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

Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____
підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання нафто-
та газопереробних виробництв"**

Тема роботи: Вісбрекінг-установка з реакційною камерою. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації вуглеводневих газів

Виконав:
студент групи ХМ-91/2хо

Норжігітов Фуркат

_____
підпис

Залікова книжка
№_____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Острога Руслан Олексійович

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2023

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

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Обладнання нафто- та газопереробних виробництв"

Курс 4 Група ХМ-91/2хо Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Норжігітову Фуркату

1 Тема роботи: Вісбрекінг-установка з реакційною камерою. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації вуглеводневих газів

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження (АПО) для конденсації вуглеводневих газів у кількості 4650 кг/год. Компонентний склад вуглеводнів (% мас.): C_2H_6 = 1,2; C_3H_8 = 2,8; н-C_4H_{10} = 91,0; і-C_4H_{10} = 5,0. Тиск у трубному просторі АПО становить 0,5 МПа.
Питання до розділу «Охорона праці»: Основні ізолювальні електрозахисні засоби для роботи на електроустановках. Правила користування та терміни випробувань.

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

1. Технологічна схема вісбрекінг-установки з реакційною камерою – 1,0 арк.
2. Складальний кресленик АПО – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик секції теплообмінної – 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.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання жовтень 2022 р.

Керівник _____ к.т.н. Острога Р.О.
підпис

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми вісбрекінг-установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис апарата повітряного охолодження та вибір основних конструкційних матеріалів	18
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	24
2.1 Технологічні розрахунки	24
2.2 Конструктивні розрахунки	32
2.3 Гідравлічні розрахунки	33
2.4 Вибір допоміжного обладнання	33
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	40
4 Монтаж та ремонт апарата	44
4.1 Монтаж апарата	44
4.2 Ремонт апарата	46
5 Охорона праці	49
Література	53
Додаток – Специфікації до креслеників	

Вступ

Вісбрекінг – це процес однократного термічного крекінгу важкого залишкової сировини, проведений у м'яких умовах. Типовою сировиною висбрекінгу є мазути, одержувані при атмосферній перегонці нафти, або вакуумні гудрони. Сприйнятливість гудрону до висбрекінгу тим вище, чим нижче температура його розм'якшення і чим менше асфальтенів, нерозчинних в н-пентані [1].

Установка висбрекінгу може входити як секція в склад комбінованої установки, наприклад атмосферна перегонка нафти —> висбрекінг атмосферного мазуту —> вакуумна перегонка висбрекінг-мазуту для виділення газойлевих фракцій або висбрекінг атмосферного мазуту —> виділення газойлей (зокрема, під вакуумом)) —> термічний крекінг суміші газойлей з метою збільшення виходу керосинової фракції. Можливі також варіанти установки висбрекінгу: на одній нагрітій сировині на виході з печі направляється в неогріваний реактор, де в основному і забезпечується неглибокий термокрекінг; на інших – нагріта сировина піддається висбрекінгу в змієвикові (сокінг-секція), розташованому у другій топковій камері трубчастої печі. Процес висбрекінгу відбувається з поглинанням тепла. Октанове число бензинової фракції вісбрекінгу знаходиться в межах від 58 до 68 (моторний метод, без присадки). Вміст сірки в бензинових та гасових фракціях істотно нижчий, ніж у сировині; проте ці фракції зазвичай потребують очищення. Наприклад, піддаючи вісбрекінгу мазут [мол. маса 407, густина 938,5 кг/м^3; вміст сірки 1,81 % (мас.), коксування 5,0 %], самотлорської нафти, отримували бензин і гас, що містять до очищення 0,7 і 1,0 % (мас.) сірки [2].

Використання повітряного охолодження є необхідним у галузях промисловості, де використання інших систем охолодження технічно неможливе або неефективне з економічної точки зору. Це стосується промислових підприємств, що розташовані далеко від природних водних

джерел і потребують охолодження технологічних рідин, парів і газів. Для цих цілей використовуються спеціальні теплообмінні установки, відомі як апарати повітряного охолодження (АПО). Хоча вартість АПО зазвичай вища, ніж у теплообмінників, що використовують воду для охолодження, вони мають істотні переваги. Наприклад, використання повітряного охолодження усуває проблеми корозії і забруднення, які виникають при використанні охолоджувальної води, а також усуває ризик змішування води з технологічним середовищем, що охолоджується [4].

Отже, витрати на технічне обслуговування апаратів повітряного охолодження є значно нижчими. Це пояснюється тим, що обладнання є простим у використанні, і його ремонт та очищення не вимагають значних зусиль. Особливістю цих апаратів є те, що зовнішня поверхня теплообмінника майже не забруднюється холодоагентом, яким є повітря, навіть якщо воно містить дисперсні включення. Це означає, що необхідність в регулярному очищенні та обслуговуванні апаратів повітряного охолодження зводиться до мінімуму. Можна уникнути складних процедур і великих трудових витрат, які часто пов’язані з обслуговуванням і ремонтом інших систем охолодження.

Таким чином, використання повітряного охолодження не лише економічно вигідне, але й спрощує процес експлуатації та обслуговування обладнання та установки вцілому.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми вісбрекінг-установки [1]

Вісбрекінг проводиться для виробництва переважно рідкого котельного палива зниженої (у порівнянні з сировиною) в'язкості (варіант I), або з метою виробництва в підвищених кількостях газу-сирця для установки гідрокрекінгу та каталітичного крекінгу (варіант II). В обох варіантах побічними легкими продуктами є гази і бензинові фракції, вихід яких зазвичай не перевищує 3 і 8 % (мас.) на сировину. Проведення процесу в більш жорстких умовах, що оцінюється на виході бензину, може призвести до нестабільності палива, одержуваних змішуванням остаточного продукту висбрекінга з іншими компонентами важкорідкого котельного палива. Нестабільне паливо розслаюється, в ньому утворюється осад.

При проведенні вісбрекінгу за варіантом I характерно наступне:

- збереження у складі залишкового продукту (називається вісбрекінг-мазутом) всіх рідких фракцій, крім бензинових;
- високий вихід вісбрекінг-мазуту (90–93 % мас. на сировину);
- нижчі в порівнянні з сировиною в'язкість, температури початку кипіння та застигання вісбрекінг-мазуту;
- простота і гнучкість технологічної схеми установки, що дозволяють переробляти залишкову сировину різної якості.

У результаті вісбрекінгу гудронів значно скорочується витрата малов'язкого розбавника дистиляту при приготуванні котельного палива. Вміст важких бензинових фракцій у залишковому продукті вісбрекінгу обмежують, враховуючи необхідність одержання палива із досить високою температурою спалаху.

При проведенні вісбрекінгу за варіантом II установка доповнюється вакуумною секцією, призначеною для виділення з вісбрекінгу-мазуту

вакуумного газойлю. У результаті процесу потенційний вміст вакуумного газойлю в сировині підвищується на 25–40 % (об.).

Технологічна схема вісбрекінг-установки з реакційною камерою представлена на рис. 1.1.

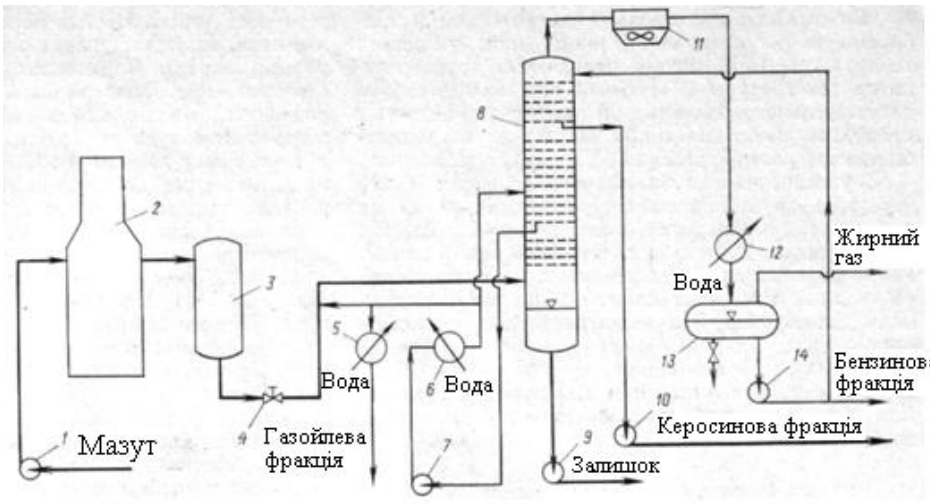

Рисунок 1.1 – Технологічна схема вісбрекінг-установки з реакційною камерою: 1, 7, 9, 10, 14 – насоси; 2 – трубчаста піч; 3 – реактор; 4 – редукційний клапан; 5 – холодильник; 6 – теплообмінник; 8 – фракціонуюча колона; 11 – апарат повітряного охолодження; 12 – водяний холодильник; 13 – сепаратор

Принцип роботи установки полягає у наступному. Гарячий мазут, що надходить з нафтоперегінної установки, подається насосом 1 у змійовик печі 2. На виході з печі сировина піддається вісбрекінгу в реакційній камері 3 (реакторі), що працює при тиску близько 1,7 МПа. Отримана суміш продуктів, пройшовши редукційний клапан 4, направляється далі у фракціонуючу колону 8. До входу в колону суміш охолоджується за рахунок подачі в лінію холодного газойлю, що нагнітається насосом 7, через теплообмінник 6. Решта охолодженого газойлю (рециркулят) повертається в середню зону колони. Балансова кількість газойлю відводиться з установки через холодильник 5.

Для конденсації вуглеводневих газів, що виходять з колони 8 зверху, служить апарат повітряного охолодження 11. Після нього рідка суміш

проходить водяний холодильник 12. У горизонтальному сепараторі 13 (він же збірник зрошення) жирні гази відокремлюються від нестабільного бензину. Частина бензину подається насосом 14 на верхню тарілку колони у якості зрошення; решта відводиться з установки.

Легка гасова фракція відбирається з колони з проміжної тарілки і насосом 10 виводиться з установки. На деяких установках ця фракція попередньо продувається водяною парою у виносній відпарній колоні. Описана установка є частиною комбінованої установки, і з низу колони 8 залишок – обтяжений вісбрекінг-мазут – спрямовується насосом 9 у вакуумну ступінь.

1.2 Теоретичні основи процесу [4, 5]

Апарати повітряного охолодження складаються з декількох основних компонентів. Вони включають:

1. **Теплообмінні секції.** Ці секції мають ключове значення в апаратах повітряного охолодження. Теплообмінна поверхня складається з оребрених труб, які закріплені в трубних решітках. Труби розташовані в чотири, шість або вісім рядів і зазвичай розміщені по вершинах рівностороннього трикутника. Це розташування забезпечує більш ефективний теплообмін. Крім того, кришки приєднані до трубних решіток і мають внутрішню порожнину, яка допомагає розподілити охолоджувальний потік рідини по трубах.
2. **Осьовий вентилятор з приводом**. Цей компонент відповідає за створення потоку повітря через теплообмінні секції. Вентилятор зазвичай розташовується на осі апарата і має механічний привід, який забезпечує його рух.
3. **Пристрої для регулювання витрати охолоджуючого повітря**. Ці пристрої дозволяють контролювати і регулювати об’єм охолоджуючого повітря, що проходить через апарат. Вони гарантують оптимальну ефективність охолодження.

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

Важливо відмітити, що теплообмінні секції можуть бути розміщені горизонтально, вертикально або під кутом, що визначає тип апарату повітряного охолодження. Залежно від конкретних потреб і умов застосування, можуть бути використані різні варіації цих конфігурацій. Секції монтуються на рамі, яка підтримується опорними стійками апарату. Це забезпечує стабільну позицію і фіксує секції в потрібному положенні. Опорні стійки також відповідають за підтримку ваги апарату і забезпечують його стійкість під час роботи. Огороджувальні конструкції використовуються для захисту апарату повітряного охолодження від зовнішніх впливів і небажаного доступу. Вони можуть включати обшивку, решітки або інші захисні елементи, які забезпечують безпеку та ефективну роботу апарату.

У цілому, компоненти апаратів повітряного охолодження взаємодіють між собою, створюючи оптимальні умови для ефективного теплообміну та охолодження. Ця комплексна система забезпечує надійну роботу апарату та допомагає зберегти витрати на його технічне обслуговування на низькому рівні.

Охолодження та конденсація різних теплоносіїв за допомогою повітря могло бути невигідним з економічної точки зору, якби в трубних секціях були встановлені гладкі труби. Це пов’язано з низькою швидкістю охолоджуючого потоку, а також низькою густиною і теплопровідністю повітря, що призводить до низьких значень коефіцієнтів тепловіддачі з боку повітря.

Однак, низькі коефіцієнти тепловіддачі з боку повітря порівняно з коефіцієнтами для охолоджуваних або конденсованих рідин можуть бути частково компенсовані за рахунок розвитку поверхонь з боку повітря. Ця

можливість виникає, якщо використовуються оребрені труби, чия зовнішня поверхня має площу, більшу в 10–25 разів, ніж площа їх внутрішньої поверхні.

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

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

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

На сьогоднішній день найбільш практичним і технологічно високим вважаються оребрені труби, які виготовляються з суцільної товстостінної труби. Зазвичай такі труби виготовляють з алюмінію або алюмінієвих сплавів і піддаються механічній обробці. Ребра нарізаються під час проходження труби через набір формуючих дисків. Метод оребрення труб шляхом поперечно-гвинтового накочування є високопродуктивним і добре піддається механізації та автоматизації. Оребрення за допомогою інших методів становить не більше 10–15 % загального обсягу виробництва. Таким чином, найбільш практичним і

ефективним способом виготовлення оребрених труб на сьогодні є використання суцільних товстостінних труб з алюмінію або алюмінієвих сплавів, які піддаються механічній обробці шляхом проходження через формуючі диски за допомогою методу поперечно-гвинтового накочування.

Усередині оребренної труби можна встановити внутрішню трубу з будь-якого матеріалу, необхідного для передачі теплоносія. Це дозволяє досягти щільного посадження між внутрішньою трубою і оребреним вкладишем, створюючи біметалічну конструкцію. Кожен тип оребрених труб має свої граничні температури, які не повинні бути перевищені, оскільки це може призвести до втрати контакту між ребром та трубою, або між оребреною трубою та внутрішньою трубою. Це обмежує температурні межі експлуатації апаратів повітряного охолодження.

Встановлення внутрішньої труби в оребренну трубу дозволяє розширити можливості її застосування. Залежно від потреби і типу теплоносія, внутрішня труба може бути виготовлена з різних матеріалів, які забезпечують оптимальну передачу тепла. Важливо забезпечити правильну посадку між внутрішньою трубою і оребреним вкладишем, щоб уникнути прогалин, які можуть призвести до втрати ефективності теплового обміну.

Однак, важливо враховувати граничні температури, які залежать від типу і матеріалів, використовуваних у виробництві оребреної труби. При перевищенні цих температурних меж можуть виникнути проблеми з контактом між елементами конструкції, що може призвести до зниження її ефективності та навіть до пошкодження.

У будь-якому типі апарата повітряного охолодження (АПО) є ще один важливий компонент – вентилятор. Цей вентилятор розташовується всередині колектора і, обертаючись, забезпечує подачу повітря через міжтрубний простір секцій. Для забезпечення великих об'ємів повітря при невеликих статичних напорах (100–400 Па) використовують осьові вентилятори зі 4–8 лопатями і діаметром 0,8–6,0 метра. Лопаті вентилятора закриті циліндричним колектором, який сприяє більш організованому руху повітряного потоку.

Колектор, що з’єднується з теплообмінними секціями за допомогою дифузора, грає важливу роль у системі вентиляції. Форма дифузора сприяє рівномірному розподілу повітряного потоку по перетину теплообмінної секції, покращуючи ефективність теплового обміну. Колектор вентилятора та дифузор кріпляться до рами, на якій розміщуються теплообмінні секції. Вентилятор з приводом монтується на окремій рамі, забезпечуючи його рух та функціонування.

Таким чином, вентилятор є невід'ємною частиною АПО і грає важливу роль у створенні потоку повітря для ефективного охолодження. Його конструкція забезпечує оптимальний об'єм повітря при низькому напорі, а з’єднання з колектором та дифузором допомагають забезпечити рівномірний розподіл повітряного потоку та покращити процес теплового обміну.

Опорні структури, на яких встановлюються компоненти апарата, можуть бути виготовлені з металу або залізобетону. Вони складаються з поздовжніх і поперечних опорних балок, які, як правило, виготовляються зі стандартних двутаврів, а також зі стовпчиків (часто це відрізки стандартних труб, розташовані на опорних пластинах), косинок і ребер жорсткості. Стовпчики монтується на фундаменті і закріплюються за допомогою анкерних болтів. Такі опорні конструкції відіграють важливу роль у підтримці та утриманні елементів апарата. Вони забезпечують необхідну міцність і стійкість, розподіляючи навантаження на фундамент і забезпечуючи стійкість системи в цілому. Широке використання стандартних двутаврів, стовпчиків і ребер жорсткості дозволяє ефективно побудувати опорну структуру з мінімальними зусиллями. Ці опорні конструкції є надійними і стійкими основами для елементів апарата, забезпечуючи їх правильне розташування і функціонування. Вони гарантують, що апарат буде міцно збудований і здатний витримувати навантаження, які на нього діють.

Із урахуванням змінного характеру навантаження на апарат, який залежить від технологічного режиму, температури і вологості повітря, необхідно, щоб вентилятори мали можливість регулювання витрати повітря в широкому діапазоні. Регулювання процесу повітряного охолодження сприяє збереженню

енергії та сировини, а також збільшенню терміну служби та надійності роботи апарату повітряного охолодження, що сприяє ефективному управлінню технологічним процесом. Найбільш значимою складовою експлуатаційних витрат апарату повітряного охолодження є електроенергія, яка використовується для приводу вентилятора. Завдяки раціональному регулюванню можлива економія електроенергії, яка може сягати до 60% від енергії, споживаної двигунами при номінальному тепловому навантаженні. Це дозволяє зменшити витрати на електроенергію і зберегти значну кількість ресурсів, що призводить до підвищення ефективності і довговічності роботи апарату повітряного охолодження.

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

1. Зміна витрати охолоджуючого повітря, яке подається до теплообмінних секцій. Це може бути досягнуто шляхом регулювання обсягу повітря, що поступає в апарат повітряного охолодження.
2. Підігрів повітря на вході в апарат повітряного охолодження, особливо в зимовий період. Це допомагає забезпечити оптимальну температуру в процесі охолодження.
3. Частковий перехід технологічного потоку по байпасних лініях за допомогою регулюючих клапанів. Цей метод дозволяє контролювати витрати повітря шляхом обмеження частини потоку, який проходить через основну систему охолодження.
4. Зволоження охолоджуючого повітря і поверхні теплообміну. Це дозволяє знизити температуру охолоджуючого повітря при високій температурі влітку. Шляхом додавання вологи можна збільшити ефективність охолодження та знизити температуру повітря, що подається до апарату повітряного охолодження.

Ці методи регулювання дозволяють забезпечити оптимальний режим роботи апарату повітряного охолодження відповідно до вимог технології та забезпечити економію енергії та ресурсів.

Шляхом поєднання різних методів регулювання, таких як зміна витрати повітря, підігрівання повітря, перепуск технологічного потоку та зволоження, досягається оптимальна ефективність апаратів повітряного охолодження. Це дозволяє знизити споживання електроенергії та забезпечити стабільну температуру на виході з апарату. Таке комбіноване регулювання в АПО є важливим фактором для забезпечення оптимальної ефективності та зниження витрат електроенергії. Воно дозволяє забезпечити стабільність технологічних процесів та підтримувати необхідні параметри температури з урахуванням зміни умов роботи. Такий підхід сприяє економічності та надійності функціонування АПО, а також забезпечує оптимальні умови для збереження енергії.

При виборі стандартизованого апарата повітряного охолодження (АПО), а також будь-якого іншого теплообмінного пристрою, враховується площа поверхні теплопередачі [6–9].

Поверхня теплопередачі розраховується за формулою [6]:

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

де Q – тепловий потік в апараті, Вт;

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

Δt_{CEP} – середня різниця температур між теплоносіями, °С.

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 відповідних таблицях [9].

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює [9]:

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

де $\Delta t_{Б}$ і Δt_{M} – відповідно більша і менша різниці температур теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

Середня температура теплоносія, яка визначає його теплофізичні характеристики, може бути обчислена за допомогою двох методів. Для теплоносіїв, температури яких змінюються від початкової t_1 до кінцевої t_2 і $t_2 / t_1 < 2$, приймають середньоарифметичну температуру $t_{CEP} = \left(t_1 + t_2\right) / 2$ [8].

Для теплоносія, у якого $t_2 / t_1 > 2$ середню температуру розраховують за формулою [8]:

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

Основні критерії подібності, які застосовуються у розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [9].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \tag{1.5}$$

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:

$$\mathrm{Re} = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}, \tag{1.6}$$

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:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}; \tag{1.7}$$

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

При вимушеній конвекції, теплоносій рухається вздовж поверхні теплообміну під впливом зовнішньої сили з певною швидкістю. Ця зовнішня сила може бути, наприклад, силою тяжіння або силою тиску, що створюється насосом, компресором або вентилятором.

Критерії *Re, Pr* є визначеними, а критерій *Nu* – невизначеним (тобто залежить від інших критеріїв подібності) [8].

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах і каналах рекомендуються такі критеріальні рівняння [9]:

– для ламінарного режиму

$$Nu = 0,74 \cdot (\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr})^{0,2} \cdot (Gr \cdot \mathrm{Pr})^{0,1}, \tag{1.8}$$

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

– для перехідного режиму

$$Nu = 0,008 \cdot \mathrm{Re}^{0,9} \cdot \mathrm{Pr}^{0,43}; \quad (1.9)$$

– для турбулентного режиму

$$Nu = 0,023 \cdot \mathrm{Re}^{0,9} \cdot \mathrm{Pr}^{0,3}. \quad (1.10)$$

1.3 Опис апарата повітряного охолодження та вибір основних конструкційних матеріалів [8–14]

Стандартизовані апарати повітряного охолодження розроблені для ефективної роботи на відкритому повітрі в різних галузях промисловості, зокрема в хімічній, нафтопереробній, нафтохімічній і газовій. Вони призначені для охолодження і конденсації пароподібних, газоподібних і рідких середовищ з широким діапазоном температур, від –40°С до +400°С, і можуть працювати під високим тиском до 10–12 МПа. При проектуванні таких апаратів ми використовуємо перехрестний рух середовищ, оскільки цей підхід має кілька переваг. Він дозволяє досягти високого температурного градієнту, що пов’язано зі скороченням розмірів поверхні теплопередачі. Крім того, такий рух середовища забезпечує оптимальне використання теплоносіїв, дозволяючи отримати найбільші зміни температури при мінімальній їх витраті.

Стандартизовані горизонтальні апарати повітряного охолодження використовуються в індустрії для забезпечення ефективної роботи і надійного охолодження в різних технологічних процесах. Вони гарантують оптимальне використання ресурсів та забезпечують потрібні параметри охолодження для різних середовищ та умов роботи.

Для створення конденсатора ми використовуємо спеціальні труби, які мають оребрену структуру і виготовлені з двох різних матеріалів. Це називається біметалічними трубами. Вони мають коефіцієнт оребрення φ = 9, що означає, що на поверхні труб знаходиться велика кількість невеликих виступів або ребер, що збільшують площу контакту з повітрям і поліпшують процес теплообміну.

Для нашого конкретного випадку, ми вибираємо горизонтальний повітряний апарат (типу АПГ), який складається з трьох окремих секцій (див. рис. 1.2). Кожна секція має довжину 4 метри або 8 метрів, залежно від вимог проекту. Додатково, цей апарат оснащений одним або двома вентиляторами з діаметром 2,8 метри. Це дозволяє забезпечити ефективний рух повітря та оптимальне охолодження (конденсацію) вуглеводнів, які проходять через конденсатор.

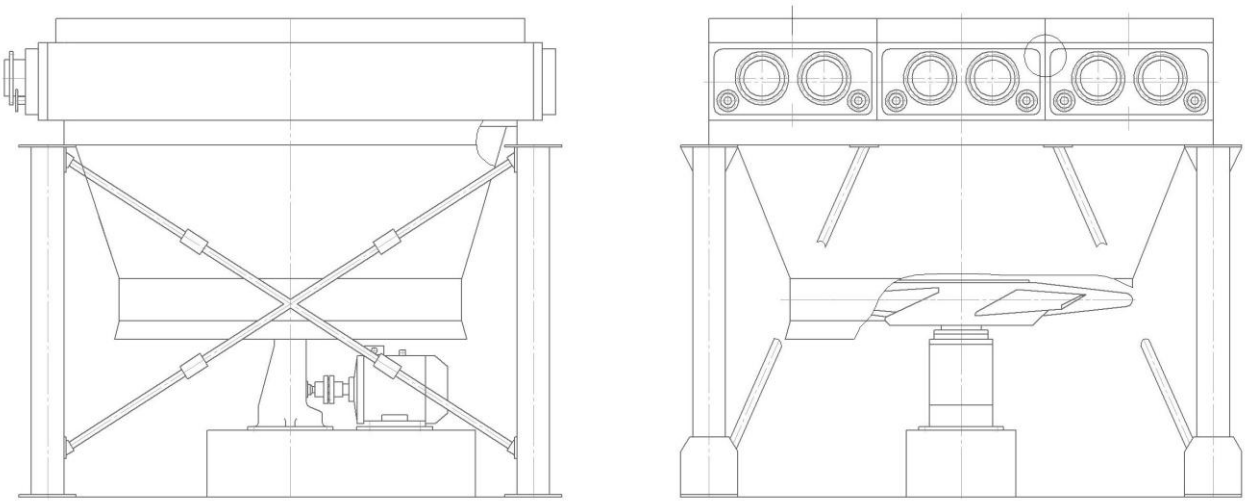

Рисунок 1.2 – Схема апарату повітряного охолодження типу АПГ (3 секції)

Теплообмінна секція представляє собою складений пучок труб з ореброваною поверхнею, які розташовані у шаховому порядку, вздовж напрямку руху охолоджуючого повітря. Цей спеціально організований масив труб забезпечує ефективний теплообмін між теплоносієм і охолоджуваним середовищем. Кінці труб затискаються в спеціальній трубній решітці і

закриваються кришками, які мають отвори для з'єднання зовнішньої трубопровідної системи. Кількість перегородок у кришках залежить від кількості проходів продукту через теплообмінну секцію. Це регулюється для оптимального теплообміну та враховується при проектуванні конкретного апарату. Така конструкція теплообмінної секції забезпечує ефективний контакт між охолоджуючим повітрям і трубами, що дозволяє ефективно відбирати тепло від продукту та передавати його в охолоджуюче середовище.

Коефіцієнт теплопередачі завжди менше ніж коефіцієнт тепловіддачі, тому при проектуванні теплообмінного апарату необхідно зосередитися на збільшенні меншого значення коефіцієнта тепловіддачі. Це досягається шляхом удосконалення конструкції та оптимізації параметрів теплообміну.

Аеродинамічні елементи повітряного охолоджувача включають в себе решітку вентилятора, дифузор та колектор. Вентилятори, що працюють від електродвигуна, призначені для примусового подачі охолоджуючого повітря в теплообмінні секції. Опори, на яких встановлюються теплообмінні секції, можуть бути виготовлені з металу або залізобетону, залежно від конкретних потреб і умов експлуатації.

За способом подачі охолоджуючого повітря на теплообмінну поверхню, АПО поділяються на два типи: нагнітальний і витяжний. У даному проекті спроектовано нагнітальний АПО, де вентилятори забезпечують нагнітання охолоджуючого повітря до теплообмінних секцій.

Теплопередача в апаратах повітряного охолодження здійснюється за принципом протитоку, де вентилятор пропускає повітря через міжтрубний простір, охолоджуючи зовнішню поверхню пучка труб. Основною метою цього процесу є охолодження та подальша конденсація вуглеводневого середовища, яке перебуває всередині трубок.

Для досягнення рівномірного розподілу повітря по всій охолоджуваній поверхні трубок, вентилятори з'єднані з трубними пучками за допомогою напрямних дифузорів. Ці дифузори направляють потік повітря, забезпечуючи

його раптове розширення, що призводить до зниження швидкості руху повітря і рівномірного розподілу по всій поверхні трубок. Цей процес забезпечує ефективну теплопередачу та оптимальні умови для охолодження та конденсації вуглеводневого середовища всередині теплообмінного апарату.

Отже, шляхом використання вентиляторів та напрямних дифузорів забезпечується ефективне та рівномірне охолодження поверхні трубок, що сприяє оптимальному процесу теплопередачі та конденсації в апаратах повітряного охолодження.

Основними вимогами до хімічних апаратів є забезпечення механічної надійності, довговічності, конструктивної досконалості, простоти виготовлення, зручності транспортування, монтажу та експлуатації. При виготовленні хімічних апаратів необхідно використовувати матеріали конструкцій, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм на рік. Під швидкістю корозії металів розуміється глибина проникнення корозійних процесів у метал, що визначається втратою маси після видалення продуктів корозії. Таким чином, важливими вимогами до хімічних апаратів є забезпечення їхньої міцності та довговічності, оптимальної конструкції для зручного виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації. Крім того, використовувані матеріали повинні мати низьку швидкість корозії, щоб забезпечити стабільну роботу апаратів протягом тривалого періоду часу.

Одним із ключових факторів є температура, яка впливає на механічні та фізичні властивості матеріалів. При високих температурах може відбуватися деформація, плавлення або окислення матеріалу. Тому для деталей, які працюють при високих температурах, необхідно використовувати спеціальні термостійкі матеріали, а саме: для внутрішніх труб застосована сталь 10Г2, а матеріалом оребрення є алюмінієвий сплав; трубні решітки – сталь 09Г2С; кришки виготовляються зі сталі ВСт3пс.

Труби з використанням сталі 10Г2 призначені для різних деталей, які працюють в умовах низьких температур до –70°С під високим тиском. Цей

матеріал має властивості, що сприяють успішному використанню в різних умовах. Температура кування для сталі 10Г2 становить 1250°С на початку і 780-800°С на кінці процесу кування. Заготовки з перетином до 100 мм охолоджуються на повітрі. Цей матеріал також має властивості, які полегшують процес зварювання. Він може бути зварений без обмежень за допомогою різних методів, таких як РДЗ (ручне дугове зварювання), АДЗ (автоматичне дугове зварювання) під флюсом і газовим захистом, а також ЕШЗ (електрошлакове зварювання).

Лист товстий з використанням сталі 09Г2С призначений для виготовлення різних деталей зварних металоконструкцій, які працюють в широкому діапазоні температур від –70 до +425°С під високим тиском. Цей матеріал має технологічні властивості, що сприяють його успішному використанню в різних умовах. Температура кування для сталі 09Г2С становить 1250°С на початку і 850°С на кінці процесу кування. Зварюваність цієї сталі не має обмежень і може бути здійснена за допомогою різних методів, таких як РДЗ (ручне дугове зварювання), АДЗ (автоматичне дугове зварювання) під флюсом і газовим захистом, а також ЕШЗ (електрошлакове зварювання). Важливо зазначити, що цей матеріал не схильний до відпускної крихкості і не чутливий до утворення флокенів.

Сталь ВСт3пс має застосування в елементах як зварних, так і незварних конструкцій і деталей, які працюють при позитивних температурах. Цей матеріал має специфічні технологічні властивості, які забезпечують його успішне використання в різних умовах. Температура кування сталі ВСт3пс становить 1300°С на початку і 750°С на кінці процесу кування, при цьому охолодження здійснюється на повітрі. Зварюваність цього матеріалу не має обмежень і може бути здійснена різними методами, такими як РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, ЕШЗ і КТЗ. При товщині понад 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка для досягнення оптимальних результатів. Нечутлива до утворення флокенів і не схильна до відпускної крихкості.

Пароніт – це гнучкий матеріал, який використовується у різних галузях для ущільнення з'єднань та запобігання витоку рідини або газу. Його основним компонентом є асбест, який змішується з еластомерами, наповнювачами та іншими добавками.

Використання пароніту дозволяє забезпечити ефективну ущільнюючу функцію в різних умовах і середовищах. Він має наступні переваги:

1. Хімічна стійкість. Пароніт добре переносить контакт з різними хімічними речовинами, включаючи масла, розчинники, кислоти та луги. Це робить його цінним матеріалом для використання в хімічній та нафтогазовій промисловості.
2. Теплостійкість. Пароніт може витримувати високі температури, що робить його придатним для використання в умовах, де відбувається теплове навантаження. Він здатний зберігати свої фізичні та механічні властивості при підвищених температурах.
3. Гнучкість і довговічність. Пароніт легко пристосовується до форми поверхонь і забезпечує надійне ущільнення. Він має довгий термін служби і здатний зберігати свої властивості протягом тривалого періоду.
4. Економічність. Пароніт є відносно недорогим матеріалом порівняно з іншими ущільнюючими матеріалами. Його доступність і виготовлення зробили його популярним в різних галузях.

Враховуючи його хімічну стійкість, теплостійкість, гнучкість та довговічність, пароніт використовується у багатьох галузях, включаючи нафтогазову промисловість, хімічну промисловість, енергетику, машинобудування та інші. У нафтогазовій промисловості пароніт використовується для ущільнення фланцевих з'єднань, трубопроводів, клапанів, а також у пристроях для очищення і обробки нафти та газу. Його хімічна стійкість дозволяє забезпечити надійне ущільнення в умовах, де присутні різні хімічні речовини.

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки [9]

Для спрощення розрахунку ентальпій кожного компонента вуглеводневої суміші, ми приймаємо підхід, де ця суміш розглядається як один компонент з молекулярною масою, рівною загальній молекулярній масі суміші. Аналізуючи склад вуглеводневих газів, що виходять через верхній штуцер фракціонуючої колони бачимо, що 96 % суміші складається з бутану. У завданні до кваліфікаційної роботи зазначено тиск 0,5 МПа. При цьому значенні тиску, температура конденсації бутану буде становити 45°С. Таким чином, для подальших розрахунків ми припускаємо, що вуглеводнева газова суміш входить в АПО вже при температурі конденсації.

Таким чином, теплове навантаження проектованого АПО визначається як:

$$Q = G \cdot r, \tag{2.1}$$

де G – витрата вуглеводневих газів, кг/с;

r – питома теплота конденсації парів бутану, кДж/кг.

$$Q = \frac{4650}{3600} \cdot 400 = 517 \text{ кВт}.$$

Максимальна (орієнтовна) поверхня теплообміну складе:

$$F_{max} = \frac{Q}{q}, \tag{2.2}$$

де q – теплонапруженість апарату, Вт/м^2; за табличними даними [9] у випадку конденсації одного або декількох компонентів, при $\Delta t = t_{1К} - t_{2П} = 40 - 20 = 20°С$, q = 600 Вт/м^2.

$$F_{max} = \frac{517 \cdot 10^3}{600} = 862 \text{ м}^2.$$

Ми обираємо стандартизований апарат типу АПГ таким чином, щоб табличне значення зовнішньої оребреної поверхні апарату F_T перевищувало отримане значення F_{max}: $F_T = 875$ м^2 > $F_{max} = 833$ м^2.

Вибраний теплообмінний апарат має наступні характеристики:

- повна зовнішня обребрена поверхня апарату – 875 м^2;
- довжина теплообмінних труб – 4 м;
- кількість секцій – 3;
- число труб в одній секції – 94;
- число труб в апараті – 282;
- коефіцієнт оребрення труб – 9;
- кількість рядів труб в секції – 4;
- число ходів по трубам – 4;
- сумарна площа найбільш вузького міжтрубного перетину – 5,35 м^2.

За стандартних умов та аеродинамічною характеристикою вентилятора визначаємо об'ємну витрату повітря $V_{П0} = 240000$ м^3/год.; напір $P_{П0} = 23 \cdot 9{,}81 = 225{,}63$ Па; коефіцієнт корисної дії $\eta = 0{,}68$.

Для проектованого апарату вибираємо осьовий вентилятор ЦАГІ КК – 2М із кутом установки лопатей 17°, частотою обертання колеса 7,1 об/с і пропелером діаметром 2,8 м.

Об'ємна витрата повітря, його густина і напір вентилятора за робочих умов ($t = t_{2H} = 20°C$; $P = P_0 = 101{,}3$ кПа):

$$V_П = V_{П0} \cdot \frac{T \cdot P_0}{P \cdot T_0}; \qquad (2.3)$$

$$V_П = 240000 \cdot \frac{293}{273} = 257{,}5 \cdot 10^3 \ \frac{\text{м}^3}{\text{год.}};$$

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

де ρ_0 – густина повітря при температурі за н.у.; ρ_0 = 1,293 кг/м^3 [11].

$$\rho_П = 1,293 \cdot \frac{273}{293} = 1,205 \ \frac{кг}{м^3};$$

$$P_П = P_{П0} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}; \qquad (2.5)$$

$$P_П = 225,63 \cdot \frac{1,205}{1,293} = 210 Па.$$

Масова витрата повітря (за одним вентилятором) складе:

$$G_П = V_П \cdot \rho_П; \qquad (2.6)$$

$$G_П = 257,5 \cdot 10^3 \cdot 1,205 = 310 \cdot 10^3 \ \frac{кг}{год.}$$

Із рівняння теплового балансу, кінцева температура повітря дорівнює:

$$t_{2К} = t_{2П} + \frac{Q}{c_П \cdot G_П}, \qquad (2.7)$$

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

$c_П$ – теплоємність повітря за робочих умов; $c_П$ = 1,005 кДж/(кг·К) [11].

$$t_{2К} = 20 + \frac{517 \cdot 3600}{1,005 \cdot 310 \cdot 10^3} = 26 °C.$$

Отримане значення кінцевої температури повітря задовольняє умову:

$$t_{2K} < t_{1K} \ (26°C < 40°C).$$

Коефіцієнт теплопередачі знаходимо за рівнянням [7]:

$$K = \frac{1}{\psi \cdot \frac{1}{\alpha_Г} + \frac{1}{\alpha_X} + r_з}, \qquad (2.8)$$

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

$\alpha_Г$ – коефіцієнт тепловіддачі з боку дистиляту, Вт/(м^2·К);

α_X – приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, який також враховує термічний опір металу, Вт/(м^2·К);

$r_З$ – сумарні термічні опори можливих забруднень теплообмінної поверхні; $r_З = 0{,}0002$ (м^2·К)/Вт [7].

Коефіцієнт тепловіддачі з боку дистиляту:

$$\alpha_Г = \frac{Nu \cdot \lambda_{СЕР1}}{d_1}, \qquad (2.9)$$

де Nu – критерій Нусельта;

$\lambda_{СЕР1}$ – коефіцієнт теплопровідності дистиляту, Вт/(м·К);

d_1 – внутрішній діаметр труби; $d_1 = 0{,}021$ м.

Далі знаходимо фізичні параметри дистиляту при його середній температурі $t_{СЕР1} = 40\,°C$:

– густина

$$\rho_{СЕР1} = 1000 \cdot \left[\rho_4^{20} - \gamma \cdot (t_{СР1} - 20)\right]; \qquad (2.10)$$

$$\rho_{\text{СЕР1}} = 1000 \cdot \left[0{,}58 - 107 \cdot 10^{-5} \cdot (40 - 20)\right] = 559 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

– коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda_{\text{СЕР1}} = \left(\frac{0{,}422 - 0{,}000228 \cdot t_{\text{СЕР1}}}{\rho_{15}^{15}}\right) \cdot \frac{1000}{3600}; \qquad (2.11)$$

$$\lambda_{\text{СЕР1}} = \left(\frac{0{,}422 - 0{,}000228 \cdot 40}{0{,}585}\right) \cdot \frac{1000}{3600} = 0{,}196 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

– теплоємність

$$c_{\text{СЕР1}} = \frac{1{,}687 + 0{,}00339 \cdot t_{\text{СЕР1}}}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}}; \qquad (2.12)$$

$$c_{\text{СЕР1}} = \frac{1{,}687 + 0{,}00339 \cdot 40}{\sqrt{0{,}585}} = 2{,}38 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

– кінематична в’язкість

$$\nu_{\text{СЕР1}} = \frac{\mu}{\rho_{\text{СЕР1}}}, \qquad (2.13)$$

де μ – динамічний коефіцієнт в’язкості; $\mu = 0{,}12 \cdot 10^{-3}$ Па·с [11].

$$\nu_{\text{СЕР1}} = \frac{0{,}12 \cdot 10^{-3}}{540} = 2{,}2 \cdot 10^{-7} \ \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Далі визначимо мінімальну швидкість руху дистиляту в трубах, за якої забезпечується стійкий турбулентний потік, тобто $Re > 10^4$:

$$w_{min} = \frac{10^4 \cdot \nu_{СЕР1}}{d_1}; \qquad (2.14)$$

$$w_{min} = \frac{10^4 \cdot 2,2 \cdot 10^{-7}}{0,021} = 0,11 \ \frac{м}{с}.$$

Швидкість дистиляту:

$$w_1 = \frac{n_x \cdot V}{s_1 \cdot n_c}, \qquad (2.15)$$

де n_x – число ходів по трубам; $n_x = 4$;

V – об'ємна витрата дистиляту (за середньої температури), $м^3$/год.;

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

n_c – число секцій; $n_c = 3$.

Об'ємна витрата дистиляту за середньої температури:

$$V = \frac{G}{\rho_{СЕР1}}; \qquad (2.16)$$

$$V = \frac{4650}{540} = 8,61 \ \frac{м^3}{год.} = 2,4 \cdot 10^{-3} \ \frac{м^3}{с}.$$

Загальна площа внутрішнього трубного простору:

$$s_1 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \qquad (2.17)$$

де n – число труб в одній секції; n = 94.

$$s_1 = 94 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 0,032 \text{ м}^2 .$$

Приймаємо дійсну швидкість дистиляту за його мінімальним значенням:

$$w_1 = w_{min} = 0,11 \frac{\text{м}}{\text{с}} .$$

Критерій Рейнольдса у трубному просторі:

$$Re = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_{СЕР1}}; \qquad (2.18)$$

$$Re = \frac{0,11 \cdot 0,021}{2,2 \cdot 10^{-7}} = 10500 .$$

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі у трубах при турбулентному режимі використовуємо критеріальне рівняння (1.10):

$$Nu = 0,023 \cdot 10500^{0,9} \cdot 1,4^{0,3} = 105,8 .$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку дистиляту визначаємо за (2.9):

$$\alpha_Г = \frac{105,8 \cdot 0,196}{0,021} = 988 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} .$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря [7]:

$$\alpha_Х = 61,6 \cdot \lg w - 0,035 \cdot t_{СЕР2} - 5,81, \qquad (2.19)$$

де w – швидкість повітря у найвужчому перерізі міжтрубного простору, м/с;
$t_{СЕР2}$ – середня температура повітря в апараті, °С.

$$t_{СЕР2} = \frac{t_{2П} + t_{2К}}{2}; \qquad (2.20)$$

$$t_{СЕР2} = \frac{20 + 26}{2} = 23°C.$$

Швидкість повітря у найвужчому перерізі міжтрубного простору:

$$w = \frac{V_П}{s_y}, \qquad (2.21)$$

де $V_П$ – об'ємна витрата повітря, $м^3/с$;
s_y – сумарна площа найбільш вузького міжтрубного перетину; $s_y = 5,35\ м^2$.

$$w = \frac{70}{5,35} = 13,1\ \frac{м}{с}.$$

Знаходимо приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря за (2.19):

$$\alpha_X = 61,6 \cdot \lg 13,1 - 0,035 \cdot 23 - 5,81 = 62,2\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі за (2.8):

$$K = \frac{1}{12 \cdot \frac{1}{988} + \frac{1}{62,2} + 0,0002} = 35,2\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Середня різниця температур при $\frac{\Delta t_Б}{\Delta t_М} = \frac{20}{14} = 1,43 < 2$:

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{\Delta t_Б + \Delta t_М}{2}, \qquad (2.22)$$

де $\Delta_Б$ і $\Delta_М$ – відповідно більша і менша різниці температур між потоками на вході та виході з апарату, °С.

$$\Delta t_Б = t_{1К} - t_{2П} = 40 - 20 = 20\,°C;$$

$$\Delta t_М = t_{1П} - t_{2К} = 40 - 26 = 14\,°C;$$

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{20 + 14}{2} = 17\,°C.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Поверхня теплообміну:

$$F_Р = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{СЕР}}; \qquad (2.23)$$

$$F_Р = \frac{517 \cdot 10^3}{35,2 \cdot 17} = 864\ м^2.$$

Запас теплообмінної поверхні забезпечується.

Визначаємо діаметри штуцерів для введення парів і виходу конденсату:

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

де V – об’ємна витрата теплоносія, $м^3/с$;

w – швидкість руху теплоносія, м/с:

Для парів $w_П = 5 \div 25$ м/с, а для рідкого дистиляту $w_Р = 0,5 \div 2,5$ м/с [9].

Приймаємо $w_П = 12$ м/с, $w_Р = 0,8$ м/с

Діаметр штуцера для введення парів дистиляту:

$$V_1 = \frac{4650}{3600 \cdot 1,6} = 0,8 \frac{м^3}{с};$$

$$d_А = \sqrt{\frac{0,8}{0,785 \cdot 12}} = 0,29 \text{ м}.$$

Приймаємо $D_у = 300$ мм.

Діаметр штуцера для виведення конденсату:

$$d_Б = \sqrt{\frac{2,25 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,06 \text{ м}.$$

Приймаємо $D_у = 65$ мм.

2.3 Гідравлічні розрахунки [9]

Аеродинамічний опір пучка труб:

$$\Delta P = 9,7 \frac{\rho_П}{g} \left(w_у\right)^2 n_Р \left(\frac{S_Р}{d_З}\right)^{-0,72} \cdot Re^{-0,24}, \qquad (2.25)$$

де $\rho_П$ – густина повітря при його початковій температурі; $\rho_П = 1,205$ кг/$м^3$;

$w_у$ – швидкість у стислому перерізі оребреного пучка труб; $w_у = 13,5$ м/с;

$n_р$ – число горизонтальних рядів труб в пучку; $n_р = 4$;

$S_р$ – крок ребер; $S_р = 0{,}0035$ м;

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

$Re_З$ – критерій Рейнольдса, віднесений до зовнішнього діаметру труби.

$$Re_З = \frac{w_У \cdot d_З}{\nu_П}, \qquad (2.26)$$

де $\upsilon_П$ – кінематична в'язкість повітря при $t_{СЕР2} = 23°C$; $\upsilon_П = 16 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

$$Re = \frac{13{,}5 \cdot 0{,}028}{16 \cdot 10^{-6}} = 23625.$$

Аеродинамічний опір пучка труб визначаємо за (2.25):

$$\Delta P = 9{,}7 \cdot \frac{1{,}205}{9{,}81} \cdot 13{,}5^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0{,}0035}{0{,}028}\right)^{-0{,}72} \cdot 23625^{-0{,}24} = 346\,\text{Па}.$$

Обраний ранішк вентилятор ЦАГІ КК – 2М із запасом за продуктивністю і напором забезпечить роботу АПО.

Витрата енергії для вентилятора:

$$N_Е = 0{,}00981 \cdot \frac{V_П \cdot \Delta P}{g \cdot \eta}, \qquad (2.27)$$

де $V_П$ – сумарна об'ємна витрата повітря; $V_П = 71{,}53$ м^3/с;

η – к.к.д. вентилятора; $\eta = 0{,}68$.

$$N_Е = 0{,}00981 \cdot \frac{71{,}53 \cdot 346}{9{,}81 \cdot 0{,}68} = 36{,}4\ \text{кВт}.$$

При виборі електродвигуна розрахункову потужність слід збільшити на 10 % для забезпечення пуску двигуна.

Дійсна потужність двигуна:

$$N_{Е.Д.} = 1{,}1 \cdot N_{Е}; \tag{2.28}$$

$$N_{Е.Д.} = 1{,}1 \cdot 36{,}4 = 40 \text{ кВт}.$$

Установча потужність електродвигуна становить 55 кВт.

Коефіцієнт використання установчої потужності:

$$\varphi = \frac{N_{Е.Д.}}{N_{УСТ}}; \tag{2.29}$$

$$\varphi = \frac{40}{55} = 0{,}73.$$

Вибираємо тип електродвигуна 4А250М6У3 із потужністю 55 кВт, синхронною частотою обертання 1000 об/хв. [4], де: 4 – порядковий номер серії; А – тип двигуна (асинхронний); 250 мм – висота осі обертання; М – позначення, яке відноситься до установчого розміру за тривалістю станини; 6 – число полюсів; У3 – двигун призначений для експлуатації в зоні помірного клімату.

2.4 Вибір допоміжного обладнання [10]

Розрахунок і вибір насосу для подачі флегмового зрошення в фракціонуючу колону.

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, яка дорівнює $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \qquad (2.30)$$

де V – об'ємна витрата флегмового зрошення, що подається в колону.

$$V = \frac{2600}{3600 \cdot 540} = 1,34 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3/\text{с}.$$

$$d = \sqrt{\frac{1,34 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,029\ \text{м}.$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \qquad (2.31)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 540}{2,97 \cdot 10^{-4}} = 116364,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,0069;$$

$$\frac{1}{e} = 145;\ 560 \cdot \frac{1}{e} = 81200;\ 10 \cdot \frac{1}{e} = 1450;$$

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0{,}11 \cdot e^{0{,}25}; \qquad (2.32)$$

$$\lambda = 0{,}11 \cdot 0{,}0069^{0{,}25} = 0{,}032.$$

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

Для всмоктуючої лінії: 1) вхід у 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) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0{,}65$; 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1{,}1 = 3{,}3$; 3) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

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

$$\Sigma\xi = 0{,}65 + 3{,}3 + 1 = 4{,}95.$$

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma\xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \qquad (2.33)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0{,}032 \cdot \frac{4}{0{,}032} + 2{,}7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9{,}81} = 1{,}37 \text{ м}.$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,032 \cdot \frac{7}{0,032} + 4,95\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,44\,\text{м}.$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \tag{2.34}$$

$$h_{П} = 1,37 + 2,44 = 3,81\,\text{м}.$$

Напір насосу знаходимо за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_р \cdot g} + H_Г + h_П, \tag{2.35}$$

де $H_Г$ – геометрична висота піднімання рідини.

$\left(P_2 - P_1\right)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина; у нашому випадку ця різниця дорівнює 0,1 МПа;

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{540 \cdot 9,81} + 3 + 3,81 = 25,7\,\text{м}.$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_К = \rho_р \cdot g \cdot V \cdot H, \tag{2.36}$$

$$N_К = 540 \cdot 9,81 \cdot 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot 25,7 = 182\,\text{Вт}.$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_K}{\eta_{пер} \cdot \eta_н}, \qquad (2.37)$$

де $\eta_н$, $\eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_н = 0,6$ і $\eta_{пер} = 1$.

$$N = \frac{182}{1 \cdot 0,6} = 304\,\text{Вт}.$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-6,3/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 6,3 м^3/год.; напір насосу 25 м; споживана потужність 7,5 кВт; частота обертання 1450 об/хв.

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність [15]

Розрахункова товщина стінки плоскої кришки, яка працює під внутрішнім тиском:

– при розрахункових параметрах

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

де K – коефіцієнт, який визначається у залежності від типу з'єднання кришки із корпусом; за [15] K = 0,41;

K_0 – коефіцієнт ослаблення кришки;

D_R – розрахункова довжина кришки; за [4] $D_R = D = 1300$ мм;

φ – коефіцієнт міцності зварного шва; φ = 1,0 [15];

[σ] – допустима напруга у робочому стані.

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta\ , \quad \text{МПа} \qquad (3.2)$$

де σ^* – нормативна допустима напруга при розрахунковій температурі;

$\sigma^* = 130$ МПа за [15] – для сталі ВСт3пс при температурі 40°С;

η – поправний коефіцієнт, який враховує вид заготовки; η = 1,0 [15].

$$[\sigma] = 130 \cdot 1{,}0 = 130 \ \text{МПа}\,.$$

Коефіцієнт ослаблення для кришки, яка 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 за діаметром вони більші.

$$K_0 = \sqrt{\frac{1-\left(\frac{2\cdot 300}{1300}\right)^3}{1-\frac{2\cdot 300}{1300}}} = 1,29.$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки плоскої кришки при розрахункових параметрах за формулою (3.1):

$$s_{1R} = 0,41 \cdot 1,29 \cdot 1300 \cdot \sqrt{\frac{0,42}{130 \cdot 1,0}} = 39 \text{ мм}.$$

– при гідравлічному випробуванні

$$s_{1RB} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p_B}{[\sigma]_B \cdot \varphi}}, \quad \text{мм} \qquad (3.4)$$

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

$[\sigma_в]$ – допустима напруга при гідравлічному випробуванні, МПа.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [15]:

$$p_B = \max \begin{Bmatrix} 1,5 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ 0,2 \end{Bmatrix}, \quad \text{МПа} \qquad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20}$ – допустима напруга для ВСт3пс при температурі +20°С; обчислюється за формулою (3.2):

$$[\sigma] = 140 \cdot 1,0 = 140 \quad \text{МПа}.$$

Визначаємо пробний тиск при гідравлічному випробуванні за (3.5):

$$p_B = \max \begin{Bmatrix} 1,5 \cdot 0,42 \cdot \dfrac{140}{130} = 0,68 \\ 0,2 \end{Bmatrix} = 0,68 \ \text{МПа}.$$

Допустима напруга при гідравлічному випробуванні:

$$[\sigma]_И = \frac{\sigma_{T\,20}}{1,1}, \ \text{МПа} \qquad (3.6)$$

де $\sigma_{т20}$ – мінімальне значення межі плинності матеріалу при температурі +20°С; за [15] для сталі ВСт3пс $\sigma_{т20}$ = 210 МПа.

$$[\sigma]_B = \frac{210}{1,1} = 190,91 \ \text{МПа}.$$

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

$$s_{1RB} = 0,41 \cdot 1,29 \cdot 1300 \cdot \sqrt{\frac{0,68}{190,91 \cdot 1,0}} = 41 \ \text{мм}.$$

Прибавка до розрахункових товщин [15]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \ \text{мм} \qquad (3.7)$$

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:

$$c_1 = П \cdot \tau + c_E, \quad мм \tag{3.8}$$

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

τ – термін служби апарату; τ = 15 років;

c_E – прибавка для компенсації ерозії; $c_E = 0$.

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 15 + 0 = 1,5 \ \ мм.$$

Виконавча товщина плоскої кришки, яка працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = \max\left(s_{1R}; s_{1R\,и}\right) + c, \quad мм \tag{3.9}$$

$$s_1 = \max(39; 41) + 1,5 = 41 + 1,5 = 42,5 \ \ мм.$$

Округлюємо до більшого стандартного значення: $s_1 = 44$ мм.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул для плоскої кришки:

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

$$\frac{44 - 1,5}{1300} = 0,033 < 0,1.$$

Умова застосування розрахункових формул виконується.

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [16, 17]

Монтаж апаратів повітряного охолодження виконується у повній зібраній формі, з встановленими трубопроводами та металоконструкціями каркасів. Перед установкою апарату в проектне положення, він піддається гідравлічному випробуванню для перевірки міцності та герметичності. Випробування включає окрему перевірку міжтрубного простору та трубного простору.

Апарати установлюються у проектне положення на фундамент або іншу підставу за допомогою монтажних кранів або інших підйомних механізмів для пересування вантажів.

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

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

1. Розміщують контейнери на технологічній етажерці, з'єднують їх і закріплюють між собою за допомогою кріпильних болтів.
2. На контейнері встановлюють дифузори, з'єднують їх і закріплюють між собою кріпильними болтами.
3. Встановлюють та закріплюють теплообмінні секції на штирях дифузорів з відповідним маркуванням.
4. Перевіряють якість виготовлення шпилок, гайок та шайб. Різьба повинна бути чистою без будь-яких забруднень, подряпин або пошкоджень. Поверхня на нарізаній частині шпилок повинна бути гладкою, а гайка, надіта на різьблення шпильки, не повинна мати слабкості.

5. Затягують усі болтові з'єднання, використовуючи стандартні ключі без використання подовжувачів.
6. Перед затягуванням гайок ретельно перевіряють привалочні поверхні фланців на наявність дефектів, оскільки вони не допускаються.
7. Перевіряють правильну установку фланців та прокладок на штуцерах входу і виходу робочого середовища в теплообмінній секції.
8. Також слід перевірити розмір і стан прокладок, щоб вони відповідали розмірам привалочних поверхонь стикуючих фланців. Переконатися, що прокладки правильно встановлені в пази і що всі шпильки присутні в отворах фланців. Недостатня кількість шпильок або неправильне їх положення не допускаються. Також заборонено підтягувати шпильки під час роботи апарату.

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

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

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

Перевірити правильність установки апарату на фундаменті, враховуючи наступні аспекти:

- для теплообмінних секцій перевірити рівень гідростатичним або брусковим рівнем;
- визначити правильне положення опорних стійок шляхом вимірювання їх осей за допомогою схила;
- кронштейни опорних стійок повинні знаходитися в одній горизонтальній площині, що перевіряється за допомогою натягнутої струни;

- переконатися, що привід вентилятора не відхиляється від горизонтальної площини, що вимірюється брусковим рівнем.

При установці колеса вентилятора важливо дотримуватися рівномірного радіального зазору в межах припустимих розмірів. Під час центрування валів рекомендується проводити вимірювання в чотирьох положеннях під час спільного повороту напівмуфт на 90°. Центрування приводу вважається правильним, якщо різниця діаметрально протилежних розмірів перекосу та паралельного зміщення осей не перевищує 0,06 мм при діаметрі муфти 250 мм.

Виконання цих кроків забезпечить належну установку і правильну роботу повітряного охолодження, а також гарантуватиме безпеку та ефективність його функціонування.

4.2 Ремонт апарата [16, 17]

Необхідно перевірити стан зовнішньої поверхні елементів апаратів повітряного охолодження, які працюють під тиском, у наступних місцях:

- місце приварювання фланців;
- місце перетину зварних швів;
- зовнішня поверхня трубного простору.

Під час перевірки слід звернути увагу на наступні можливі дефекти:

- на поверхні елементів можуть бути тріщини, надриви, випучини або інші видимі пошкодження;
- важливо виявити ознаки підвищеної швидкості корозії стінок, що може свідчити про проблеми з довговічністю матеріалу;
- зварні шви також потребують уваги, оскільки можуть бути виявлені дефекти зварювання, тріщини, надриви та інші неправильності;

Виконання цих перевірок дозволить виявити можливі пошкодження або недоліки на зовнішній поверхні апаратів повітряного охолодження, що працюють під тиском. Раннє виявлення і усунення таких дефектів є важливим для забезпечення безпеки та ефективності роботи цих апаратів.

Для проведення ремонту та очищення апарату його необхідно зупинити, відключити від системи подачі теплоносія, а також відімкнути від інших пристроїв. Перед розбиранням апарату, його необхідно пропарити та промити азотом. Важливо створити безпечні умови, забезпечивши атмосферний тиск, знижену температуру до нормального рівня і відсутність вибухо- та пожежонебезпечних середовищ.

У деяких випадках, процедуру пропарки та промивки можна повторювати кілька разів. Промивання водою сприяє швидшому охолодженню апарату. Проте, варто пам'ятати, що необхідно утримувати температуру промивної води нижче 50°С перед початком ремонтних робіт.

Після пропарки та промивки, теплообмінник повинен бути від'єднаний від усіх інших апаратів та комунікацій. Для цього встановлюються глухі заглушки на фланцевих з'єднаннях штуцерів теплообмінника. Установку та подальше зняття кожної заглушки слід ретельно реєструвати в спеціальному журналі.

Виконання цих кроків допоможе забезпечити безпеку та ефективність ремонтних та очисних робіт на апараті.

З метою скорочення тривалості ремонтних робіт, можна застосовувати наступний підхід ще на етапі промивання апарата водою: відвертати частину болтів на тих люках, які будуть розкриватися, зберігаючи при цьому герметичність системи.

Після розкриття люка апарату необхідно дати йому певний час провітрюватися в режимі вільної конвекції. Після завершення цього процесу виконується аналіз зразків повітря, які були взяті з апарату. Для безпечного проведення внутрішніх робіт (всередині апарату) можна розпочинати їх лише тоді, коли аналіз показує, що концентрація шкідливих газів не перевищує гранично допустимих значень, встановлених санітарними нормами.

Далі необхідно провести ретельний зовнішній та внутрішній огляд апарату для виявлення можливих дефектів, які могли виникнути під час

експлуатації, таких як механічні пошкодження, тріщини, корозія та інші. Якщо необхідно, розбирають внутрішні пристрої для огляду всієї поверхні корпусу апарату. Такий підхід дозволяє забезпечити більш ефективний та точний огляд апарату, зробити необхідні виправлення і заміни, а також попередити можливі проблеми під час подальшої експлуатації.

Очищення трубного простору теплообмінних секцій повинно здійснюватися відповідно до діючої інструкції, яка застосовується на підприємстві.

У разі зношеності штуцерів і люків вони повинні бути вирізані і замінені новими, з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець. Бажано, щоб зміцнювальні кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, ніж старі. Це дозволяє їх приварювати в новому місці з максимальною надійністю.

Для видалення дефектів на зовнішній поверхні, таких як вм'ятини, корозійні ушкодження та інші, необхідно застосовувати шліфування. Ефективність видалення поверхневих дефектів контролюється за допомогою магнітної або ультразвукової дефектоскопії. Допустима глибина пошкодження становить 10-20% від товщини стінки, в залежності від розміру пошкодження.

Після проведення ремонтних робіт апарат піддається гідравлічним або пневматичним випробовуванням, щоб перевірити його надійність і герметичність. Цей етап допомагає підтвердити, що виконані ремонтні роботи були успішними і апарат може бути відновлено до експлуатації з необхідною безпекою і ефективністю.

5 Охорона праці [18]

Основні ізолювальні електрозахисні засоби для роботи на електроустановках. Правила користування та терміни випробувань.

Основні ізолювальні електрозахисні засоби, які використовуються для роботи на електроустановках, включають наступні:

Ізолюючі перчатки. Це спеціальні гумові або діелектричні перчатки, які надівають на руки для захисту від електричного струму. Вони здатні забезпечити електричну ізоляцію і запобігти потенційному ураженню струмом.

Ізолююче взуття. Це спеціальні боти або черевики з ізолюючими матеріалами, які захищають ноги від електричного струму. Вони допомагають уникнути проведення струму через ноги під час роботи з електроустановками.

Ізолюючі ковпачки і шоломи. Ці засоби забезпечують захист голови від електричного струму і можуть мати діелектричні властивості. Вони використовуються для запобігання можливих ударів струмом та впливу електричного поля на голову та обличчя.

Ізолюючі мати і килими. Ці засоби розкладаються на підлогу або робочу поверхню, щоб створити додатковий шар ізоляції між робітником і електроустановкою. Вони допомагають уникнути можливого проходження струму через тіло робітника.

Ізолюючі екранувальні пристрої. Ці пристрої використовуються для створення фізичного бар'єру між робітником і небезпечною зоною електроустановки. Вони можуть бути виготовлені з діелектричних матеріалів або матеріалів з високою електричною міцністю.

Ізолюючі килимки. Це невеликі килимки або підстилки з ізолюючими матеріалами, які можна розмістити на робочій поверхні для створення додаткового шару ізоляції.

Ізолюючі штори і завіски. Ці засоби виготовляються з матеріалів, які мають високу електричну міцність, і використовуються для створення бар'єру між робітником і небезпечними ділянками електроустановки.

Ізолюючі ремені і пояси. Ці засоби надівають на тіло робітника і використовуються для забезпечення додаткової ізоляції в окремих зонах, наприклад, на руках, нозі або талії.

Ізолюючі шнури і кабелі. Ці електричні проводи мають спеціальне покриття або оболонку, яка забезпечує додаткову ізоляцію від електричного струму.

Ізолюючі клапани і вимикачі. Ці пристрої встановлюються на електроустановках і використовуються для перекриття електричних ліній або вимикання електричного струму в безпечних умовах.

Ізолюючі рукавиці і рукавички. Це спеціальні захисні засоби, що надівають на руки для захисту від електричного струму і можуть мати різні класи захисту від напруги.

Правильне користування ізолювальними електрозахисними засобами на електроустановках включає дотримання наступних правил:

Вибір відповідних засобів. Перед початком робіт необхідно вибрати правильні ізолювальні засоби залежно від типу робіт і потенційних небезпек. Впевніться, що засоби відповідають потрібним стандартам і мають необхідну ізоляційну здатність.

Візуальний огляд. Перед використанням переконайтеся, що ізолюючі засоби не мають видимих пошкоджень, тріщин, проколів або інших дефектів. Візуально перевірте їх на цілісність і правильність зберігання.

Зберігання. Зберігайте ізолюючі засоби в сухому, чистому і відокремленому від джерел електричного струму місці. Уникайте прямого сонячного проміння, вологи та впливу хімічних речовин, які можуть пошкодити матеріали.

Правильне одягання. Користувачі повинні правильно одягати ізолювальні засоби, щоб забезпечити максимальний захист. Засоби, такі як перчатки, взуття, шоломи або ремені, повинні бути правильно надіті і закріплені на тілі.

Перевірка на вологість. Перед використанням переконайтеся, що ізолювальні засоби не мають ознак вологи або вологого середовища, оскільки це може знизити їх ізоляційну здатність і збільшити ризик ураження струмом.

Правильна обробка ізолюючих засобів. Не допускайте контакту ізолюючих засобів з гострими предметами, горючими речовинами або речовинами, що можуть пошкодити їх матеріал. Уникайте також різкого згинання, розтягування або скручування засобів, оскільки це може пошкодити їх структуру.

Правильне використання. Використовуйте ізолюючі засоби тільки для призначеного їм застосування. Не використовуйте їх для інших цілей, які не передбачені виробником. Дотримуйтеся інструкцій з використання та обслуговування, наданої виробником засобів.

Регулярна перевірка. Періодично перевіряйте стан ізолюючих засобів на наявність пошкоджень, зносу або старіння. Регулярно проводьте перевірки інспекції, включаючи візуальний огляд, перевірку цілісності та перевірку електричної ізоляції.

Заборона використання під дією напруги. Ніколи не використовуйте ізолюючі засоби під дією напруги. Завжди вимикайте електроустановку та відключайте живлення, перш ніж працювати з ізолюючими засобами.

Правильне зняття і зберігання. Після використання правильно знімайте ізолюючі засоби, уникаючи контакту зі струмоведучими частинами. Зберігайте їх в спеціальних контейнерах або сумках, які забезпечують захист від пошкоджень та збереження ізоляційних властивостей.

Терміни випробувань ізолювальних електрозахисних засобів можуть варіюватись залежно від конкретних нормативних вимог та рекомендацій

виробників. Однак, основні терміни випробувань, які застосовуються для більшості ізолювальних засобів, включають:

1. Первинні випробування. Ці випробування зазвичай проводяться перед початком використання нових ізолювальних засобів або перед їх введенням в експлуатацію. Вони включають в себе випробування на ізоляційну здатність, випробування на механічну міцність та випробування на герметичність.
2. Періодичні випробування. Ці випробування проводяться на регулярній основі під час експлуатації ізолювальних засобів. Їх мета полягає в перевірці стану засобів і забезпеченні їх надійності та безпеки. Вони можуть включати випробування на ізоляційну здатність, випробування на стійкість до високих температур, випробування на стійкість до хімічних речовин тощо.
3. Зняття з експлуатації. Певний термін служби ізолювальних засобів може бути обмежений, після чого вони вважаються необхідними для заміни. Зазвичай виробники надають рекомендації щодо терміну служби засобів, які базуються на їх матеріалі, типі, умовах експлуатації та інших факторах.

Важливо відзначити, що конкретні вимоги щодо випробувань ізолювальних електрозахисних засобів можуть бути регульовані місцевими нормативними документами та стандартами безпеки. Наприклад, в багатьох країнах вимоги до випробувань ізолювальних засобів встановлені відповідними національними стандартами, такими як стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), національні стандарти безпеки праці та електротехнічні нормативи.

Література

1. Альбом технологічних схем процесів переробки нафти та газу / Під ред. Б.І. Бондаренко. – М. : Вид-во РГУ, 2003. – 202 с.
2. Stolfa F. Hydrocarb // Proc., 1980, v. 59, № 5. – P. 101.
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. Сікорський В.О. «Інтенсифікація конвективного теплообміну при поперечному омиванні трубного пучка апарату повітряного охолодження : магістерська робота : 8.144 / В.О. Сікорський. – Київ, 2018. – 69 с.
5. Бахмат Г.В. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях / Г.В. Бахмат, Н.В. Еремин, О.А. Степанов. СПб. : Недра, 1994. – 512 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. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
9. 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.
10. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 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. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

13. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

14. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

15. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

16. 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.

17. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.

18. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К. : Основа, 2006. – 448 с.