють таким чином, щоб вони пропускали оброблювану деталь, але не пропускали руки працюючого через невеликі розміри відповідного технологічного отвору. Таке огороження може бути повним, коли локалізується небезпечна зона разом з машиною, або частковим, коли ізолюється тільки небезпечна зона машини. Прикладами повної огорожі є огорожі розподільних пристроїв електрообладнання, галтувальних барабанів, вентиляторів, корпуси електродвигунів, насосів і т. д.

Рухома огорожа являє собою пристрій, заблокований із робочими органами механізму або машини. Він закриває доступ в робочу зону при настанні небезпечного моменту. В інший час доступ до зазначеної зони відкритий. Широке поширення такі захисні пристрої отримали в верстатобудуванні.

Переносні огорожі є тимчасовими. Їх використовують при ремонтних і налагоджувальних роботах, наприклад, на постійних робочих місцях зварників для захисту оточуючих від впливу електричної дуги і ультрафіолетових випромінювань (зварювальні пости). Виконуються вони найчастіше у вигляді щитів висотою 1,7 м.

Запобіжні захисні засоби призначені для автоматичного відключення агрегатів і машин при виході будь-якого параметра устаткування за межі допустимих значень, що виключає аварійні режими роботи.

На установках, що працюють під тиском більше атмосферного, використовують запобіжні клапани і мембранні вузли.

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

У разі можливого виділення токсичних парів і газів, або парів і газів, здатних утворювати вибухо- і пожежонебезпечні суміші, поблизу обладнання встановлюють стаціонарні автоматичні газоаналізатори. Останні при утворенні концентрації: токсичних речовин, що дорівнює ГДК, а концентрації горючих сумішей у межах 5–50 % нижньої межі займання включають аварійну вентиляцію. Основною функціональною ланкою є датчик, в якому у залежності від складу проби газу виникає і формується вихідний сигнал, пропорційний концентрації аналізованого компоненту. Вихідний сигнал датчика посилюється і надходить у вимірювальний пристрій, де відбувається оцінка і фіксація значення сигналу.

Поряд із газоаналізаторами з використанням електроенергії в машинобудуванні застосовують прилади аналогічного призначення без джерел електроенергії. Це газоаналізатори, які використовують фотоколориметричний метод аналізу, в основі якого – кольорова виборча реакція між індикатором в розчині або на стрічці і компонентом газоповітряної суміші; термокондуктометричний метод, заснований на зміні теплопровідності аналізованої суміші в залежності від вмісту в ній компоненту; оптичний метод, який використовує явище зміни оптичних властивостей аналізованих парів і газів при зміні їх кількісних характеристик; іонізаційний метод, в основу якого покладена залежність величини іонного струму, що виникає при іонізації аналізованих сумішей, від вмісту в них визначаємого компоненту.

Для запобігання від вибуху ацетиленових генераторів і трубопроводів при проскоці полум'я газового пальника, а також трубопроводів і апаратів, заповнених горючими газами, при проникненні в них кисню або повітря використовують водяні запобіжні затвори. За принципом дії і тиску робочого газу розрізняють запобіжні затвори відкритого (низького тиску) і закритого (середнього тиску) типу.

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										43
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Одним із видів запобіжних засобів є слабкі ланки в конструкціях технологічного обладнання, деталей і складальних одиниць, розраховані на руйнування (або неспрацювання) при перевантаженнях. Спрацювання слабкої ланки призводить до остановки машини на аварійних режимах. До слабких ланок відносяться: зрізаючі штифти і шпонки, що з'єднують вал з маховиком, шестернею або шківом, фрикційні муфти, що не передають руху при надмірних крутних моментах, плавкі запобіжники в електрообладнанні, розривні мембрани в установках з підвищеним тиском і т. п. Слабкі ланки діляться на дві основні групи: системи з автоматичним відновленням кінематичного ланцюга після того, як контрольований параметр прийшов в норму (наприклад, муфти тертя), і системи з відновленням кінематичного ланцюга шляхом заміни слабкої ланки (наприклад, запобіжники електроустановок).

Блокувальні пристрої виключають можливість проникнення людини в небезпечну зону або усувають небезпечний фактор на час перебування людини в цій зоні.

Велике значення цей вид засобів захисту має у разі огороження небезпечних зон і там, де роботу можна виконувати при знятій або відкритій огорожі. За принципом дії блокувальні пристрої ділять на механічні, електричні, фотоелектричні, радіаційні, гідравлічні, пневматичні, комбіновані.

Механічне блокування являє собою систему, що забезпечує зв'язок між огорожею і гальмівним (пусковим) пристроєм. Наприклад, для зняття огорожі кривошипно-шатунного механізму необхідно загальмувати і повністю зупинити привід механізму. Це здійснюється відключенням електродвигуна або перекладом ременя з робочого на холостий шків, при цьому важіль (напрямок руху якого показано стрілкою) дає можливість заірній планці вийти з направляючої. При зняттю огороженні агрегат неможливо запустити в роботу. За таким принципом блокують двері в

Инд. №подд	Подп. и дата				Инд. № докл.	Инд. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инд. №подд
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ				Лист
									44

приміщеннях випробувальних стендів, а також в інших, особливо небезпечних приміщеннях, в яких перебування людей під час роботи обладнання заборонено.

Електричне блокування застосовують на електроустановках з напруженням від 500 В і вище, а також на різних видах технологічного обладнання з електроприводом. Воно забезпечує можливість включення обладнання тільки при наявності огорожі. При електричному блокуванні в огорожу вбудовують кінцевий вимикач, контакти якого при закритому огороженні включаються в електричну схему управління обладнанням і допускають включення електродвигуна. При зняттю або неправильно встановленому огороженні контакти розмикаються і електричний ланцюг системи приводу виявляється розірваним.

Радіочастотне електричне блокування також застосовують для запобігання потрапляння людини в небезпечну зону. Принцип роботи блокування в цьому випадку заснований на застосуванні електромагнітних полів високої частоти, що випромінюються в простір генератором. У момент попадання людини в небезпечну зону високочастотний генератор подає імпульс струму до електромагнітного підсилювача і поляризованому реле. Контакти реле знеструмлюють схему магнітного пускача, при цьому забезпечується електродинамічне гальмування двигуна за десяти частки секунди. Час гальмування регулюється за допомогою змінного опору.

Фотоелектричне блокування засновано на принципі огороження небезпечної зони світловими променями зміни світлового потоку, що падає на фотоелемент, перетворюється в вимірювально-командному пристрої, який приводить в дію додаткові механізми захисного пристрою. Фотоелектричне блокування знаходить в даний час застосування в ковальсько-пресових і механічних цехах машинобудівних заводів.

Сигналізуючі пристрої дають інформацію про роботу технологічного обладнання, а також про небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які при

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист 45

цьому виникають. За призначенням системи сигналізації ділять на три групи: оперативні, попереджувальні та розпізнавальні. За способом інформації розрізняють сигналізацію звукову, візуальну, комбіновану (світлозвукову) і одоризаційну (по запаху); останню широко використовують в газовому господарстві.

Для візуальної сигналізації використовують джерела світла, світлові табло, підсвічування шкал вимірювальних приладів, підсвічування на мнемонічних схемах, колірне забарвлення, ручну сигналізацію. Для звукової сигналізації застосовують сирени або дзвінки.

Оперативна сигналізація застосовується при проведенні різноманітних технологічних процесів, а також на випробувальних стендах. Найчастіше подача сигналів проводиться автоматично. Для цього використовують різні вимірювальні прилади (вольтметри, гальванометри, манометри, термометри і т. д.), що забезпечені контактами, замикання яких відбувається при певних значеннях параметрів, що контролюються. Застосовують також реле, що спрацьовують на відхилення робочих параметрів даного технологічного процесу (тиск, температура і т. д.). Включення червоних сигнальних ламп проводиться при подачі на обладнання цеху небезпечної напруги. При знятті напруги включаються зелені сигнальні лампи. Оперативну сигналізацію використовують також для узгодження дій працюючих, зокрема кранівників та стропальників. Двостороння сигналізація влаштовується між насосною станцією і гідромоніторами.

Попереджувальна сигналізація призначена для попередження про виникнення небезпеки. Для цього використовують світлові і звукові сигнали, одоризатори, що приводяться в дію від різних приладів, які реєструють хід технологічного процесу. Підвидом попереджувальної сигналізації є газосигналізатори – прилади, які здійснюють звукову або світлову сигналізацію про досягнення заздалегідь встановленого значення концентрації аналізованого компонента (або суми компонентів) і не призначені для

Индв.№поддл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
										46
					XI.T.00.00.00 ПЗ					
Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

кількісної оцінки фактичного значення концентрації до або після моменту спрацьовування сигналізації. Налаштування газоаналізаторів проводиться аналогічно налаштуванню автоматичних газоаналізаторів у системах, що включають аварійну вентиляцію.

Спеціальні засоби захисту використовують при проектуванні різних видів устаткування. До них відносяться: дворучне включення машин (включення виконується двома ручками за допомогою двох пускових органів); системи вентиляції, джерела світла, освітлювальні прилади, теплоізоляція, глушники шуму пристрою для транспортування і зберігання ізотопів, захисне заземлення обладнання і т. д.

Засоби індивідуального захисту використовують при роботі в умовах всіляких небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Засоби індивідуального захисту слід застосовувати у тих випадках, коли безпека робіт не може бути забезпечена конструкцією обладнання, організацією виробничих процесів, архітектурно-планувальними рішеннями та засобами колективного захисту.

Із огляду на те, що у деяких випадках, зокрема на першій стадії впровадження нових технологічних процесів, а також при виконанні різних ремонтних і аварійних робіт, обслуговуючому персоналу доводиться виконувати різні роботи в несприятливих, а іноді і в небезпечних умовах, постановою уряду України про затвердження списків виробництв, цехів, професій і посад зі шкідливими умовами праці. Це дає право на безкоштовне лікувально-профілактичне харчування. Встановлено режим цього харчування і правила його видачі. Визначено також норми безкоштовного спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту.

Основою методології вибору засобів захисту є облік таких вимог. Вибір засобів захисту повинен здійснюватися з урахуванням вимог безпеки для кожного процесу або виду робіт. Засоби захисту повинні створювати найбільш сприятливі для організму людини співвідношення з навколишнім

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

Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						47

середовищем і забезпечувати оптимальні умови для трудової діяльності. Також повинен проводитися розрахунок часу, необхідний на експлуатацію засобів захисту в ході ведення технологічного процесу. Має здійснюватися визначення очікуваної економічної ефективності за рахунок поліпшення умов праці при введенні засобів захисту.

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

Список використаних джерел

1. Мутугуллина И. А. Устройство и расчет аппаратов воздушного охлаждения (АВО) : учебное пособие / И. А. Мутугуллина. – Бугульма : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. – 80 с.
2. Сидягин А. А. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения / А. А Сидягин, В. М. Косырев. – Н. Новгород : Наука, 2009 – 150 с.
3. Бахмат Г. В. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях / Г. В. Бахмат, Н. В. Еремин, О. А. Степанов. СПб. : Недра, 1994. – 512 с.
4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
5. Крюков Н. П. Аппараты воздушного охлаждения / Н. П. Крюков. М. : Химия, 1983. – 168 с.
6. 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.
7. Эмирджанов Р. Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р. Т. Эмирджанов, Р. А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
8. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
9. Марочник сталей и сплавов / Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В. и др. Под общей ред. А. С. Зубченко. – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.
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.

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.T.00.00.00 ПЗ					Лист
										49
					Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

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. Опасные зоны оборудования и средства защиты. Безопасность устройства и эксплуатации машин и механизмов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ohrana-bgd.narod.ru/mashin/mashin_089.html
17. Опасные зоны оборудования и средства защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/5318436/page:3/>
18. Опасные зоны оборудования. Классификация средств защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://safe-working.ru/library/lecture/read/42-opasnye-zony-oborudovaniya-klassifikatsiya-sredstv-zashchity>

Инв. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Зм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	XI.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
											50