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

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____
підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

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

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

Виконав:
студент групи ХМдн – 64р

Стуканов Олександр Сергійович

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2020

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

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

Курс 2 Група ХМдн – 64р

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Стуканов Олександр Сергійович

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

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів етанолу у кількості 3000 кг/год. під абсолютним тиском 1,2 атм. Температура атмосферного повітря становить 20°С.

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

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

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Сидягин А. А. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения: учеб. пособие для студентов вузов / А. А. Сидягин, В. М. Косырев. – Н. Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2009. – 150 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання жовтень 2019 р.

Керівник _____ ст. викл. Острога Р.О.
підпис

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 53 с., 6 рис., 1 табл., 1 додаток, 18 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленик апарату повітряного охолодження, складальні кресленики вузлів апарату – усього 4 аркуші графічної частини (3,0×А1).

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Ректифікаційна установка у виробництві етилового спирту. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів етанолу».

У роботі наведено опис технологічної схеми ректифікаційної установки. Розглянуто теоретичні основи процесу, особливості конструкції та принципу дії апарату повітряного охолодження типу АПГ, обґрунтовано вибір конструктивних матеріалів, наведено їх фізико-механічні та технологічні властивості. Також виконано технологічний і конструктивний розрахунки процесу і апарату, вибрано допоміжне обладнання. Проведеними перевірочними розрахунками на міцність та герметичність підтверджено механічну надійність проектованого апарату. У розділі «Охорона праці» розглянуто безпеку експлуатації герметичних систем, що працюють під тиском.

Ключові слова: СХЕМА, РЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА, ЕТАНОЛ, КОНДЕНСАТОР, ПОВІТРЯ, ОРЕБРЕННЯ, ГЕРМЕТИЧНА СИСТЕМА.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис об’єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	11
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату	15
2.1 Технологічні розрахунки	15
2.2 Конструктивні розрахунки	23
2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка	24
2.4 Вибір допоміжного обладнання	25
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	31
4 Монтаж та ремонт апарату	35
4.1 Монтаж апарату	35
4.2 Ремонт апарату	37
5 Охорона праці	40
Список літератури	52
Додаток – Специфікації до складальних креслеників	

Вступ

Апарати повітряного охолодження (АПО) надійно зарекомендували себе і склали окрему нішу серед іншого теплообмінного обладнання. Даний тип охолоджувачів широко використовується в хімічній, харчовій, нафто- і газопереробній промисловостях. Тобто усюди, де є необхідність у використанні екологічно чистих теплообмінних апаратів в умовах нестачі або високої вартості отримання хімічно чистої води використовуються АПО. Використання повітряного охолодження дозволяє прибрати з експлуатаційних витрат на теплообмінне обладнання наступні статті [1]:

– витрати на хімічну підготовку і прокачування води;
– боротьбу із замерзанням у зимовий період експлуатації;
– витрати, що пов’язані із очищенням стічних вод тощо.

Таким чином, застосування повітряного охолодження надає можливості проектувати нові потужності виробництв незалежно від джерел водопостачання. Місце будівництва може бути максимально наближене до запасів сировини або районів споживання готової продукції. Також заміна водяного охолодження на повітряне в уже діючих виробництвах надасть можливість не тільки скоротити споживання оборотного або прямого водопостачання, а й знизити, як уже відзначалося, експлуатаційні витрати. Експлуатаційні показники роботи систем повітряного охолодження з використанням АПО багато в чому визначаються температурою атмосферного повітря та значно поліпшуються при її зниженні щодо розрахункового значення [2].

Також слід зазначити, що при достатньо низьких температурах навколишнього середовища допускається експлуатація АПО у режимі вільної конвекції – коли вимикаються джерела живлення повітряних вентиляторів [1].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [3]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

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

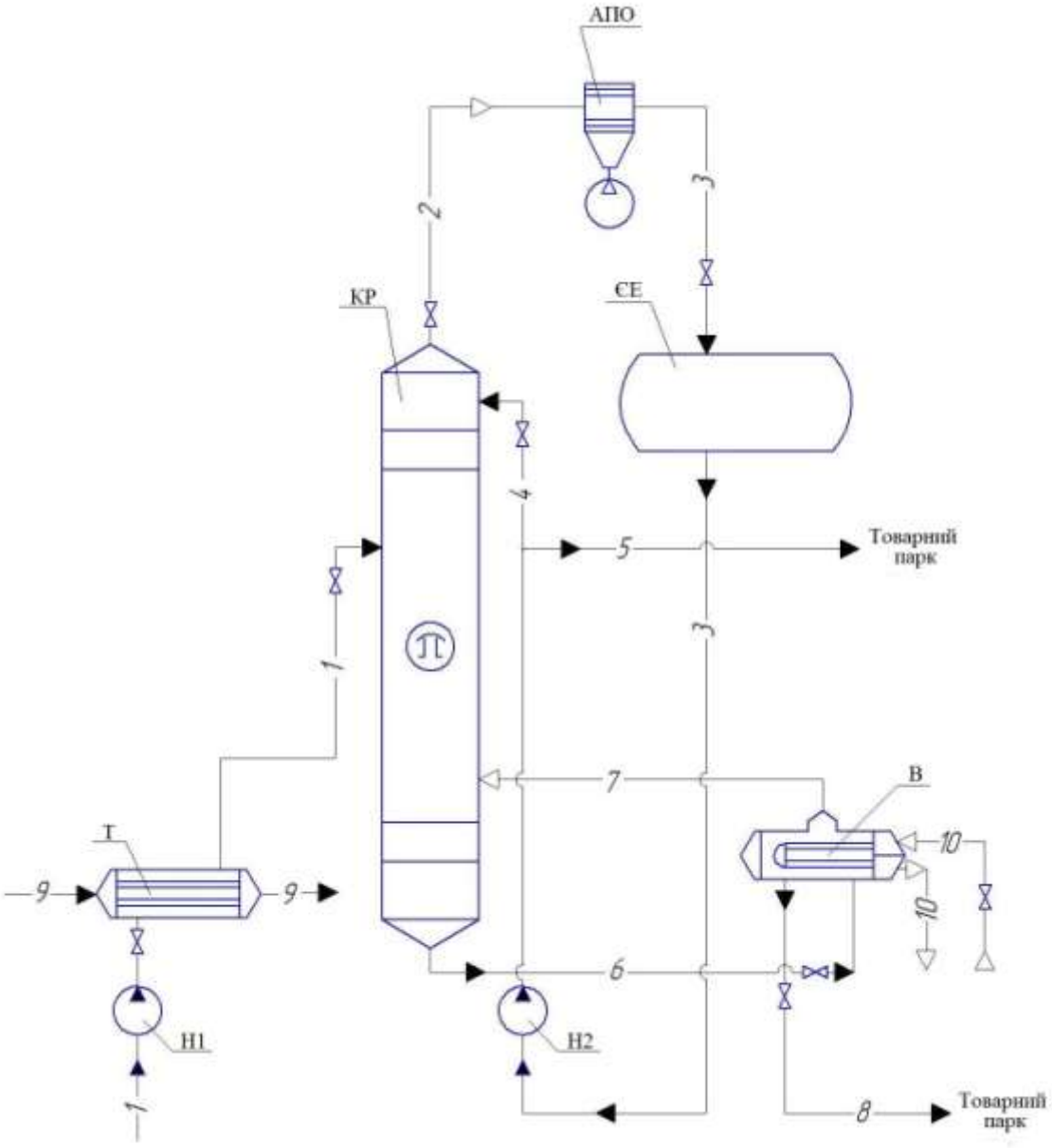

Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві етилового спирту

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

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідна двокомпонентна суміш насосом Н1 подається в теплообмінник-підігрівач Т, де рідка суміш нагрівається до температури кипіння. Далі рідина вводиться в колону ректифікації КР, де і відбувається її розділення на окремі компоненти. Пари етанолу (легколеткого компоненту) відводяться із верхньої частини колони і направляються в апарат повітряного охолодження (дефлегматор) АПО, де вони конденсуються і далі потік рідкого етанолу ділитися на дві частини. Перша частина – у вигляді флегми повертається в колону КР для зрошення її верхньої (концентраційної) частини, а друга частина – спрямовується у товарний парк.

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

1.2 Теоретичні основи процесу

Під теплообмінних апаратом розуміють такий апарат, де гарячий теплоносій віддає своє тепло холодному теплоносію. Рушійною силою такого процесу є різниця температур. Гарячим теплоносієм називається теплоносій із більш високою температурою, а холодний теплоносій – це теплоносій із менш високою температурою відповідно [4]. 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:

– 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).

Для усталеного процесу, коли температури в подібних точках теплоносіїв не змінюються у часі, тепловий потік знаходять за рівнянням [1]:

$$Q = K \cdot \Delta t_{CEP} \cdot F \,, \tag{1.1}$$

де K – загальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К);

Δt_{CEP} – середня різниця температур між теплоносіями, °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 [4]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CEP}}. \tag{1.1}$$

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

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

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м^2·К);

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 [5].

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює [5]:

$$\Delta t_{CEP} = \frac{\Delta t_{Б} - \Delta t_{M}}{\ln \frac{\Delta t_{Б}}{\Delta t_{M}}}, \tag{1.3}$$

де $\Delta t_{Б}$ 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]:

$$t_{CEP} = \theta_{CEP} \pm \Delta t_{CEP}. \tag{1.4}$$

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

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

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]:

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

де k – поправка на оребрення;

h – висота ребер труб, м;

u – крок між ребрами, м;

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

$d_н$ – 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 [8].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

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

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К);

l – визначальний геометричний розмір, м;

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

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

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

де w – швидкість теплоносія, м/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м^3;

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

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}, \tag{1.8}$$

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

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах і каналах рекомендуються наступні критеріальні рівняння [8]:

– для ламінарного режиму

$$Nu = 0,74 \cdot \left(\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr}\right)^{0,2} \cdot \left(Gr \cdot \mathrm{Pr}\right)^{0,1}, \tag{1.9}$$

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

– для перехідного режиму

$$Nu = 0,008 \cdot \mathrm{Re}^{0,9} \cdot \mathrm{Pr}^{0,43}; \tag{1.10}$$

– для турбулентного режиму

$$Nu = 0,023 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,3}. \tag{1.11}$$

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Апарат повітряного охолодження (рис. 1.2) складається із пучка теплообмінних труб 1, у середину яких подаються пари етанолу. Зовнішня поверхня труби охолоджується атмосферним повітрям, який нагнітається вентилятором 3, що приводиться в обертання електродвигуном 4. Для підвищення ефективності нагнітання повітря застосований дифузор 2. Конструкція встановлена на рамі 5.

Рисунок 1.2 – Віртуальна модель апарату повітряного охолодження

Регулювання подачі повітря може здійснюватися за рахунок спеціальних жалюзей, а також можливе регулювання за рахунок зміни кута нахилу лопатей вентилятора чи (рідше) зміні частоти обертання валу електродвигуна.

Основними елементами апарату є: теплообмінні секції, вентилятор, аеродинамічні елементи і несучі конструкції.

Теплообмінна секція (рис. 1.3) являє собою пучок оребрених труб, розташованих у шаховому порядку по ходу руху охолоджуючого повітря. Кінці труб закладені в трубні решітки та закриті кришками з отворами для приєднання зовнішньої трубопровідної обв’язки.

Вентилятори з приводом від електродвигуна призначені для подачі охолоджуючого повітря в теплообмінні секції. Аеродинамічні елементи АПО включають обичайку вентилятора, дифузор і колектор. Несучі конструкції, на яких монтуються теплообмінні секції, виконуються залізобетонними.

Теплопередача в апаратах повітряного охолодження відбувається за принципом протитечії, оскільки при цьому забезпечується: найбільший середній температурний напір, що пов’язано зі скороченням розміру поверхні теплопередачі; найкраще використання середовищ, в сенсі отримання найбільшої зміни температур теплоносіїв при мінімальній їх витраті.

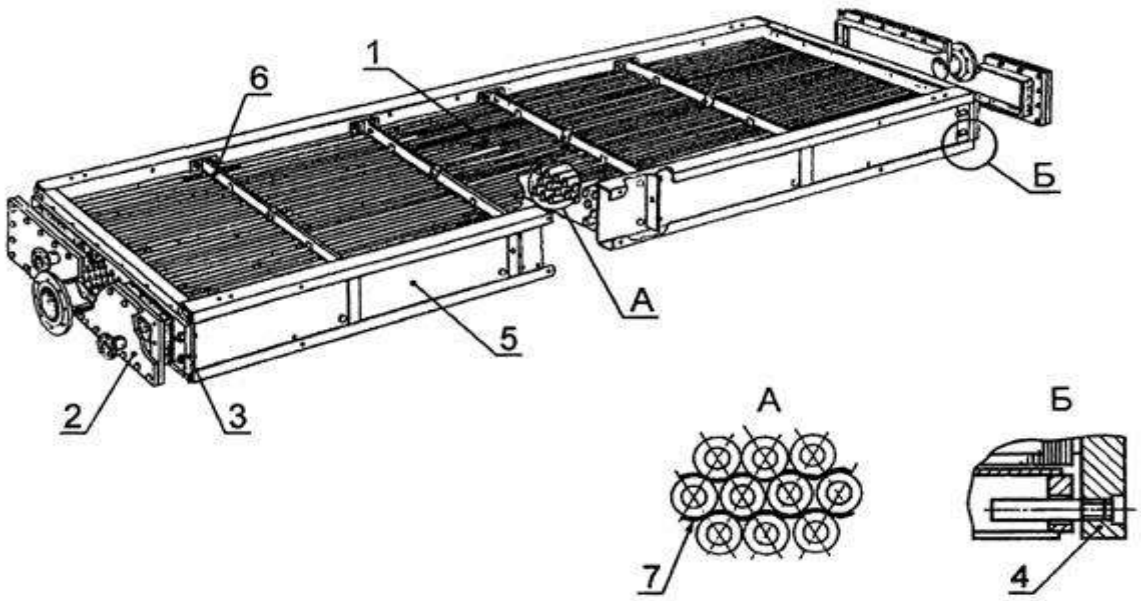

Рисунок 1.3 – Конструкція теплообмінної секції: 1 – трубний пучок; 2 – кришка камери; 3, 4 – нерухома і рухома трубні дошки; 5 – бокова стінка; 6 – балка; 7 – дистанційний елемент

Вентилятором повітря продувається через міжтрубний простір. Пучок труб охолоджується зовні. За рахунок тепловідведення через поверхню охолоджується продукт, що протікає всередині трубок. Щоб повітря рівномірно розподілялося по всій охолоджуючої поверхні труб, вентилятор з'єднується з трубними пучками за допомогою дифузорів.

Для конденсатора приймаємо оребрені біметалічні труби (рис. 1.4) з коефіцієнтом оребрення φ = 9.

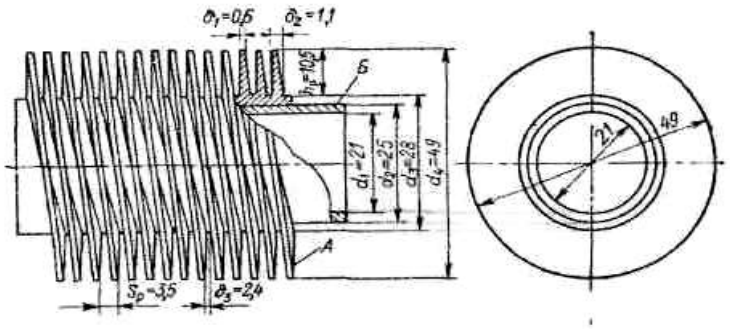

Рисунок 1.4 – Оребрені біметалеві труби

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

Для виготовлення хімічних апаратів повинні використовуватися конструкційні матеріали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм/рік. Під швидкістю корозії металів розуміють проникнення корозії в глибину металу [9].

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 проектованого апарату повітряного охолодження приймаємо біметалічні труби виконання Б3. Така труба складається із внутрішньої (сталевої) 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 ущільнення з’єднань використовуємо прокладковий матеріал пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси [10].

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Технологічні розрахунки

Розрахунок проводимо у відповідності до методик [1, 7].

Пари етанолу надходять у теплообмінний апарат уже при температурі конденсації. При тиску 12 атм. температура конденсації/випаровування етилового спирту становить 82°С [11].

Таким чином, теплове навантаження конденсатора розраховується як:

$$Q = Q_{конд} = G_п \cdot r_г, \quad (2.1)$$

де $G_п$ – масова витрата етанолу, кг/с;

$r_г$ – питома теплота конденсації етанолу, кДж/кг.

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

Орієнтовна поверхню теплообміну складе:

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

де q – теплонапруженість апарату, Вт/м^2.

При конденсації парогазової суміші q = 750–1000 Вт/м^2 [5].

$$F_{max} = \frac{700 \cdot 10^3}{850} = 824\ м^2.$$

За аеродинамічною характеристикою вентилятора [12] визначаємо величини, віднесені до стандартних умов (кут установки лопатей 15°):

– об’ємна витрата повітря V_0 = 210000 м^3/год.;

– напір $P_{ВО}$ = 36 · 9,81 = 353 Па.

Об’ємна витрата повітря, його густина та напір вентилятора за робочих умов (температура 293 К; атмосферний тиск 101325 Па):

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

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

$$P_в = P_{во} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (2.5)$$

де ρ_0 – густина повітря за температури 273 К, кг/м^3.

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

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

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

Масова витрата повітря одним вентилятором:

$$G_в = V_в \cdot \rho_в; \quad (2.6)$$

$$G_в = 225385 \cdot 1,2 = 270462 \ \frac{кг}{год.}.$$

Визначаємо кінцеву температура повітря:

$$t_{2К} = t_{2Н} + \frac{Q}{c_в \cdot G_в}, \quad (2.7)$$

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

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

$$t_{2К} = 20 + \frac{700 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1,005 \cdot 10^3 \cdot 270462} = 29,3\,^{\circ}C.$$

Температурну схему процесу конденсації етанолу представлено на рис. 2.1.

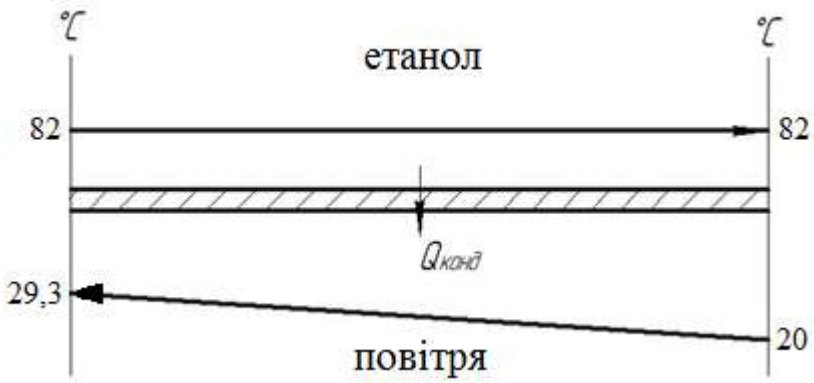

Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу конденсації етанолу

Середня різниця температур визначається за середньо логарифмічною залежністю:

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{\Delta t_Б - \Delta t_М}{\ln \frac{\Delta t_Б}{\Delta t_М}}, \qquad (2.8)$$

де $\Delta_Б$ і $\Delta_М$ – відповідно більша та менша різниці температур, °С.

$$\Delta t_Б = t_1 - t_{2Н} = 82 - 20 = 62\,^{\circ}C;$$

$$\Delta t_М = t_1 - t_{2К} = 82 - 29,3 = 52,7\,^{\circ}C;$$

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{62 - 52,7}{\ln \frac{62}{52,7}} = 57,2\,^{\circ}C.$$

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

– зовнішня обребрена 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 оребрення	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

Характеристика оребреної біметалічної (сталево-алюмінієвої) труби:

– зовнішній діаметр оребрення, мм	49
– коефіцієнт оребрення	9
– коефіцієнт збільшення поверхні	12
– висота ребер, мм	14
– крок оребрення, мм	3
– товщина ребер, мм	0,85
– сумарна поверхня найбільш вузького перерізу, м^2	5,35
– маса трубного пучка, кг	1980

Схема оребреної теплообмінної труби представлена на рис. 2.2.

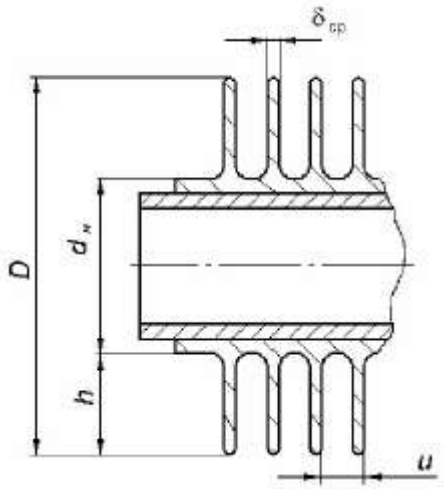

Рисунок 2.2 – Схема оребреної біметалічної труби

Швидкість повітря у найбільш вузькому перерізі пучка труб:

$$w_{мт} = \frac{V_B}{f_{мт}}, \tag{2.9}$$

де $f_{мт}$ – сумарна поверхня найбільш вузького перерізу, м^2.

$$w_{мт} = \frac{62,6}{5,35} = 11,7 \text{ м/с}.$$

Критерій Прандтля для повітря:

$$\mathrm{Pr} = \frac{c_в \cdot \mu_в}{\lambda_в}, \tag{2.10}$$

$$\mathrm{Pr} = \frac{1,005 \cdot 10^3 \cdot 18,5 \cdot 10^{-6}}{2,65 \cdot 10^{-2}} = 0,7.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря при коефіцієнті оребрення φ = 9:

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

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

$$\alpha_2 = 0,5 \cdot 2,65 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{11,7 \cdot 1,2}{18,5 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,65} \cdot 0,7^{0,35} = 78 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{пр} = C_1 \cdot \alpha_2, \qquad (2.12)$$

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

$$\alpha_{пр} = 0,8 \cdot 78 = 62,4 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони етанолу [8]:

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

де Nu – критерій Нусельта;

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності етанолу, Вт/(м·К);

d_1 – внутрішній діаметр труби.

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

Дійсна швидкість етанолу в трубах:

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

де n_x – число ходів по трубах;

V_1 – об'ємна витрата етанолу, м^3/с;

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

n_c – кількість секцій.

Об’ємна витрата етанолу становить:

$$V_1 = \frac{G}{\rho}; \tag{2.15}$$

$$V_1 = \frac{3000}{3600 \cdot 736} = 1{,}13 \cdot 10^{-3} \ \frac{м^3}{с}.$$

Загальна площа внутрішнього трубного простору однієї секції:

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

де n – кількість труб в одній секції.

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

Підставляючи отримані значення, знаходимо усереднену швидкість етанолу в трубному просторі:

$$w_1 = \frac{1 \cdot 1{,}13 \cdot 10^{-3}}{0{,}028 \cdot 3} = 0{,}01 \ \frac{м}{с}.$$

За (1.7) визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{0{,}01 \cdot 0{,}021}{6{,}1 \cdot 10^{-7}} = 463.$$

За (1.8) визначаємо критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{45{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 3{,}3 \cdot 10^{3}}{0{,}156} = 9{,}63.$$

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

Попередньо розраховуємо критерій Грасгофа:

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

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

$$Gr = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}021^3 \cdot 736^2}{45{,}5 \cdot 10^{-5}} \cdot 1{,}08 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 584;$$

$$Nu = 0{,}74 \cdot (463 \cdot 9{,}63)^{0{,}2} \cdot (584 \cdot 9{,}63)^{0{,}1} = 43{,}9.$$

Із рівняння (1.6) визначаємо коефіцієнт тепловіддачі зі сторони етанолу:

$$\alpha_1 = \frac{43{,}9 \cdot 0{,}156}{0{,}021} = 326 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

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

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

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з боку етанолу, Вт/(м^2·К);

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

r_1 і r_2 – термічні опори можливих забруднень відповідно з боку етанолу і повітря, (м^2·К)/Вт; за [5]: $r_1 = 0{,}0006$ (м^2·К)/Вт; $r_2 = 0{,}0004$ (м^2·К)/Вт.

$$К = \frac{1}{12 \cdot \left(\frac{1}{326} + 0{,}0006\right) + \frac{1}{62{,}4} + 0{,}0004} = 16{,}6 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

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

$$F_Р = \frac{700 \cdot 10^3}{16,6 \cdot 57,2} = 737 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні становить:

$$\beta = \frac{F_Т - F_Р}{F_Р} \cdot 100\%; \qquad (2.19)$$

$$\beta = \frac{875 - 737}{875} \cdot 100\% = 15,8\%.$$

Уточнений розрахунок показав, що вибраний теплообмінний апарат задовольняє вимогам технологічного процесу.

Діаметри штуцерів для входу і виходу теплоносіїв.

Визначаємо діаметри штуцерів для введення парів і виходу рідкого етанолу:

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

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

w – швидкість руху продукту: для газоподібного етанолу $w_п$ = 5–15 м/с [8], приймаємо $w_п$ = 15 м/с; для рідкого етанолу $w_ж$ = 0,5–2,5 м/с [8], приймаємо $w_п$ = 0,5 м/с.

– діаметр штуцера для введення парів етанолу

Густина парів етанолу:

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

де ρ_0 – густина парів етанолу за н.у.; ρ_0 = 1,87 кг/м^3 [10].

$$\rho_1 = 1,87 \cdot \left(\frac{273}{273+82}\right) \cdot \frac{0,12}{0,1} = 1,73 \ \frac{кг}{м^3};$$

$$V_1 = \frac{3000}{3600 \cdot 1,73} = 0,482 \ \frac{м^3}{с};$$

$$d_A = \sqrt{\frac{0,482}{0,785 \cdot 15}} = 0,2 \text{ м}.$$

Приймаємо 2 окремих патрубки діаметром d_A = 100 мм [12].

– діаметр штуцера для виходу рідкого етанолу

$$d_Б = \sqrt{\frac{1,13 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,054 \text{ м}.$$

Так само приймаємо 2 окремих патрубки діаметром $d_Б$ = 30 мм [12].

2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка

Аеродинамічний опір пучка труб:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{\rho_В}{g} \left(w_y\right)^2 n_P \left(\frac{S_P}{d_э}\right)^{-0,72} \cdot Re^{-0,24}, \qquad (2.22)$$

де $\rho_в$ – густина повітря при його початковій температурі;

w_y – швидкість в стиснутому перерізі оребреного трубного пучка;

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

$S_р$ – крок ребер; $S_р$ = 0,003 м;

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

Re – критерій Рейнольдса, віднесений до діаметра труб d_3.

$$\mathrm{Re} = \frac{w_y \cdot d_3}{\nu_в}, \qquad (2.23)$$

де $\upsilon_в$ – кінематична в'язкість повітря; за [11] $\upsilon_в = 15{,}8 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

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

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

$$\Delta P = 9{,}7 \cdot \frac{1{,}2}{9{,}81} \cdot 11{,}7^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0{,}003}{0{,}028}\right)^{-0{,}72} \cdot 20734^{-0{,}24} \approx 300 \text{ Па}.$$

Обраний раніше вентилятор ЦАГІ КК-2М розвиває напір до 403 Па, а, отже, він із запасом забезпечить працездатність проектованого апарату.

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір насоса для подачі зрошення в колону [12].

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

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

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:

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

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

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

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

Далі отримаємо:

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

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

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

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 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:

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

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:

$$h_П = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \tag{2.28}$$

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

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_р \cdot g} + H_Г + h_П, \tag{2.29}$$

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

$H_Г$ – геометрична висота підйому рідини.

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

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_П = \rho_р \cdot g \cdot Q \cdot H, \tag{2.30}$$

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

H – напір насоса, м.

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

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

$$N = \frac{N_П}{\eta_{пер} \cdot \eta_н}, \qquad (2.31)$$

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

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

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

За [12] вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 8-18 з наступними параметрами: об'ємна подача насоса 8 м^3/год.; напір насоса 18 м; потужність, споживана насосом 6,5 кВт; частота обертання 1250 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності для рідкого етанолу [8].

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:

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

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

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

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

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

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

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

Приймаємо висоту ємності 5 м.

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

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

– при розрахункових параметрах

$$s_{1R} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}}, \qquad (3.1)$$

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

K_0 – коефіцієнт послаблення кришки;

D_R – розрахункова довжина кришки; за [13] $D_R = D = 1380$ мм;

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

[σ] – допустиме напруження в робочому стані.

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

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

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

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

Коефіцієнт послаблення для кришки, що має кілька отворів:

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

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

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

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

$$s_{1R} = 0,41 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0,12}{154 \cdot 1,0}} = 20,1 \text{ мм} .$$

– при гідравлічному випробуванні

$$s_{1R\,в} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p_в}{[\sigma]_в \cdot \varphi}} , \qquad (3.4)$$

де $p_в$ – пробний тиск при гідравлічному випробуванні, МПа;

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

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [13]:

$$p_в = \max \begin{Bmatrix} 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ p + 0,3 \end{Bmatrix}, \qquad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі 20°С.

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

Визначаємо пробний тиск при гідравлічному випробуванні:

$$p_в = \max \begin{Bmatrix} 1,25 \cdot 0,12 \cdot \frac{160}{154} = 0,16 \\ 0,12 + 0,3 = 0,42 \end{Bmatrix} = 0,42 \text{ МПа} .$$

Допустиме напруження при гідравлічному випробуванні:

$$[\sigma]_в = \frac{\sigma_{т\,20}}{1{,}1}, \qquad (3.6)$$

де $\sigma_{т\,20}$ – мінімальне значення межі плинності матеріалу при температурі 20°С;

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

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

$$s_{1R\,в} = 0{,}41 \cdot 1{,}27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0{,}42}{218 \cdot 1{,}0}} = 31{,}5 \text{ мм}.$$

Прибавка до розрахункової товщини стінки [13]:

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

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:

$$c_1 = П \cdot \tau, \qquad (3.8)$$

де П – проникність матеріалу; П = 0,1 мм/рік;

τ – термін служби апарату; τ = 15 років.

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

Виконавча товщина плоскої кришки, яка працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = \max\left(s_{1R}; s_{1R_в}\right) + c; \tag{3.9}$$

$$s_1 = \max(20{,}1; 31{,}5) + 1{,}5 = 31{,}5 + 1{,}5 = 33 \text{ мм}.$$

Округлюючи до найближчого більшого стандартного значенням, отримуємо s_1 = 34 мм.

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

$$\frac{s_1 - c}{D_R} \le 0{,}1; \tag{3.10}$$

$$\frac{34 - 1{,}5}{1380} = 0{,}024 < 0{,}1.$$

Отже, умова застосовуваності розрахункових формул виконується.

4 Монтаж та ремонт апарату

4.1 Монтаж апарату [14, 15]

Монтаж апаратів повітряного охолодження проводитися у максимально зібраному вигляді – уже зі встановленими вузлами трубопроводів та металоконструкціями каркасів. Установці апарату в проектне положення передує 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 вантажопідйомних 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 дифузорів 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 слабини.

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 стикуючих 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).

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°С.

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.

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 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 корпуса 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 моментами. У

такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

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

5. Покриття вапном (накипом). 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.

5 Охорона праці

Безпека експлуатації герметичних систем, що працюють під тиском.

На підприємствах різних галузей промисловості широко застосовуються системи, що працюють під тиском. До таких систем належать: парові та водогрійні котли; компресори та повітрозбірники (ресивери); трубопроводи для стисненого повітря, газу та пари; балони та цистерни для транспортування і зберігання зріджених, стиснених і розчинених газів, а також інші посудини, що працюють під тиском.

Використання енергії стисненого повітря, водяної пари, а також різних газів та рідин дозволяє вдосконалити технологію, механізувати та автоматизувати виробничі процеси. Однак посудини, апарати, трубопроводи, що працюють під тиском, є джерелами підвищеної небезпеки. Основна небезпека полягає в тому, що у разі руйнування такої посудини чи апарата може статися значне вивільнення енергії внаслідок раптового адіабатичного розширення газу чи пари, – так званий фізичний вибух. Так, потужність вибуху (розриву) посудини місткістю 1 $м^3$, в якій знаходиться повітря під тиском 1 МПа (10 $кгс/см^2$), становить близько 13 МВт. Якщо в посудині за тих же умов знаходиться водяна пара, то потужність вибуху (розриву) вже буде близько 200 МВт. У результаті такого вибуху можуть статися значні руйнування та важкі травми у людей.

Із огляду на підвищену небезпеку до обслуговування систем (посудин), що працюють під тиском, допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження, навчання за затвердженою програмою, атестовані й мають посвідчення на обслуговування відповідного устаткування (посудини, апарата). Підготовка таких працівників здійснюється у навчальних закладах (професійно-технічних училищах, навчально-курсових комбінатах), які одержали в установленому порядку дозвіл Держгірпромнагляду на проведення такого навчання. Періодичні перевірки знань працівників, які обслуговують системи, що працюють під тиском, здійснюються не менше одного разу на рік.

Адміністрація підприємства зобов'язана утримувати системи, що працюють під тиском у справному стані, який забезпечує безпеку їх обслуговування та надійність роботи. На підприємствах повинні бути розроблені, затверджені, вивішені на робочих місцях та видані під розписку обслуговуючому персоналу інструкції щодо безпечного обслуговування таких систем.

На підприємствах в установленому порядку призначається особа, на яку покладається відповідальність за справний стан та безпечну експлуатацію систем (посудин), що працюють під тиском [16].

Посудинами, що працюють під тиском називаються герметично закриті ємкості, які призначені для здійснення в них хімічних і теплових процесів, а також для зберігання та перевезення стиснених, зріджених і розчинених газів та рідин.

Посудини, що працюють під тиском належать до об'єктів з підвищеною небезпекою, тому при їх виготовленні та експлуатації необхідно дотримуватись вимог ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють підтиском».

Основними причинами аварій (вибухів) балонів із зрідженими, стисненими та розчиненими газами є:

– дефекти та неточності, допущені при їх виготовленні (дефекти зварних швів, різьби вентиля, горловини балона);

– перевищення тиску газу в балоні внаслідок його заповнення понад норму;

– нагрівання балона під дією сонячних променів, нагрівальних приладів, відкритого вогню, надзвичайно швидкого наповнення газом;

– падіння та удари балонів;

– помилкове наповнення балона іншим газом;

– швидкий відбір газу з балона, який може викликати іскри у струмені газу; попадання масла на вентиль кисневого балона та інші.

Нещасні випадки (травмування), зазвичай, стаються при транспортуванні, завантаженні та падінні балонів.

Посудини, що працюють під тиском до пуску в роботу повинні бути зареєстровані в експертно-технічних центрах (ЕТЦ).

Посудини, що працюють під тиском, піддаються технічному опосвідченню до пуску в роботу та періодично в процесі експлуатації, а в необхідних випадках – позачерговому опосвідченню; технічне опосвідчення проводиться у визначені відповідно ДНАОП 0.00-1.07-94 терміни експертами ЕТЦ, а посудини, що не реєструються в органах Держпромгірнагляду – особою, відповідальною за їх справний стан і безпечну експлуатацію. Окрім того, технічне опосвідчення посудин, цистерн, балонів і бочок може проводитись на спеціальних ремонтно-випробувальних пунктах, на підприємствах-виготовлювачах, наповнювальних станціях, які мають відповідний дозвіл органів Держпромгірнагляду.

Технічне опосвідчення складається із зовнішнього, внутрішнього оглядів і гідравлічного випробовування. Зовнішні і внутрішні огляди мають за мету при періодичних і позачергових опосвідченнях встановити справність посудини і можливість її подальшої роботи. При цьому звертається увага на виявлення можливих тріщин, надривів, випинів і корозії на внутрішніх та зовнішніх поверхнях стінок, слідів пропусків у зварних і клапанних з'єднаннях. Гідравлічне випробовування посудин проводиться тільки при задовільних результатах зовнішнього і внутрішнього оглядів. Його мета – перевірка міцності елементів посудини та щільності з'єднань. Величина пробного тиску визначається, виходячи із дозволеного тиску для посудини. Під пробним тиском посудина повинна перебувати 5 хв., якщо відсутні інші вказівки підприємства-виготовлювача. Посудини, що працюють під тиском шкідливих речовин (рідин і газів) 1 і 2-го класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76 підлягають випробуванню на герметичність повітрям або інертним газом під тиском, що дорівнює робочому тиску. Результати технічного опосвідчення, а також термін наступ-

ного, записуються у паспорт встановленої форми, який повинна мати кожна посудина, що працює під тиском.

Безпека при експлуатації котельних установок. Основними причинами аварій при експлуатації парових та водогрійних котлів можуть бути:

– різке зниження рівня води внаслідок порушення герметичності системи;

– перевищення робочого тиску при несправних запобіжних пристроях та контрольно-вимірювальних приладах;

– порушення водного режиму (утворення накипу внаслідок використання води з високою твердістю);

– дефекти, допущені при виготовленні та ремонті котлів;

– зниження механічної міцності котла в процесі експлуатації (корозія металу);

– порушення правил експлуатації та режимів роботи котлів.

Нещасні випадки, в основному, пов'язані з доторканням до нагрітих поверхонь котлів та інших частин системи теплопостачання.

Наявність високого тиску і температури води та пари у водогрійних і парових котлах створюють підвищену небезпеку при їх експлуатації. ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів» встановлює вимоги до проектування, будови, виготовлення, монтажу, ремонту і експлуатації парових котлів, автономних пароперегрівачів і економайзерів з робочим тиском більше 0,07 МПа (0,07 кгс/см^2), водогрійних котлів і автономних економайзерів з температурою води вище 115°С.

Кожен котел піддається технічному опосвідченню інспектором (експертом) органів Держпромгірнагляду до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації, а в необхідних випадках – позачерговому опосвідченню. Технічне опосвідчення котлів складається із зовнішнього і внутрішнього оглядів (не рідше одного разу в 4 роки) та гідравлічного випробовування (не рідше одного разу в 8 років). Час витримки під пробним тиском повинен бути не меншим

ніж 10 хвилин. Після цього тиск знижується до робочого, при якому і проводиться огляд всіх зварних, вальцювальних, клепаних і роз'ємних з'єднань. Результати технічного опосвідчення записуються в паспорт котла із зазначенням термінів наступного опосвідчення.

Основні заходи щодо запобігання вибухів та аварій спрямовані на точне дотримування норм експлуатації парових та водогрійних котлів. Для забезпечення безпечних умов і розрахункових режимів експлуатації та керування роботою всі котли повинні бути оснащені: запобіжними клапанами (не менше двох); манометрами; термометрами; покажчиками рівня води (не менше двох, за винятком прямоточних котлів); запірною і регулювальною апаратурою; приладами безпеки і пристроями, для живлення котлів водою.

Парові і водогрійні котли при камерному спалюванні палива повинні бути обладнані автоматичними пристроями для припинення подачі палива у топку в наступних випадках: погасання факела у топці; вимкнення всіх димососів; вимкнення всіх дуттєвих вентиляторів; зниження рівня води (для прямоточних котлів – витрати води через котел) нижче допустимого. На котлах необхідно встановити звукові сигналізатори верхнього і нижнього граничних рівнів води, які вмикаються автоматично.

Безпека при експлуатації компресорних установок. Стаціонарні та пересувні компресори, а також компресорні установки знаходять широке застосування в багатьох галузях промисловості. Робота компресорного устаткування пов'язана з виникненням низки небезпечних та шкідливих чинників, обумовлених наявністю у компресорах рухомих частин, високого тиску та температури, а також можливістю утворення вибухонебезпечних сумішей з продуктів розкладу мастильних матеріалів і повітря.

До основних причин аварій та вибухів компресорних установок належать:

– дефекти, допущені при їх виготовленні чи ремонті (тріщини, пропуски у зварних швах, розриви прокладок і т. п.);

– підвищення температури стисненого повітря або нагрівання частин компресорної установки вище допустимого внаслідок незадовільного охолодження;

– підвищення тиску вище допустимого внаслідок несправності засобів захисту;

– потрапляння пилу, вологи, парів мастильних речовин, гасу, бензину тощо в камеру стискання;

– накопичення зарядів статичної електрики (пасові передачі, тертя струменя стисненого повітря об стінки);

– незадовільні експлуатація та нагляд за установками.

Найбільшу небезпеку при високій температурі в системі компресорної установки являють пари мастильних речовин, які в атмосфері стисненого повітря стають вибухонебезпечними вже при температурі 250–300 °С. Пари мастила у суміші з повітрям можуть займатися навіть від іскри електричного розряду, тому для змащення рухомих частин компресора застосовують спеціальні мастила з високою температурою займання. Для зменшення температури стисненого повітря застосовують повітряне (для компресорів низького тиску до 0,7 МПа) та водяне (для компресорів високого тиску) охолодження компресорних установок.

Для забезпечення безпеки при експлуатації компресорних установок вони повинні бути оснащені відповідними запобіжними пристроями та контрольно-вимірювальними приладами.

Компресорні установки високого тиску комплектують ще й системою аварійного захисту, яка забезпечує звукову та світлову сигналізацію при припиненні подачі води для охолодження, перевищенні допустимої температури стисненого газу, і автоматичну зупинку компресора, якщо тиск у системі мащення буде менше допустимого, при надмірному тиску в установці та при інших небезпечних ситуаціях.

За правильну та безпечну експлуатацію компресорної установки та повітропроводів відповідає особа, призначена наказом по підприємству, і яка має закінчену технічну освіту, спеціальне посвідчення та практичний досвід роботи.

Безпека при експлуатації трубопроводів. Трубопроводи призначенні для транспортування стисненого повітря, води, пари, різних газів та рідин.

Причинами розгерметизації в системах трубопроводів для стисненого повітря, газу чи пари можуть бути:

– дефекти при зварюванні труб;

– корозія металу і, як наслідок, зменшення товщини стінок труб;

– підвищення тиску вище допустимого;

– замерзання конденсату;

– деформації внаслідок теплового розширення;

– механічні пошкодження трубопроводів.

Для швидкого визначення вмісту трубопроводів, а відтак і дотримання працівниками відповідних вимог безпеки при наближенні до них, встановлено десять груп речовин і відповідне розпізнавальне пофарбування трубопроводів, якими вони транспортуються: перша – вода (зелений), друга – пара (червоний), третя – повітря (синій), четверта і п'ята – горючі та негорючі гази, включаючи скраплені (жовтий), шоста – кислоти (оранжевий), сьома – луги (фіолетовий), восьма і дев'ята – горючі і негорючі рідини (коричневий), і нульова – інші речовини (сірий).

Розрізнювальне пофарбування трубопроводів проводиться по всій їх довжині або на окремих ділянках залежно від місця розташування, освітленості, розмірів і т. п. Для того, щоб виділити вид небезпеки на трубопроводи наносять сигнальні кольорові кільця:

– червоні – для легкозаймистих, вибухо- і вогненебезпечних речовин;

– жовті – для шкідливих і небезпечних речовин (отруйні, токсичні, радіоактивні);

– зелені – для безпечних і нейтральних речовин.

Іноді для конкретизації виду небезпеки додатково до сигнальних кольорових кілець застосовують попереджувальні знаки, маркувальні щитки та написи на трубопроводах у найбільш небезпечних місцях комунікацій.

Прокладання трубопроводів на території підприємства може бути підземним (у каналах та безканальне), наземним (на опорах) та надземним (на естакадах, колонах, стінах будівель тощо). При можливості доцільно здійснювати наземне та надземне прокладання трубопроводів, оскільки тоді легко здійснювати огляд та перевірку їх стану. Крім того, термін використання таких трубопроводів у 2–3 рази більший ніж у підземних.

Трубопроводи виготовляють із суцільнотягнутих труб зі зварними з'єднаннями. Для полегшення монтажу та ремонту на трубопроводі у зручних та доступних місцях встановлюють фланцеві з'єднання. Трубопроводи прокладають з певним ухилом (1:500) за напрямком руху газів, а в низькорозташованих місцях встановлюють сепаратори із спускними кранами для вилучення конденсату та води.

З метою запобігання виникнення теплових напружень, які можуть спричинити розриви при охолодженні труб або вигини при їх нагріванні, на трубопроводах передбачаються компенсаційні елементи: компенсаційні петлі, ліроподібні труби, сальникові компенсатори і т. п. Найбільш розповсюдженими є П-подібні компенсаційні петлі, які дозволяють рівномірно розподілити теплові деформації по трубопроводу.

Для забезпечення безпеки на трубопроводі повинні бути встановлені справні та належним чином відрегульовані редукційні, зворотні, запірні та запобіжні клапани. Редукційні клапани (регулятори тиску) підтримують у системі задані значення тиску незалежно від зміни витрати газу чи рідини споживачами. Зворотні клапани пропускають газ чи рідину по трубопроводу лише в одному напрямку, тому запобігають зворотному їх ходу при виникненні аварійних ситуацій (наприклад, займанні у трубопроводі горючого газу). Зворотні клапани при перевищенні допустимого тиску автоматично відкриваються і частина газу чи рідини викидається в атмосферу чи утилізаційний канал. Якщо

по трубопроводу транспортуються отруйні, токсичні, вибухо- чи пожежонебезпечні гази або рідини, то запобіжні клапани повинні бути закритого типу (при їх відкриванні відбувається викид газу чи рідини у закриту систему).

Трубопроводи періодично підлягають зовнішнім оглядам та гідравлічним випробовуванням. При зовнішніх оглядах визначається стан зварних та фланцевих з'єднань, сальників, перевіряються ухили, прогини, міцність несучих опор та конструкцій. При гідравлічних випробовуваннях перевіряється герметичність та міцність трубопроводу. Якщо під час гідравлічного випробовування тиск у трубопроводі не впав, а на зварних швах, фланцевих з'єднаннях, корпусах запобіжних пристроїв не виявлено тріщин, розривів, витікань, то результат випробовування вважається задовільним.

Таким чином, безпека експлуатації трубопроводів забезпечується їх правильним прокладанням, якісним монтажем, встановленням компенсаційних елементів, необхідних запобіжних пристроїв та арматури, контролем їх технічного стану та своєчасним ремонтом.

Безпека при експлуатації балонів. Балони призначенні для зберігання, перевезення та використання стиснених (азот, повітря, кисень, сірководень), зріджених (аміак, сірчистий ангідрид, бутан) чи розчинених (ацетилен) газів під тиском вищим 0,07 МПа.

Безпечна експлуатація балонів забезпечується:

– необхідною механічною міцністю балонів і належним контролем за їх станом;

– запобіганням помилкового наповнення балонів іншими газами (наприклад, балонів для негорючих газів – горючими, балонів для горючих газів – киснем);

– дотриманням правил наповнення, транспортування, зберігання та використання балонів.

Необхідна механічна міцність балонів забезпечується їх якісним виготовленням та періодичним опосвідченням. Балони для стиснених, зріджених та

розчинених газів виготовляють зварними (робочий тиск у балоні до 3 МПа) або безшовними.

В процесі експлуатації балони проходять опосвідчення, які включають: огляд внутрішньої (при можливості) та зовнішньої поверхонь балонів; перевірку маси та міцності; гідравлічне випробовування. Огляд балонів здійснюється з метою виявлення на їх стінках корозії, тріщин, вм'ятин та інших пошкоджень для визначення придатності балонів до подальшої експлуатації. Якщо результати огляду незадовільні (виявлено тріщини, вм'ятини, раковини глибиною понад 10 % від номінальної товщини стінки), то балони вибраковуються.

Величина пробного тиску і час витримки балонів під таким тиском встановлюється відповідними стандартами (для стандартних балонів) та технічними умовами (для нестандартних), при цьому пробний тиск повинен бути не менший ніж півтора значення робочого тиску.

Виключення із загальних правил опосвідчення стосуються балонів з ацетиленом – горючим газом, що широко використовується в промисловості для зварювання та розрізання металоконструкцій. З огляду на високу вибухонебезпеку ацетилену його зберігають у розчиненому вигляді у балонах, заповнених пористою масою, що просочена ацетоном. При періодичних опосвідченнях пориста маса не виймається, а замість гідравлічного випробовування проводиться випробовування азотом. Балон при цьому опускають у воду на глибину не менше ніж 1 м. Стан пористої маси в балонах для ацетилену повинен перевірятися не рідше ніж через 24 місяці.

Опосвідчення балонів здійснюється підприємствами-наповнювачами, наповнювальними станціями та пунктами випробовування, які в установленому порядку одержали на це дозвіл у органах Держпромгірнагляду. Після проведення опосвідчення на верхній сферичній частині балона ставиться клеймо і зазначається дата наступного опосвідчення [17].

Для запобігання помилкового наповнення балонів іншими газами передбачено розпізнавальне фарбування та маркування балонів (див. табл. 5.1.).

Таблиця 5.1 – Колірне маркування газових балонів [18]

Газ	Фарба для балонів	Написи	Колір напису	Колір смуги
Азот	Чорна	Азот	Жовтий	Коричневий
Аміак	Жовта	Аміак	Чорний	Немає
Аргон чистий	Сіра	Аргон чистий	Зелений	Зелений
Ацетилен	Біла	Ацетилен	Червоний	Немає
Нафтогаз	Сіра	Нафтогаз	Червоний	Немає
Бутан	Червона	Бутан	Білий	Немає
Водень	Темно-зелена	Водень	Червоний	Немає
Повітря	Чорна	Стиснене повітря	Білий	Немає
Гелій	Коричнева	Гелій	Білий	Немає
Кисень	Блакитна	Кисень	Чорний	Немає
Кисень медичний	Блакитна	Кисень медичний	Немає	Немає
Фреон 11	Алюмінієва	Фреон 11	Чорний	Синій
Фреон 12	Алюмінієва	Фреон 12	Чорний	Немає
Фреон 13	Алюмінієва	Фреон 13	Чорний	2 червоні
Фреон 22	Алюмінієва	Фреон 22	Чорний	2 жовті
Усі інші пальні гази	Червона	Назва газу	Білий	Немає
Усі інші непальні гази	Чорна	Назва газу	Жовтий	Немає

Окрім того, бокові штуцери вентилів балонів, що наповнюються горючими газами, мають ліву різьбу, а балонів, що наповнюються киснем та іншими негорючими газами – праву.

Експлуатація, транспортування та зберігання балонів на підприємстві повинні здійснюватись відповідно до вимог інструкції, затвердженої в устано-

вленому порядку. Працівники, які обслуговують балони, повинні пройти навчання та інструктаж відповідно до чинної нормативної документації. Залишковий тиск газу в балоні повинен бути не менше 0,05 МПа.

Основним пристроєм, що забезпечує безпеку при експлуатації балонів є редуктор, який знижує тиск стисненого газу до робочого. За конструктивним виконанням редуктори можуть бути різними (одно- та двокамерні, прямої та непрямої дії), однак у всіх редукторів камера низького тиску повинна мати манометр і пружинний запобіжний клапан, відрегульований на відповідний допустимий тиск.

Відповідно до ДНАОП 0.00-1.07-94 балони з газами зберігаються у спеціальних приміщеннях (складах) або під навісами, які захищають їх від атмосферних опадів та сонячних променів. Забороняється тримати в одному приміщенні балони з киснем та горючими газами. Балони з отруйними газами зберігаються у спеціальних закритих приміщеннях. Склади для балонів з вибухо- та пожежонебезпечними газами повинні знаходитись у зоні блискавкозахисту.

Наповнені балони зберігаються у вертикальному положенні у спеціально обладнаних гніздах, клітках або огороджуються бар'єром для запобігання їх падіння. Балони з газом, повинні знаходитись на відстані не менше 1 м від радіаторів опалення та інших опалювальних приладів і не менше ніж 5 м від джерел відкритого вогню. Кисневі балони необхідно оберігати від забруднення будь-яким мастилом або жиром, оскільки вони можуть утворити вибухонебезпечну суміш з чистим киснем.

Враховуючи значну масу балонів, особливо наповнених газом, їх переміщення в межах підприємства необхідно здійснювати на спеціально пристосованих для цього візках [17].

Список літератури

1. Сидягин А. А. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения / А. А Сидягин, В. М. Косырев. – Н. Новгород : Наука, 2009 – 150 с.
2. Бахмат Г. В. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях / Г. В. Бахмат, Н. В. Еремин, О. А. Степанов. СПб. : Недра, 1994. – 512 с.
3. 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.
4. Крюков Н. П. Аппараты воздушного охлаждения / Н. П. Крюков. М. : Химия, 1983. – 168 с.
5. Эмирджанов Р. Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р. Т. Эмирджанов, Р. А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
6. Кузнецов А. А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.
7. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения / А. Н. Бессонный, Г. А. Дрейцер, В. Б. Кунтыш и др.; Под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.
8. 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.
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. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

11. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
12. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 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 прошышленностей / 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. Безпека під час експлуатації систем під тиском і кріогенної техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pidruchniki.com/1913021038308/bzhd/bezpeka_pid_chas_ekspluatatsiyi_sistem_pid_tiskom_kriogennoyi_tehniki.
17. Безпека під час експлуатації систем під тиском і кріогенної техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://helpiks.org/8-55189.html.
18. Безпека праці під час експлуатації систем що працюють під тиском [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://studies.in.ua/ru/bjd-zaporojec/1241-102-bezpeka-prac-pd-chas-ekspluatacyi-sistem-scho-pracyuyut-pd-tiskom.html.