

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Аміачна парокомпресійна установка. Розробити та модернізувати кожухотрубний конденсатор аміаку / Ammonia vapor compression unit. Develop and modernize a shell-and-tube ammonia condenser

Виконав:
студент групи ХМ.мдн-21с
Попов Ярослав Сергійович

підпис

Залікова книжка
№ 22320110

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1 Принцип роботи холодильних установок	6
1.2 Характеристика холодоагентів	11
1.3 Фізична модель теплообмінних процесів	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	18
2.1 Опис технологічної схеми	18
2.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів	23
2.3 Опис конструкції проектного апарата	31
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	32
2.5 Гідравлічні розрахунки	40
2.6 Вибір допоміжного обладнання	41
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	44
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	44
3.2 Розрахунки на міцність та стійкість	46
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	52
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	52
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	56
5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	64
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	64
5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання	67
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	71

	3
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	71
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора	77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	83
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Процес охолодження є важливим і широко використовується в різних галузях. Існує кілька методів охолодження, які використовуються для отримання низьких температур з метою збереження продуктів, виробництва ліків, промислових застосувань та інших цілей [1]:

1. Компресійне охолодження. Використовується в холодильниках та кондиціонерах. Газ або рідина, які входять в компресор, стискаються, і тиск знижується, що призводить до охолодження.

2. Абсорбційне охолодження. Використовує тепло для вивільнення або поглиблення речовин у розчині, що призводить до охолодження середовища. Цей метод може бути використаний для отримання низьких температур.

3. Цикл Карно. Теоретичний цикл, який визначає максимально можливу ефективність для теплових машин, включаючи охолодження. Хоча в реальних системах не завжди можна досягти ідеальної ефективності, концепції циклу Карно допомагають розуміти процеси охолодження та покращити їхню продуктивність.

4. Кріометрія. Вивчення властивостей речовин при низьких температурах, таке як кристалізація, конденсація газів та інші явища, пов'язані із зниженням температури.

Охолодження грає важливу роль в сучасній технології, дозволяючи забезпечити низькі температури для різноманітних процесів і застосувань, які варіюють від зберігання продуктів харчування до виробництва новітніх електронних пристроїв і наукових досліджень.

Холодильні установки поділяються за рівнем температури охолодження на дві основні категорії:

1. Холодильні установки помірного охолодження. Діапазон температур в цих установках зазвичай варіюється від кімнатних температур (20–25°C) до мінус 100°C. Ці установки використовуються для зберігання харчових

продуктів, медичних препаратів, хімічних речовин, а також в різних промислових процесах, де необхідно підтримувати помірні низькі температури.

2. Холодильні установки глибокого охолодження. Ці установки працюють при температурах нижче мінус 100°C. Вони застосовуються у високотехнологічних галузях, таких як космічна промисловість, наукові дослідження, виробництво електроніки і суперпровідників, а також для деяких особливих медичних досліджень і процедур.

Парокомпресійні холодильні установки є одним із основних типів холодильних систем і відносяться до холодильних установок помірною охолодження. Основний принцип їхньої роботи ґрунтується на циклі парокомпресії, який включає кілька основних етапів [1–5]:

- компресія пари – на цьому етапі робочий холодильний газ стискатиметься компресором, що призводить до збільшення тиску і температури газу;
- конденсація – стиснений газ потрапляє в конденсатор, де відбувається відведення тепла до зовнішнього середовища, і газ конденсується, перетворюючись у рідкісний стан;
- розширення – рідкий холодоагент проходить через експансійний клапан, де тиск і температура різко знижуються, і газ розширюється;
- випарювання – газ потрапляє в евапоратор, де відбувається випарювання, а тепло відсмоктується з охолоджуваного середовища (наприклад, в холодильнику – з харчових продуктів).

У цій кваліфікаційній роботі [6] досліджено принцип роботи аміачної парокомпресійної установки та запроектовано кожухотрубний конденсатор аміаку.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Принцип роботи холодильних установок [1, 7]

Другий закон термодинаміки є однією з фундаментальних принципів термодинаміки і визначає можливості та обмеження перетворення теплової енергії в роботу. Основна ідея другого закону термодинаміки визначається відомими формулюваннями.

Формулювання Клаузіуса. У будь-якому термодинамічному циклі теплота не може самопливом переходити з холоднішого тіла до гарячішого тіла без зовнішнього втручання.

Формулювання Кельвіна-Планка. Неможливо побудувати термодинамічний цикл, в якому всю теплоту відбирають від одного резервуару та використовують для виконання роботи, не використовуючи зовнішнього джерела.

Ці формулювання покладають обмеження на те, як може бути використана тепла енергія для виконання роботи або здійснення інших видів корисної діяльності. У контексті теплових двигунів, холодильних установок і теплових насосів, другий закон термодинаміки визначає максимальну ефективність цих пристроїв. Наприклад, в теплових двигунах це визначає максимальну ефективність перетворення теплової енергії пального в роботу. У холодильниках і теплових насосах відповідно – максимальну ефективність перенесення тепла з холоднішого середовища до теплішого.

Холодильні установки використовують зворотні цикли, що дозволяє їм відбирати тепло з низькотемпературного джерела (холодного середовища) і віддавати його до вищотемпературного джерела (гарячого середовища), використовуючи роботу стиснення і розширення холодильного агента.

Однак є важливим враховувати, що холодильні установки не створюють холод, а лише переміщують тепло від низькотемпературного середовища до вищотемпературного. Робота, яка виконується під час стиснення газу (витрату енергії), дозволяє відбирати тепло з холодного середовища, а розширення газу дозволяє віддавати це тепло до гарячого середовища.

Для функціонування холодильного циклу необхідно мати два джерела тепла з різними температурами – холодне (нижнє) та гаряче (верхнє). Температура верхнього джерела зазвичай знаходиться близько до температури навколишнього середовища.

Такий цикл дозволяє ефективно використовувати енергію для перенесення тепла та забезпечення охолодження в певних промислових, комерційних та побутових системах.

Цикл Карно – це ідеальний оборотний цикл, який дозволяє визначити максимально можливу ефективність для холодильних установок при заданих температурах холодного і гарячого джерел. Цей цикл використовує два ізотермічних і два адіабатичних процеси.

У реальних умовах робота холодильних установок не завжди може підтримувати такий ідеальний цикл. Різниця у температурі між холодним і гарячим джерелами впливає на ефективність. За другим законом термодинаміки, ефективність будь-якого реального циклу повинна бути меншою, ніж ефективність циклу Карно для тих самих температур.

Нерівність $T_C \geq T_2$ правильно відображає умову для реальних циклів, де температура холодного джерела (T_C) повинна бути або рівною, або більшою за температуру T_2 , яка відповідає температурі холодильного агента під час відведення тепла у реальних умовах.

В оборотних циклах, таких як цикл Карно для холодильних установок або інші реальні цикли, зовнішня корисна робота витрачається для забезпечення того, щоб температура холодильного агента стала рівною або

більшою за температуру гарячого джерела. Це важливо для виконання вимог другого закону термодинаміки, який обмежує можливість перенесення тепла з низькотемпературного середовища до вищотемпературного. Перевищення цієї різниці температур дозволяє ефективно використовувати тепло для виконання роботи або використання його в інших цілях.

В холодильних установках це означає, що температура холодильного агента, коли він поглиблює тепло від холодного середовища, повинна бути такою, щоб ця робота можна було ефективно витратити для стискання газу і подальшого відведення тепла в гаряче середовище. Таке підтримання оптимальних температур дозволяє максимізувати ефективність холодильного циклу.

У парокомпресійних холодильних установках в якості холодильного агента часто використовують різні холодильні речовини або суміші речовин. Однак існує певне обмеження на температуру кипіння при атмосферному тиску – в якості холодильного агента можна використовувати вологу насичену пару будь-якої рідини з температурою кипіння, яка не перевищує 0°C . Розглянемо декілька холодильних агентів, які можуть задовольняти цю умову:

1. Аміак (NH_3) має температуру кипіння при атмосферному тиску приблизно -33°C , тому є ефективним агентом для низьких температур.
2. Фреони (CFC, HCFC, HFC). Наприклад, R134a має температуру кипіння близько -26°C . Однак багато хлорфторовуглеводні не рекомендуються через їх вплив на стратосферний озон.
3. Пропан (R290) та ізобутан (R600a) є природними вуглеводневими холодоагентами і мають температури кипіння близько -42°C і -11°C відповідно.

Вибір конкретного холодильного агента залежить від конкретних вимог системи, технічних характеристик, безпеки та екологічних аспектів.

Природні холодильні агенти (наприклад, аміак або вуглеводні) здобувають популярність через їхню екологічну безпечність у порівнянні з певними хлорфторовуглеводними (CFC) або гідрохлорфторовуглеводними (HCFC), які можуть впливати на озоновий шар.

Нижче представлено схему парокомпресійну холодильну установку з дросельним вентиляем, яка працює по сухому ходу компресора та її цикл у $T-s$ та $lgp-h$ діаграмах.

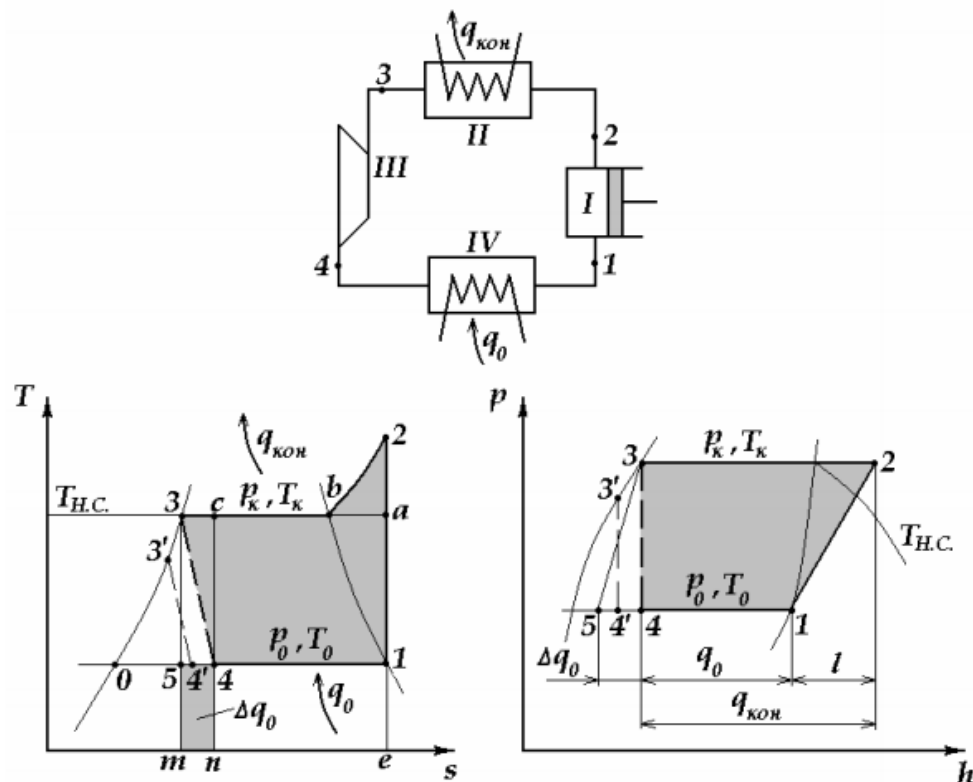


Рисунок 1.1 – Схема і теоретичний цикл одноступеневої холодильної машини з дросельним вентиляем

Дроселювання в холодильних установках забезпечує ефективне зниження тиску і температури робочого холодильного агента. Процес дроселювання є необоротним, оскільки відбувається при $h=const$, і, таким чином, може бути відображено на $T-s$ (температурно-ентропійній) та $P-h$ (тиск-ентальпія) діаграмах.

У порівнянні з адіабатним розширенням у детандері (циліндрі розширювання), використання дросельного вентиля дозволяє досягти кількох важливих переваг По-перше, дросельний вентиль набагато легше регулювати порівняно з складним устроєм детандера, що полегшує експлуатацію та обслуговування. По-друге, за рахунок заміни адіабатного розширення на дроселювання можна зменшити тепловтрати, оскільки в детандері великі габаритні розміри можуть спричиняти значні тепловтрати.

Ці аспекти сприяють покращенню ефективності роботи парокompресійних холодильних установок, роблячи їх більш зручними у використанні та менш енергозатратними.

У контексті холодильних систем «сухий хід компресора» означає, що компресор не насмоктує рідкий холодоагент. Це може бути досягнуто за допомогою різних технологій і систем контролю, які забезпечують, що газовий холодильний агент у вигляді пари подається в компресор, а не рідка фаза.

Робота компресора з рідким холодоагентом може призвести до серйозних проблем, таких як гідравлічні удари. Гідравлічні удари можуть виникати при насмоктуванні рідкого агента, коли компресор спробує стиснути рідкість, що може призвести до значних динамічних навантажень на систему. Уникнення попадання рідкого холодоагента в компресор допомагає запобігти аваріям і зберігає нормальну роботу системи. Деякі системи мають регульовальні пристрої, які контролюють подачу рідкого агента в компресор та забезпечують, що він отримує тільки газовий агент.

Забезпечення безпечної роботи компресора є критично важливим, і реалізація сухого ходу компресора є одним із заходів для досягнення цієї мети.

1.2 Характеристика холодоагентів [1, 2, 7]

Вибір холодильного агента для парокомпресійних холодильних установок є важливим завданням, оскільки від характеристик агента залежить ефективність, безпека та екологічність усієї системи.

Критична температура холодильного агента є важливою характеристикою, яка визначає максимальну температуру, при якій речовина може перебувати у вигляді рідини під критичним тиском. Ця властивість має велике значення для ефективності холодильних систем.

Щоб забезпечити ефективне відведення тепла від холодильного агента при його конденсації, критична температура повинна бути істотно вищою від температури оточуючого середовища. Це дозволяє використовувати агент для конденсації при вищих температурах і, таким чином, забезпечує більш ефективний теплообмін.

Наприклад, для холодильного агента води (H_2O) критична температура становить приблизно $373^{\circ}C$. Така висока критична температура дозволяє використовувати воду для конденсації при великих температурах, що корисно в багатьох теплотехнічних та холодильних системах.

Теплота випаровування – це енергія, яка необхідна для переходу речовини з рідкого стану в газоподібний стан при певному тиску і температурі. Велика теплота випаровування при низьких температурах означає, що холодильний агент може вилучати багато тепла з оточуючого середовища при випаровуванні. Це важливо для того, щоб система можна було ефективно використовувати для охолодження при низьких температурах, наприклад, у холодильних установках для зберігання продуктів чи в медичних холодильниках.

Велика теплота випаровування також дозволяє зменшити кількість холодоагента, який циркулює в системі. Менша кількість холодоагента

допомагає зменшити обсяг системи і може призвести до зменшення розмірів холодильної машини при збереженні заданої холодопродуктивності.

Також густина пари холодильного агента є важливою характеристикою для ефективності холодильних систем. Густина визначає кількість маси пари, яка може займати певний об'єм при заданій температурі та тиску. Якщо густина пари велика, то при заданому об'ємі можна вмістити більше маси холодильного агента.

Зазвичай використовують специфічний об'єм (обернена густина), який визначається як об'єм, який займає один кількісний об'єм маси холодильного агента при певній температурі та тиску. Чим менший специфічний об'єм, тим більша густина.

Зменшення робочих об'ємів машин є важливим аспектом для компактності та ефективності холодильних систем. Більша густина пари дозволяє створювати більше охолоджуючої потужності в обмеженому об'ємі, що важливо для промислових та портативних застосувань, де обмежений простір.

Помірний тиск пари вигідний з кількох причин, включаючи міцність елементів системи та витрати матеріалів. Високий тиск може призвести до великих механічних напружень в системі. Помірний тиск пари дозволяє зменшити навантаження на елементи холодильної установки, такі як конденсатори, трубопроводи та компресори. Це може підвищити міцність та тривалість служби обладнання. Зменшення тиску допомагає зменшити потребу в металевих матеріалах для виготовлення елементів системи. Це може мати позитивний вплив на вартість виготовлення та загальну масу обладнання.

Помірний тиск пари також може впливати на енергоефективність системи. Зниження тиску під час конденсації може зменшити витрати енергії, пов'язані з роботою компресора та інших компонентів системи.

Однак, при цьому, важливо пам'ятати, що тиск пари в конденсаторі пов'язаний з високою температурою. Так, хоча низький тиск може мати свої переваги, але також потрібно забезпечити, щоб система була достатньо потужною для ефективної конденсації пари при відповідних температурах.

Зважаючи на всі ці аспекти, проектування холодильних систем вимагає компромісу між різними факторами для досягнення оптимальної ефективності та економічності.

Тиск пари у випарнику (пароприймачі) також є важливою характеристикою для ефективності та безпеки роботи холодильної системи. Якщо тиск у випарнику трохи вищий від атмосферного, це допомагає уникнути всмоктування атмосферного повітря в робочий тракт системи. Всмоктування повітря може бути небезпечним, оскільки це може впливати на ефективність системи та приводити до утворення замерзаючих зон в паровому циклі.

Підтримка трохи вищого тиску у випарнику робить більш відзначеними будь-які нещільності або місця витoku пари холодоагента. Це може полегшити виявлення потенційних проблем та обслуговування системи.

Згідно з вказаною умовою, уникнення всмоктування атмосферного повітря та виявлення потенційних проблем дійсно стають більш простими. Однак слід враховувати, що це може вимагати додаткового обладнання, такого як клапани, регулювальні пристрої та системи контролю.

Важливим є, щоб холодоагент був хімічно інертним стосовно конструкційних матеріалів, які використовуються у холодильних системах, а також мастильних матеріалів, які можуть знаходитися в системі. Це має кілька важливих переваг. Холодоагент не повинен спричиняти корозії, розкладу або іншого роду хімічних реакцій з матеріалами конструкцій, такими як метали або пластмаси. Це зберігає інтегритет та тривалість служби обладнання.

Деякі компоненти холодильних систем можуть містити мастильні матеріали. Хімічна інертність холодоагента важлива для того, щоб зберегти функціональність цих матеріалів та уникнути їх розкладу або деградації.

Використання хімічно інертного холодоагента допомагає зменшити витрати та витрати матеріалів, оскільки не виникає необхідності в постійному ремонті або заміні деталей через хімічний вплив холодоагента. Хімічна інертність також може впливати на безпеку експлуатації, оскільки це може допомагати уникнути ризику виникнення небезпечливих хімічних реакцій чи витоків.

Безпека пожежо- і вибухозахисних властивостей холодоагента є критичною для ефективної та безпечної експлуатації холодильних систем. Холодоагент повинен бути непідтримуючим горіння, щоб уникнути можливості виникнення пожежі в системі. Це особливо важливо в експлуатаційних умовах, де може бути присутній певний рівень тепла або вогнебезпеки.

Холодоагент повинен бути безпечним для обслуговуючого персоналу в разі витоків чи викиду. Токсичні холодоагенти можуть створювати небезпечні ситуації для здоров'я людей.

Доступність та економічність холодоагента відіграють важливу роль при виборі для конкретної холодильної системи. Вартість самого холодоагента має велике значення для економічної ефективності системи. Хоча ефективність та інші характеристики теж важливі, важливо забезпечити, щоб обрана система була в межах бюджету. Іншим важливим аспектом є доступність холодоагента на ринку. Індустріальні та комерційні системи мають враховувати легкість отримання необхідних кількостей холодоагента в потрібний момент.

Економічність холодоагента також може бути пов'язана із його впливом на енерговитрати системи. Наприклад, холодоагенти з високою ефективністю можуть знижувати витрати енергії і вартість експлуатації

системи. Деякі холодоагенти можуть вимагати специфічного обладнання або обслуговування, що може впливати на загальні витрати на систему. Важливо оцінити загальну вартість обслуговування та утримання системи.

Враховуючи витрати холодоагента, важливо також порівняти його з продуктивністю та іншими параметрами системи. Співвідношення витрат та продуктивності є ключовим фактором для ефективної експлуатації.

1.3 Фізична модель теплообмінних процесів [3–5]

Принцип дії багатьох теплових систем і холодильних установок базується на процесі теплопередачі, або теплообміну. Теплопередача відбувається за рахунок різниці температур між системами або тілами і може відбуватися різними способами.

Основні способи теплопередачі:

- кондукція – цей процес передбачає передачу тепла через тіла без їхнього переміщення (чим краще провідник, тим швидше відбувається теплопередача);
- конвекція полягає в переміщенні теплоносія (рідини або газу), що переносить тепло від одного місця до іншого; це може бути природною конвекцією (завдяки різниці густини теплоносія) або примусовою конвекцією (за допомогою насосу або вентилятора);
- випромінювання передбачає передачу тепла за допомогою електромагнітного випромінювання; це може відбуватися без присутності середовища та не вимагає контакту між тілами.

Процес теплопередачі є важливим у теплотехніці, холодильній техніці, кондиціонуванні повітря та інших галузях. Наприклад, в холодильних установках теплопередача відбувається при циркуляції холодоагента в парокомпресійному циклі, де тепло забирається випаровуванням холодоагента в евапораторі та віддається при конденсації у конденсаторі.

У нашому випадку процес теплопередачі через стінки пучка трубопроводів малого діаметра включає три основні етапи, що відбуваються при обміні теплом між двома теплоносіями.

Перший етап – тепловіддача від ядра потоку першого теплоносія до стінки. На цьому етапі тепловіддача відбувається між гарячим теплоносієм (першим) та стінкою трубопроводів. Тепловіддача може відбуватися через провідність та конвекцію, в залежності від умов середовища та характеристик теплоносія.

Другий етап – теплопровідність через стінку. На цьому етапі тепловіддачі з першого теплоносія переходять через стінку трубопроводу. Процес теплопровідності характеризується передачею тепла через структурні елементи стінки, такі як молекули чи атоми, в результаті чого тепло переходить від гарячого теплоносія до холодного.

Третій етап – тепловіддача від стінки до ядра потоку другого теплоносія. На цьому етапі тепловіддача відбувається між стінкою трубопроводів та холодним теплоносієм (другим). Тепло, яке було передано через стінку, тепер передається другому теплоносію.

Цей тривалий процес теплопередачі важливий для багатьох систем, таких як теплообмінники, тепловідбиральні системи та інші пристрої, де необхідно ефективно використовувати тепло для певних технологічних або комфортних цілей.

При цьому кількість переданої теплоти визначається основним рівнянням теплопередачі як для стаціонарного режиму:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{CP}; \quad (1.1)$$

так і для нестационарного режиму:

$$Q' = K \cdot F \cdot \Delta t_{CP} \cdot \tau, \quad (1.2)$$

де Q, Q' – теплові потоки (кількість теплоти), передані в процесі теплопередачі, Вт (Дж); F – поверхня теплообміну, m^2 ; Δt_{cp} – рушійна сила процесу теплопередачі, $^{\circ}C$; τ – час, с; K – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(m^2 K)$.

Зазначимо, що нестационарний (несталий) тепловий режим – це тепловий режим, в якому температурне поле змінюється в часі. Такі зміни можуть виникати внаслідок різних факторів, таких як зміна умов навколишнього середовища, теплові джерела чи інші зовнішні впливи.

У свою чергу, стаціонарний (усталений) тепловий режим, на відміну від нестационарного режиму, характеризується тим, що температурне поле залишається незмінним в часі. Тобто, у стаціонарних умовах тепловий потік і температурне поле залишаються постійними.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми

Холодильна установка є системою, призначеною для вилучення тепла з одного середовища (охолюваного об'єкта) і його відведення в інше середовище (навколишнє середовище), забезпечуючи тим самим зниження температури в охолоджуваному просторі. Основний принцип роботи холодильної установки базується на циклі випаровування та конденсації робочого речовини (холодильного агента). Це може бути парокompресійний цикл, абсорбційний цикл чи інші види циклів, залежно від конкретного типу холодильної установки.

Основні компоненти холодильної установки включають компресор (для стискання газоподібного холодильного агента), конденсатор (для відведення тепла від стисненого газу), експанзійний клапан або дросельний вентиль (для розширення газу перед входом у паровий теплообмінник або евапоратор), і паровий теплообмінник або евапоратор (для вилучення тепла з охолоджуваного простору).

Холодильні установки широко використовуються у багатьох сферах, таких як побутові охолоджувальні пристрої, промислові системи охолодження, медичне обладнання та інші галузі, де необхідно забезпечити низькі температури для зберігання, виробництва або інших цілей.

Централізована система холодопостачання – це ефективний спосіб забезпечення охолодження для різноманітних технічних процесів та приміщень. Основні переваги цієї системи включають високу надійність, спрощену технологічну схему, зручність у встановленні та обслуговуванні обладнання, а також безпеку експлуатації. Давайте розглянемо деякі ключові аспекти централізованої системи холодопостачання:

1. В централізованій системі використовується єдиний комплекс машин і апаратів для генерації холоду та його розподілу.
2. Система може включати окремі агреговані холодильні машини або комбінації різних холодильних обладнань, таких як блоки конденсаторів і ресивери.
3. Часто використовується система охолодження технологічних об'єктів за допомогою проміжного теплоносія, що сприяє спрощенню технологічної схеми.
4. Ізольованість контуру холодильної машини дозволяє використовувати аміак – ефективне і економічне робоче тіло.
5. Для відведення тепла зазвичай використовується система оборотного водоохолодження.
6. Використання аміаку та оптимізованих технологічних рішень може сприяти економії енергії та зниженню витрат.

Використання локальної системи отримання холоду з безпосереднім охолодженням об'єктів робочим тілом холодильної машини може бути ефективним за умов невеликих теплових навантажень. Цей підхід може бути особливо корисним у випадках, коли основна система охолодження не ефективна або непрактична з енергетичної або економічної точки зору.

Основні переваги використання локальної системи отримання холоду включають:

1. Локальні системи можуть бути оптимізовані для конкретних завдань і використовувати менше енергії, ніж глобальні системи охолодження.
2. При безпосередньому охолодженні об'єктів робочим тілом можна уникнути додаткових перетворень енергії, що часто збільшує загальну ефективність системи.
3. Локальні системи можуть бути меншими та менш складними, що може призвести до економії витрат на обладнання та утримання.

4. Цей підхід може бути більш гнучким, оскільки може бути адаптований до конкретних потреб та умов виробництва.

Проте, важливо враховувати обмеження та вимоги конкретного виробництва чи процесу. Якщо теплове навантаження зростає, або якщо потрібна більша система охолодження, то можливо буде ефективніше використовувати більш традиційні методи охолодження.

У будь-якому випадку, ретельне проектування та аналіз вартості та користі може допомогти визначити, чи є локальна система отримання холоду оптимальним варіантом для конкретного виробництва.

На рис. 2.1 наведено технологічну схему аміачної парокompресійної установки.

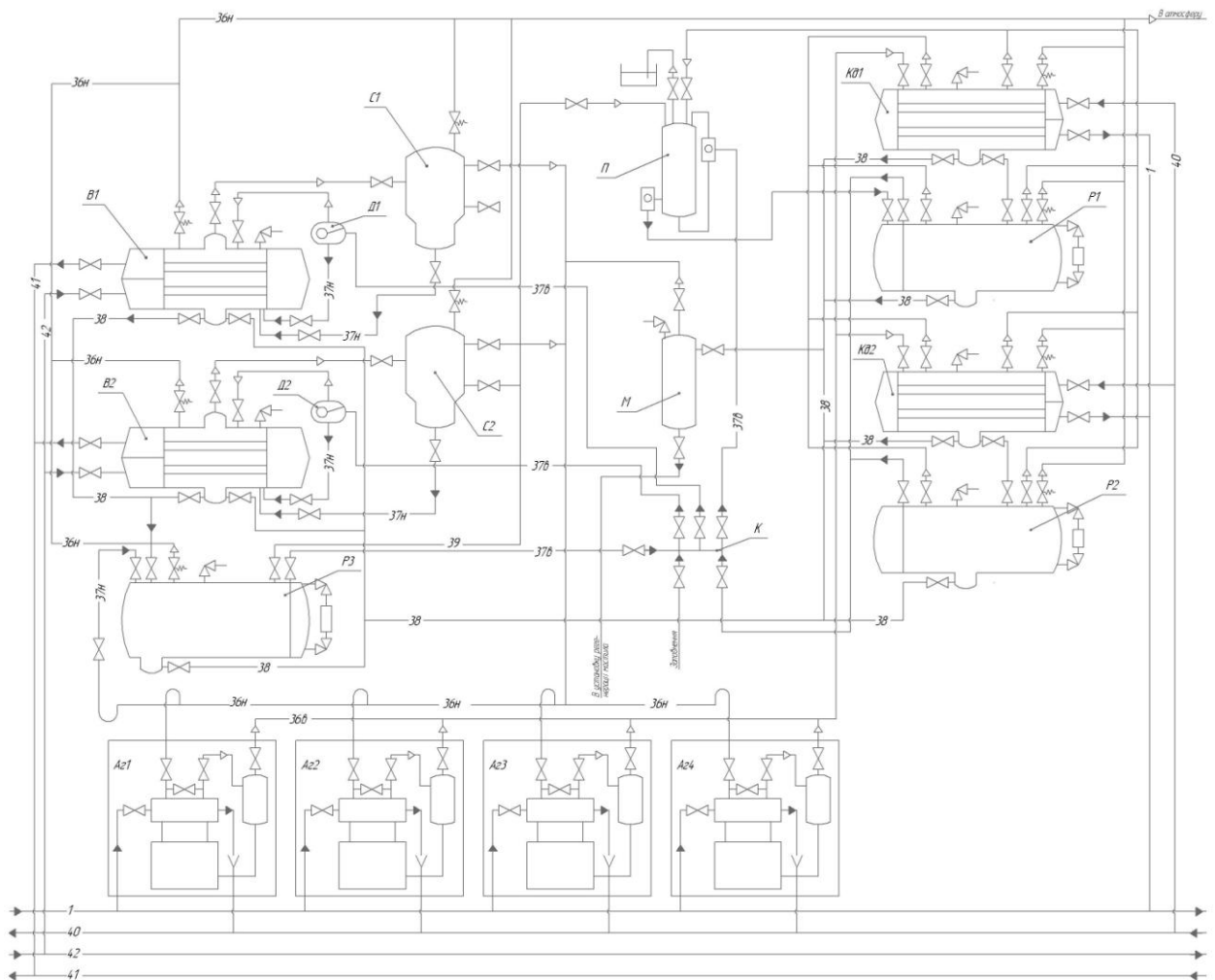


Рисунок 2.1 – Технологічна схема аміачної парокompресійної установки

Аміак, що перебуває в стані пари в випарниках (В1 та В2), відсмоктується компресорами Аг1–Аг4. Під час цього процесу тиск та температура аміаку збільшуються. Компресори Аг1–Аг4 відповідають за стиснення парів аміаку, щоб збільшити його тиск і температуру. Стиснений аміак потім спрямовується до конденсаторів. Аміак, який перебуває в стані газу, конденсується в рідку фазу в конденсаторах Кд1 та Кд2, віддаючи при цьому тепло навколишньому повітрю чи іншому теплоносію. Цей процес забирає тепло від аміаку і дозволяє йому перетворитися в рідку фазу.

Рідкий аміак із конденсаторів проходить через дросельні пристрої Д1 і Д2, де тиск і температура рідкого аміаку різко знижуються. Цей процес дозволяє аміакові входити в випарники з наступним випаровуванням. Рідкий аміак в випарниках В1 та В2 знову перетворюється в пар під впливом тепла, яке він вбирає від охолоджуваного об'єкта або середовища. Цей процес відбувається при низькому тиску, що дозволяє аміакові випаровуватися при низьких температурах.

Цей цикл повторюється, забезпечуючи процес охолодження. Аміачні холодильні установки є ефективними і використовують аміак як робочу речовину, оскільки вони можуть працювати при різних температурних режимах та мають хороші теплові характеристики. Однак важливо враховувати високу токсичність аміаку, і вони повинні експлуатуватися з відповідними заходами безпеки.

Використання сепараційних пристроїв (відокремлювачів рідини) С1 і С2 в системі аміачної холодильної установки є важливим елементом для запобігання потрапляння крапель рідкого аміаку в циліндри компресорів. Це особливо важливо для забезпечення безпечного та надійного функціонування установки. Основною метою відокремлювачів рідини є відділення рідкого аміаку від потоку пари, що виходить з випарника.

Сепараційні пристрої використовують фізичні методи для відокремлення крапель рідкого аміаку від парового потоку. Це може

включати в себе використання різних елементів, таких як вихрові пластини, центробежні силові поля тощо, щоб відокремити рідину від газу. Сепараційні пристрої можуть бути розроблені таким чином, щоб ефективно працювати при різних умовах експлуатації, забезпечуючи стабільність системи. Застосування сепараційних пристроїв у холодильних установках є стандартною практикою для забезпечення безпеки та надійності роботи. Ці пристрої важливі для уникнення небезпечних ситуацій та забезпечення ефективності системи охолодження.

Також важливою проблемою в системі холодильної установки є масловміст у паровому потоці, який може потрапити на поверхні теплообмінників і негативно впливати на їхню ефективність. Вирішення цієї проблеми зазвичай включає в себе використання масловіддільників та інших технічних рішень. Масловіддільник – це пристрій, який призначений для відділення масла від парового потоку. Зазвичай використовуються спеціальні конструкції, такі як роздільні колони або фільтри, для затримання масла. Масло, яке було відділене в масловіддільнику, може повертатися в картер компресора для подальшого використання.

Встановлення додаткових фільтрів у системі може допомогти утримувати масло від поверхонь теплообмінників. А встановлення систем контролю рівня масла може допомогти вчасно виявляти проблеми та запобігати їхньому подальшому розвитку.

Зворотний клапан (або розвантажувач) у системі холодильної установки також виконує важливу функцію, яка полягає в розвантаженні компресора від високого тиску. Такий клапан також може використовуватися для запобігання проникненню небезпечного аміаку в робочі приміщення у разі аварії.

Під час автоматичної зупинки системи холодильної установки, зворотний клапан розвантажує компресор від високого тиску, зменшуючи тиск у системі. Це дозволяє зменшити навантаження на компресор при

зупинці та запобігти його надмірному зносу. У разі аварійних ситуацій, таких як великий тиск у системі, зворотний клапан розвантажує компресор та випускає аміак в атмосферу, уникнувши проникнення небезпечної речовини в робоче приміщення. Це є важливим елементом для захисту персоналу та об'єктів в разі аварійної ситуації з аміаком.

Лінійні ресивери P1 і P2 розташовані нижче конденсаторів і слугують для збору конденсату, що утворюється в конденсаторах. Вони можуть використовуватися для стабілізації тиску та компенсації нерівномірності витрати рідини під час коливань теплового навантаження.

Автоматичний дросельний пристрій забезпечує оптимальне заповнення випарника рідиною. Це може бути досягнуто за допомогою автоматичного регулювання витрати рідини в системі для забезпечення ефективного процесу випаровування і охолодження.

Повітрявідокремлювач В використовується для видалення повітря з системи. При наявності повітря в системі може зменшитися ефективність теплообміну і підвищитися ризик корозії. Повітрявідокремлювач дозволяє забезпечити безпечну та ефективну роботу системи охолодження.

Усі ці елементи спільно взаємодіють для забезпечення ефективності та безпеки роботи аміачної холодильної установки. Важливо враховувати, що такі системи повинні експлуатуватися відповідно до нормативних вимог та стандартів, і регулярна технічна підтримка є ключовою для їх безперебійної роботи.

2.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів [2–5, 7]

Теплообмінники є пристроями, які використовуються для ефективного передачі тепла від одного середовища до іншого без змішування їх між собою. Вони широко застосовуються у різних галузях, включаючи

промисловість, енергетику, хімічну та петрохімічну промисловість, а також в системах опалення та кондиціонування повітря.

Основні функції теплообмінників включають відведення тепла з одного середовища і передачу його до іншого. Це може бути використано для охолодження або обігріву рідини чи газу, залежно від конкретних потреб системи. Також теплообмінники можуть бути використані для зменшення втрат енергії та підвищення ефективності процесів, де важлива передача тепла.

Теплообмінники поділяють на різні типи в залежності від способу передачі тепла. Два основних типи теплообмінників – це поверхневі (конвективні) теплообмінники і змішувальні (контактні) теплообмінники.

В поверхневих теплообмінниках тепло передається через тверду стінку, яка розділяє теплоносії. Теплоносії не контактують безпосередньо між собою, і обмін теплом відбувається через поверхню стінки. Прикладами можуть бути трубчасті теплообмінники, пластинчасті теплообмінники тощо.

У змішувальних теплообмінниках теплоносії контактують безпосередньо між собою. Тепло передається в результаті перемішування теплоносіїв, які можуть бути рідкими або газоподібними. Обмін теплом відбувається без стінок, що дозволяє ефективніше передавати тепло. Прикладами можуть бути реактори, апарати для змішування рідин, аератори тощо.

Вибір між цими типами теплообмінників залежить від конкретних вимог процесу, в якому вони використовуються, і від характеристик теплоносіїв та середовища.

Рекуперативні теплообмінники використовуються для передачі тепла між гарячим і холодним теплоносіями, які рухаються в різних каналах, і теплопередача відбувається через стінку, яка їх розділяє. Важливою характеристикою рекуперативних теплообмінників є стаціонарний характер процесу теплопередачі при незмінних параметрах теплоносіїв на вході та в

будь-якому перетині каналу. Ці теплообмінники можуть працювати як у періодичному, так і у безперервному режимах, що робить їх ефективними для різних застосувань. Вони часто використовуються для оптимізації енергоефективності в різних промислових процесах, системах кондиціонування повітря, а також в системах вентиляції. Цей тип теплообмінників дозволяє використовувати тепло, яке вже було передано, забезпечуючи більшу ефективність енерговикористання.

Залежно від напрямку руху теплоносіїв рекуперативні теплообмінники можуть бути:

1. Прямотечійні (паралельні) теплообмінники, коли теплоносії рухаються в одному напрямку, паралельно одне одному. Це означає, що гарячий теплоносій і холодний теплоносій протікають в одному напрямку через свої відповідні канали.
2. Протитечійні (зустрічні) теплообмінники, коли теплоносії рухаються в одноманітному напрямку, але протікають один біля одного у протилежних напрямках. Гарячий теплоносій і холодний теплоносій протікають вздовж паралельних шляхів, але в протилежних напрямках.
3. Перехресні (кросс-флоу) теплообмінники, коли теплоносії рухаються взаємно перпендикулярно один до одного. Гарячий теплоносій і холодний теплоносій протікають у напрямку, що перпендикулярний один одному, і тепло передається через стінку між ними.

Промисловістю широко використовуються різні типи рекуперативних теплообмінників. **Кожухотрубні теплообмінники** складаються з трубчастих елементів, розташованих у кожуху. Теплоносії рухаються в трубах і кожуху, забезпечуючи ефективний обмін теплом. **Елементні (секційні) теплообмінники** складаються з окремих секцій, які можна збирати разом або розбирати за потреби. Зручні для обслуговування та модифікації. **Двотрубні**

теплообмінники типу «труба у трубі», коли один потік теплоносія проходить через внутрішні труби, а інший – навколо зовнішніх труб. Застосовуються в різних галузях, зокрема, в хімічній та нафтогазовій промисловості. **Кручені теплообмінники** мають специфічну конструкцію з крученими елементами, що забезпечує високий ефективний обмін теплом. **Заглибні теплообмінники** застосовуються для збільшення площі теплообміну, зазвичай мають специфічну конструкцію з ребрами чи виточками. **Зрошувальні теплообмінники** використовуються для передачі тепла від пари або гарячого газу до рідини через конденсацію пари. **Ребристі теплообмінники** мають додаткові ребра для збільшення площі теплообміну і підвищення ефективності. **Спіральні теплообмінники** мають спіральну форму теплообмінної поверхні, що дозволяє ефективно передавати тепло. **Пластинчасті теплообмінники** складаються з пластин, які утворюють між собою канали для теплоносіїв. **Пластинчато-ребристі теплообмінники** комбінують переваги обох типів, маючи пластини та ребра. **Графітові теплообмінники** використовують графіт як матеріал для теплообміну, що робить їх стійкими до агресивних середовищ.

Регенератори використовуються для ефективної передачі тепла між гарячим і холодним теплоносіями через взаємодію з твердою стінкою. Основна ідея полягає в тому, що теплоносії контактують зі стінкою по черзі, накопичуючи тепло при контакті з гарячим середовищем і віддаючи його при контакті з холодним.

Процес в регенеративних теплообмінниках можна розглядати як циклічний: тепло накопичується в стінці під час одного етапу циклу і потім віддається під час іншого етапу. Це дозволяє використовувати тепло, яке вже було передано, забезпечуючи ефективність енерговикористання.

Регенеративні теплообмінники часто використовуються в різних промислових процесах, де важлива ефективна передача тепла. Однак їх

ефективність може залежати від ряду факторів, таких як матеріал стінки, температурні режими, швидкість потоку теплоносіїв і т. д.

Загалом теплообмінники відіграють критичну роль у забезпеченні ефективності процесів в різних виробничих галузях:

Хімічна промисловість:

- використовуються для нагріву або охолодження реакційних середовищ;
- застосовуються у виробництві хімічних речовин, де потрібно контролювати температуру процесу.

Нафтохімія та нафтогазопереробка:

- використовуються для охолодження газів, конденсації парів, нагріву сировини та інших теплових процесів;
- значно важливі для забезпечення оптимальної температури в установках різної природи.

Теплова та атомна енергетика:

- використовуються для передачі тепла в різних елементах теплових і ядерних реакторів.
- забезпечують охолодження і нагрівання рідини, в якій генеруються пари або водографітні реакції.

Металургія:

- використовуються для охолодження вальців, нагріву плавки та обробки металів.
- грають ключову роль у виробництві, де потрібно управляти температурою для досягнення визначених властивостей металевих сплавів.

Харчова промисловість:

- застосовуються для охолодження чи нагрівання продуктів під час їх обробки.
- важливі для забезпечення безпеки та якості продукції.

Теплообмінники в сучасній промисловості є невід'ємною частиною технологічних процесів, допомагаючи забезпечувати енергоефективність, економію ресурсів та високий рівень виробничої продуктивності. Конструкція теплообмінників важлива з точки зору ефективності їх експлуатації, обслуговування та загальної продуктивності. Проста конструкція полегшує виготовлення, монтаж і ремонт теплообмінників. Легкість монтажу і можливість швидкого ремонту підвищують зручність експлуатації. Конструкція повинна уникати акумулювання забруднень на поверхні теплообміну, що може знизити ефективність передачі тепла. Забезпечення доступу до внутрішніх частин теплообмінника для огляду та очищення сприяє збереженню його ефективності протягом тривалого періоду. Конструкція повинна мінімізувати витрати на обслуговування та ремонт, щоб забезпечити ефективну експлуатацію. У деяких галузях, наприклад, в хімічній промисловості, конструкція повинна бути стійкою до впливу агресивних речовин.

Оптимізація форми теплообмінника для забезпечення великої теплообмінної площі може покращити його ефективність. Вибір матеріалу повинен враховувати температурні умови, хімічну стійкість і тривалу експлуатацію. Забезпечення оптимальних характеристик конструкції теплообмінників допомагає підтримувати ефективність їх роботи і знижувати витрати на обслуговування та ремонт.

Розрахунок кожухотрубного теплообмінника – це складний і важливий процес, який включає в себе кілька кроків. Основні етапи розрахунку включають визначення потрібної поверхні теплопередачі, вибір типу теплообмінника та конструкції. Розрахунок базується на тепловому балансі та враховує параметри теплоносіїв, температури на вході та виході, теплові потоки, теплообмінні коефіцієнти і т. д. Використовуються різні математичні моделі і емпіричні дані для визначення величин теплових параметрів.

Кожухотрубні теплообмінники мають специфічні переваги, і їх обирають залежно від конкретних умов. Враховуються характеристики теплоносіїв, тиск, температура і інші технічні параметри. Враховується мета теплообміну (нагрів, охолодження, конденсація, випаровування і т. д.). Обирається оптимальний конструктивний варіант для задоволення технологічних вимог. Проводиться розрахунок термодинамічних і гідравлічних характеристик теплообмінника. Враховуються втрати тиску, оптимальна швидкість теплоносіїв і інші фактори.

Далі визначаються міцність і стійкість теплообмінника під впливом внутрішніх і зовнішніх навантажень. Ведеться пошук оптимальних розмірів теплообмінника для забезпечення ефективності та економії матеріалів. Після чого виконується оцінка термоекономіки теплообмінника, що включає в себе економічний аспект, як наприклад, вартість матеріалів, витрати енергії і т. д.

Необхідну поверхню теплопередачі визначають з основного рівняння теплопередачі:

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

де F – поверхня теплопередачі, м²;

Δt_{cp} – середня температура процесу;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

Q – теплове навантаження, Вт.

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

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

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м²·К);

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

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

Середня різниця температур при прямотоці або протитоці теплоносіїв дорівнює:

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

де Δt_B і Δt_M – різниці температур (великої й малої) теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

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

– якщо агрегатний стан теплоносіїв не змінюється

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

– при конденсації насичених парів без охолодження конденсату

$$Q = G \cdot r;$$

– при конденсації насичених парів з охолодженням конденсату

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

де I_1 – ентальпія перегрітої пари.

2.3 Опис конструкції проектного апарата

Кожухотрубний теплообмінник (рис. 2.2) має складну конструкцію, яка включає в себе кілька основних елементів. Кожух (корпус) – це зовнішній оболонковий елемент, який має форму циліндра і призначений для утримання теплоносія, який оточує теплообмінник. Розподільна камера використовується для розподілу теплоносія по поверхні теплообміну. Спрямовуюча камера служить для направлення теплоносія через теплообмінні труби.

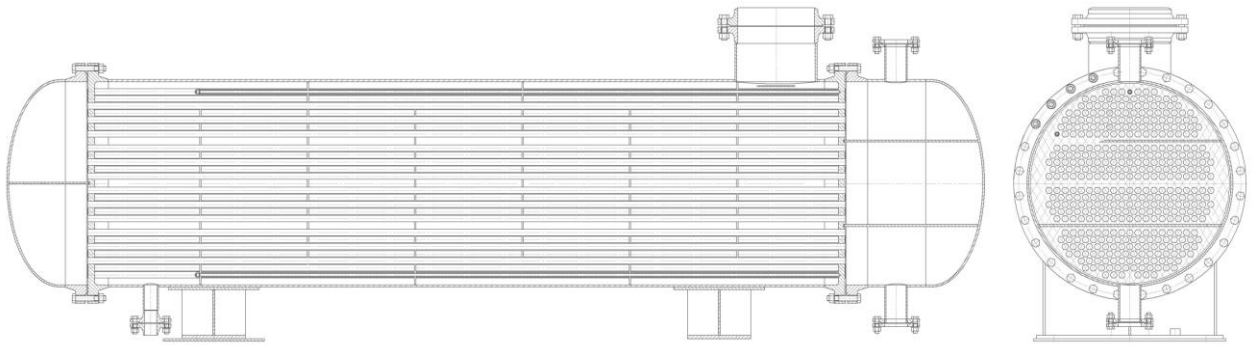


Рисунок 2.2 – Схема проектного кожухотрубного конденсатора аміаку

Система трубок, розташованих всередині кожуха, представляє собою основний обмін теплом між гарячим і холодним теплоносіями. Трубки можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як метал або пластик. Трубні решітки встановлені в розподільній камері та призначені для розподілу теплоносія по теплообмінним трубам. Перегородки розділяють камери теплоносія і можуть використовуватися для підвищення турбулентності течії теплоносія в системі трубок. Ущільнення забезпечують герметичність між гарячим і холодним теплоносіями, запобігаючи їх змішуванню.

До корпусу кожухотрубного теплообмінника припаюються два патрубків. Один із патрубків призначений для підведення робочого середовища, наприклад, гарячого теплоносія, до теплообмінника. Інший

патрубок відповідає за відведення вже прогрітого або охолодженого теплоносія. На торці кожуха теплообмінника приварюються спеціальні фланці. Фланці використовуються для забезпечення герметичності та зручності приєднання теплообмінника до інших елементів системи. Зазвичай, фланці обладнані отворами для болтів або інших кріпильних елементів, які використовуються для фіксації фланців між собою та із системою.

Принцип роботи апарата полягає у наступному. Пари аміаку подаються в кожухотрубний конденсатор через верхній штуцер. Теплообмін відбувається через стінки теплообмінника. Тепло, яке міститься у парах аміаку, передається через теплообмінні поверхні трубок до теплоносія, яким є технічна вода. Під впливом охолодження пари аміаку конденсуються, переходячи в рідку фазу. Утворений конденсат, який складається з рідкого аміаку, виводиться з апарата через нижній штуцер. Технічна вода подається у трубний простір апарата, де відбувається її нагрівання внаслідок теплообміну з парами аміаку. Відведена технічна вода може використовуватися для інших технологічних потреб.

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Рух теплоносіїв у теплообміннику і параметри цього руху мають важливе значення для ефективності теплообмінного процесу. Середня рушійна сила процесу залежить від початкових і кінцевих температур кожного теплоносія та визначає ефективність передачі тепла між теплоносіями.

Розрахункова площа теплообміну визначається з основного рівняння теплопередачі (рівняння теплового балансу) та враховує теплообмінний коефіцієнт, температурний напір та інші параметри.

Критерії подібності, такі як Рейнольдса, Прандтля і Нуссельта, важливі для визначення режиму течії та оцінки характеристик теплообміну у трубах та міжтрубному просторі. Критерій Рейнольдса визначається як відношення інерційних сил до в'язкості теплоносія. Критерій Прандтля визначає відношення коефіцієнта динамічної в'язкості до коефіцієнта теплопровідності. Критерій Нуссельта визначає ступінь конвективного теплообміну та залежить від критерію Рейнольдса, критерію Прандтля та геометрії теплообмінника.

Ці критерії допомагають визначити, чи течія буде ламінарною чи турбулентною, оцінити ефективність теплообміну та передбачити характеристики теплообмінного процесу. Зазвичай для різних режимів течії і геометрій існують емпіричні кореляції, які використовують ці критерії для розрахунків теплообмінних параметрів у конкретних умовах.

Аміак надходить в апарат при температурі конденсації, яка визначається за діаграмою фазових переходів. Остання показує відносні температури та тиски, при яких аміак може перебувати у різних фазах (газовій, рідкій, або твердій). Таким чином, температура конденсації аміаку при тиску 0,4 МПа становить 30°C.

Теплове навантаження конденсатора визначатиметься як:

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

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

r_x – питома теплота конденсації аміаку, кДж/кг.

$$Q = \left(\frac{1080}{3600} \right) \cdot 1350 = 405 \text{ кВт}.$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{cep} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{2,31g \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}} \right)}, \quad (2.2)$$

де Δt_{δ} і $\Delta t_{\mathcal{M}}$ – більша і менша різниці температур, $^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta t_{\mathcal{M}} = 30 - 25 = 5 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \quad \Delta t_{\delta} = 30 - 5 = 25 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Зменшення температурного напору між гарячим і холодним теплоносіями може призвести до менших гідравлічних втрат у системі та сприяти більш ефективному теплообміну, особливо у випадку ламінарного течії або при великих температурних різницях. Тому приймаємо кінцеву температуру холодного теплоносія нижчою за температуру гарячого теплоносія на 5°C .

$$\Delta t_{cep} = \frac{25 - 5}{2,31g \left(\frac{25}{5} \right)} = 12,4 \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

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

$$G_{\text{B}} = \frac{Q}{c_{\text{B}} \cdot (t_{\text{KB}} - t_{\text{HB}})}, \quad (2.3)$$

де c_{B} – теплоємність води при усередненій температурі, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

$$G_{\text{B}} = \frac{405}{4,2 \cdot (25 - 5)} = 4,8 \text{ кг/с}.$$

Орієнтовно необхідна поверхня теплообміну:

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

де K_{op} – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі для конденсаторів (приймається в діапазоні 300÷800 Вт/(м²·К)).

$$F_B = \frac{405 \cdot 10^3}{400 \cdot 12,4} = 82 \text{ м}^2.$$

Попередньо вибираємо кожухотрубний теплообмінник з такими характеристиками: діаметр кожуха 800 мм; теплообмінні труби Ø25×2,5 мм, довжиною 3,0 м; число ходів по трубах – 4; загальна кількість труб – 404 шт.; поверхня теплообміну – 95 м²; площа перерізу одного ходу по трубах – 0,011 м².

Швидкість води технічної у трубах теплообмінника:

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

де ρ_B – густина води при усередненій температурі, кг/м³.

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{тр}} = \frac{4,8}{995 \cdot 0,011} = 0,45 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса для теплоносія у трубах:

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

де d і s – діаметр і товщина стінки теплообмінних труб відповідно, м;
 $\mu_{\text{в}}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості води при усередненій температурі, Па·с.

$$\text{Re}_{\text{в}} = \frac{0,45 \cdot (25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3} \cdot 995}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 14925$$

Критерій Прандтля для теплоносія у трубах:

$$\text{Pr}_{\text{в}} = \frac{c_{\text{в}} \cdot \mu_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}}, \quad (2.7)$$

де $\lambda_{\text{в}}$ – коефіцієнт теплопровідності води при усередненій температурі, Вт/(м·К).

$$\text{Pr}_{\text{в}} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{0,65} = 3,88$$

Якщо число Рейнольдса перевищує значення 10000, то рух теплоносія в трубах стає турбулентним, що може мати важливі впливи на теплообмін і гідравліку в системі. У турбулентних потоках спостерігається кращий теплообмін і менші гідравлічні втрати, але це також може призводити до вищих опорів при перекачуванні теплоносія. Тепловіддача при цьому режимі в прямих трубах і каналах описується критеріальним рівнянням:

$$\text{Nu}_{\text{в}} = 0,021 \cdot \varepsilon_1 \text{Re}_{\text{в}}^{0,8} \text{Pr}_{\text{в}}^{0,43} \left(\frac{\mu_2}{\mu_{\text{см2}}} \right)^{0,25} \quad (2.8)$$

де Nu_B – критерій Нуссельта, що характеризує інтенсивність переходу теплоти на кордоні стінка-потік холодного теплоносія;
 ε_1 – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на коефіцієнт тепловіддачі відношення довжини труби до його діаметру;
 $(\mu_2/\mu_{ст2})^{0,25}$ – множник, що враховує напрямок теплового потоку.

$$Nu_B = 0,021 \cdot 1 \cdot 14925^{0,8} \cdot 3,88^{0,43} \cdot 1 = 82$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки потоку холодного теплоносія:

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

$$\alpha_2 = \frac{82 \cdot 0,65}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} = 2670 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі від потоку аміаку, що конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника:

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

де ε – коефіцієнт, що залежить від розташування труб в пучку та розрахункового числа труб у кожному вертикальному ряді;
 ε_t – поправочний коефіцієнт, що враховує залежність фізичних властивостей конденсату від температури;
 λ_x – коефіцієнт теплопровідності конденсату, Вт/(м·К);
 ρ_x – густина конденсату, кг/м³;

r_x' – сума теплоти конденсації і перегріву аміаку, Дж/кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

μ_x – динамічний коефіцієнт в'язкості конденсату, Па·с;

Δt – різниця температур конденсату і поверхні стінки, К.

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,16^3 \cdot 595^2 \cdot 1350 \cdot 9,81}{89 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 501 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі від потоку гарячого теплоносія (аміаку), який конденсується, через розділяючу стінку потоку холодного теплоносія (воді технічній):

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

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{501} + \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{46,5} + \frac{1}{2670}} = 412 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Необхідна (фактична) поверхня теплообміну становить:

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

$$F_\phi = \frac{405 \cdot 10^3}{412 \cdot 12,4} = 80 \text{ м}^2.$$

Остаточно приймаємо кожухотрубний конденсатор з такими характеристиками: діаметр кожуха 800 мм; теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною 3,0 м; число ходів по трубах – 4; загальна кількість труб – 404 шт.; поверхня теплообміну – 95 м²; площа перерізу одного ходу по трубах – 0,011 м².

У такому разі коефіцієнт запасу поверхні теплообміну буде становити:

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

$$\chi = \left(1 - \frac{80}{95}\right) \cdot 100\% = 16\%$$

Отриманий запас поверхні знаходиться в межах допустимих значень.

Діаметр штуцерів d , м, теплообмінного апарату для підведення-відведення теплоносіїв:

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

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини (пари) відповідно, м³/с і кг/с;

ρ – густина потоку середовища, кг/м³;

w – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху для рідин 0,1–0,5 м/с при самопливі та 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах; для пари і газів 5–15 м/с.

Діаметр штуцера для входу парів аміаку:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 1080 / 3600}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 5}} = 0,274 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу конденсату аміаку:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 1080 / 3600}{3,14 \cdot 595 \cdot 0,5}} = 0,045 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для входу і виходу води технічної:

$$d_{ex} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,8}{3,14 \cdot 995 \cdot 1}} = 0,078 \text{ м.}$$

Приймаємо в проектуваному апараті наступні штуцера: для входу парів аміаку $D_y=300$ мм; для виходу конденсату аміаку $D_y=50$ мм; для входу та виходу води технічної $D_y=80$ мм.

2.5 Гідравлічні розрахунки

Повний гідравлічний опір теплообмінника:

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

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

ξ_m – коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в гідравлічно шорстких трубах:

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

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труби (для сталевих нових труб $\Delta=0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією $\Delta=0,1-0,2$ мм), мм.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,1}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{14925} \right)^{0,25} = 0,165$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в апараті:

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

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

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

$$\Delta P = \left(0,165 \frac{3,0}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + 12,5 \right) \cdot \frac{0,45^2 \cdot 995}{2} = 3753 \text{ Па} \approx 3,75 \text{ кПа.}$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Відповідно до технологічної схеми (рис. 2.1) використовуються 2 конденсатора і 4 компресорних агрегати. Тобто, для розрахунку компресора необхідно підсумувати кількість парів аміаку, що дасть нам величину об'єму:

$$Q = 2 \cdot \frac{G_2}{\rho_2}, \quad (2.18)$$

де $\rho_2 = 10,8 \text{ кг/м}^3$ – густина парів аміаку при робочому тиску.

$$Q = 2 \cdot \frac{1080}{10,8} = 200 \text{ м}^3/\text{год.} = 3333 \text{ л/хв.}$$

Максимальне споживання повітря на вході (потужність компресора) вказує, яка кількість повітря втягується компресором на вході за певних умов (наприклад, при атмосферному тиску і температурі). Це може бути виражено у стандартних кубічних футах або метрах на хвилину.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора являє собою відношення реальної потужності, витраченої на компресію повітря, до електричної потужності, яка подається на компресор. ККД враховує термічні та механічні втрати в компресорі.

У деяких випадках виробники можуть вказувати величину потужності компресора на виході, а іноді – просто максимальну видачу. Для правильного визначення продуктивності компресора на виході важливо враховувати ККД, а також тиск та температуру на вході та виході компресора.

Продуктивність компресора:

$$A = Q \cdot \frac{\beta}{\eta}, \quad (2.19)$$

де β – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості і надійність різних груп компресорів;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора.

Вибираємо професійний компресор, для якого продуктивність складе:

$$A = \frac{3333}{4} \cdot \frac{1,5}{0,65} = 1923 \text{ л/хв.}$$

На сучасних холодильних установках використовують різні типи компресорів у залежності від конкретних вимог та умов експлуатації. Прямоточні поршневі компресори працюють, коли поршень рухається

прямолінійно у циліндрі, стискаючи газ. Цей тип компресора використовується в холодильних системах різних масштабів. Непрямоточні поршневі компресори використовують механізм, що забезпечує обертання поршня в циліндрі. Цей тип компресора також застосовується в різних типах холодильних систем.

Ротаційні компресори включають в себе рухомі частини, що обертаються для стискання газу. Типові ротаційні компресори включають винтові та вальцеві компресори. Вони можуть бути компактними і ефективними для холодильних систем середнього розміру.

Гвинтові компресори мають гвинтовий робочий елемент, який використовується для стискання газу. Вони можуть бути особливо ефективними для великих холодильних установок і використовуються в промислових і комерційних застосуваннях.

Вибір конкретного типу компресора залежить від обсягу охолоджуваного простору, температурних вимог, а також від ефективності і надійності в конкретних умовах експлуатації. Технології розвиваються, і нові рішення можуть надавати покращену продуктивність та ефективність у сфері холодильних технологій.

Поршневі компресори мають просту конструкцію, що робить їх надійними і легкими в обслуговуванні. Вони можуть бути менш вибагливими до якості робочого середовища, і їх можна застосовувати в різних умовах.

Обслуговування поршневих компресорів включає в себе такі прості операції, як заміна масла, вивід конденсату, а також проведення регулярних профілактичних заходів. Традиційні поршневі компресори широко доступні на ринку, що робить їх зручним вибором для різних застосувань.

Для невеликих і середніх систем холодильності, де невеликі обсяги повітря достатньо, поршневі компресори можуть бути ефективними. Тому вибираємо поршневий холодильний компресор марки ФУУ30.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [8, 9]

Вибір конструкційного матеріалу для елемента, вузла або апарата повинен бути обґрунтованим і базуватися на вимогах і умовах його експлуатації. По-перше, слід розглянути максимальну і мінімальну температури, з якими апарат буде зустрічатися в процесі експлуатації. І вибрати такий матеріал, який має відповідну термічну стійкість і не піддатний до деформацій або корозії при таких температурних умовах.

Далі розглянемо характер агресивного середовища, з яким апарат буде взаємодіяти. Аміак (NH_3) є корозійно активною речовиною, і вибір матеріалів, які можуть контактувати з аміаком, повинен бути обраний з урахуванням його властивостей та умов експлуатації. Нержавіюча сталь, зокрема види, які містять нікель і хром, може бути стійкою до аміаку за умов низького тиску та температури.

Сталь 12X18H10T відповідає сталі AISI 321 і має хорошу стійкість до корозії та добру термічну стійкість, що робить її популярним вибором для обладнання, яке використовується в агресивних середовищах.

Сталь 08X18H10 відповідає сталі AISI 304 і також має хорошу стійкість до корозії та відмінну зварюваність, що робить її популярним вибором для багатьох промислових застосувань.

Сталь 10X17H13M2T відповідає сталі AISI 316 і має високу стійкість до корозії та стійкість до впливу кислот і солей. Вона також є хорошим варіантом для виробництва обладнання, яке зазнає агресивного впливу.

Для виготовлення основних вузлів та деталей, які контактують з аміаком використовуємо сталь 12X18H10T. Дана нержавіюча сталь має високу стійкість до корозії, що дуже важливо для процесів, де взаємодія з агресивними середовищами, такими аміак, є надзвичайною. Вона має гарну теплопровідність, що сприяє ефективному теплообміну.

Для виготовлення пристроїв, які забезпечують зручність обслуговування і зовнішнього огляду апарата, вибираємо сталь ВСтЗпсЗ (звичайна якість листової та профільної сталі).

Переваги ВСтЗпсЗ:

1. Низька вартість. ВСтЗпсЗ відома своєю економічністю, що може бути важливим фактором, особливо, коли бюджет обмежений.
2. Гарна оброблюваність. Цей матеріал легко обробляється, що спрощує процес виготовлення пристроїв та виробів.
3. Зварюваність. Сталь також має добру зварюваність, що дає можливість виготовляти складні конструкції та з'єднання.

Застосування жаростійкої емалі ПФ8 для захисту зовнішніх поверхонь апарата від впливу навколишнього середовища є розумним рішенням, особливо, якщо апарат піддається тривалому впливу температури до 150°C. Емаль ПФ8 відома своєю високою жаростійкістю та атмосферостійкістю і може забезпечувати ефективний захист від корозії та механічних пошкоджень.

Основні переваги використання емалі ПФ8 включають:

1. Жаростійкість. Ця емаль може витримувати високі температури до 150°C без втрати якості або пошкоджень.
2. Стійкість до корозії. Вона надійно захищає металеві поверхні від впливу агресивних середовищ і забезпечує довгий термін служби.
3. Водостійкість. Емаль ПФ8 володіє високою стійкістю до вологи, що робить її придатною для зовнішніх застосувань.
4. Довговічність. Емаль здатна зберігати свою якість і кольорову стійкість протягом тривалого періоду часу.

У процесі створення неметалевих прокладок для ефективного ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апаратів використовується спеціальний матеріал – пароніт ПОН-1. Цей матеріал відзначається своєю унікальною будовою і властивостями, які роблять його ідеальним вибором

для створення надійних прокладок. Це структурований листовий матеріал, який отримується шляхом пресування суміші, яка складається із кількох ключових компонентів. Важливі складові цього матеріалу включають азбест, каучук та порошкові інгредієнти.

Пароніт ПОН-1 відомий своєю здатністю надійно ущільнювати фланцеві з'єднання, запобігаючи витoku рідини або газу через роз'єми. Цей матеріал може легко адаптуватися до форми і контуру фланців, що гарантує ефективне ущільнення і запобігає витoku. Він стійкий до стиснення та зберігає свою структуру під впливом тиску та змін температури.

Але слід враховувати, що пароніт містить азбест, який може бути потенційно шкідливим для здоров'я при вдиханні або контакті. Тому під час обробки та роботи з паронітом необхідно дотримуватися всіх заходів безпеки та рекомендацій для захисту здоров'я.

3.2 Розрахунки на міцність та стійкість [8, 9]

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруження для сталі 12X18H10T при $t = 30^\circ\text{C}$:

$$\sigma^* = 172,5 \text{ МПа}$$

Тиск, який створює аміак у міжтрубному просторі:

$$p_p = 0,4 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустиме напруження:

– на краю сполучених елементів

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

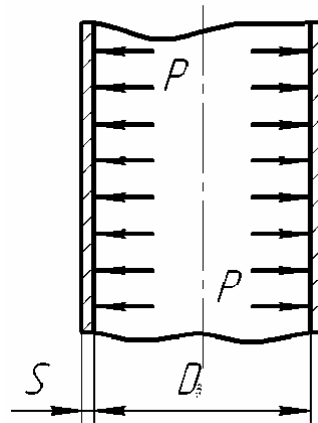


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

– при гідравлічних випробуваннях

$$[\sigma]_{\text{н}} = \frac{\sigma_{T20}}{1,1} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа} \quad (3.2)$$

Допустиме напруження для матеріалу 12Х18Н10Т при температурі $t=20^{\circ}\text{C}$:

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ МПа}$$

Пробний тиск при випробуваннях і при допустимому напруженні:

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

$$P_{\text{н}} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot 0,4 \cdot 170}{172,5} = 0,52 \right. \\ \left. \frac{0,4 + 0,3 = 0,7}{0,7} \right\} = 0,7 \text{ МПа.}$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщини за весь термін служби апарата (10 років) $c = 2,0$ мм.

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

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

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,4 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,4} = 1,08 \\ \frac{0,7 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,7} = 1,26 \end{array} \right\} = 1,26 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки кожуха:

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

$$S = 1,26 + 2 = 3,26 \text{ мм.}$$

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

Розрахункова товщина еліптичного днища:

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

$$S_p^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,42 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,5 \cdot 0,42} = 1,08 \\ \frac{0,72 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 0,72} = 1,26 \end{array} \right\} = 1,26 \text{ мм.}$$

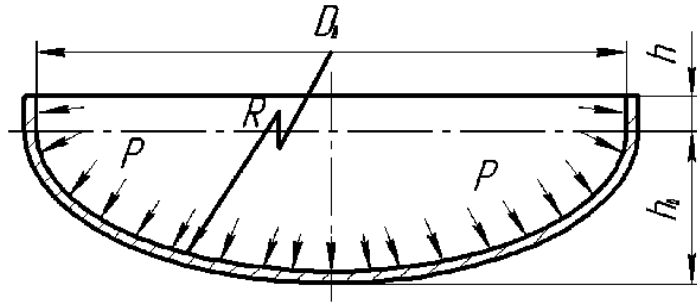


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Приймаємо також $S_E = 4,0$ мм.

Знаходимо масу обичайки кожуха:

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

де ρ – щільність сталі, $\rho = 7890$ кг/м³.

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7890 = 239 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно:

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

$$m_{\text{Едн}} = m_{\text{Екр}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 25 \text{ кг.}$$

Маса труб:

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

$$m_{\text{тр}} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,02^2) \cdot 3 \cdot 404 \cdot 7890 = 1689 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

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

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця, м;

h_{ϕ} – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,945^2}{4} \cdot 0,09 \cdot 7890 = 498 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

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

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

При коефіцієнті заповнення $\varphi=0,5$ маса аміаку в апараті складе:

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

$$m_x = 0,9 \cdot 738 \cdot 0,5 = 332 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Едн}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{мр}} + m_{\phi} + m_x), \quad (3.13)$$

$$G = 9,81 \cdot (239 + 25 + 25 + 1689 + 498 + 332) = 27546 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору буде становити:

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

$$Q = \frac{27546}{2} = 13773 \text{ (Н)}.$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 160-432-2, яка має допустиме навантаження 160 кН і радіус $R=432$ мм (схема сідлової опори див. рис. 3.3).

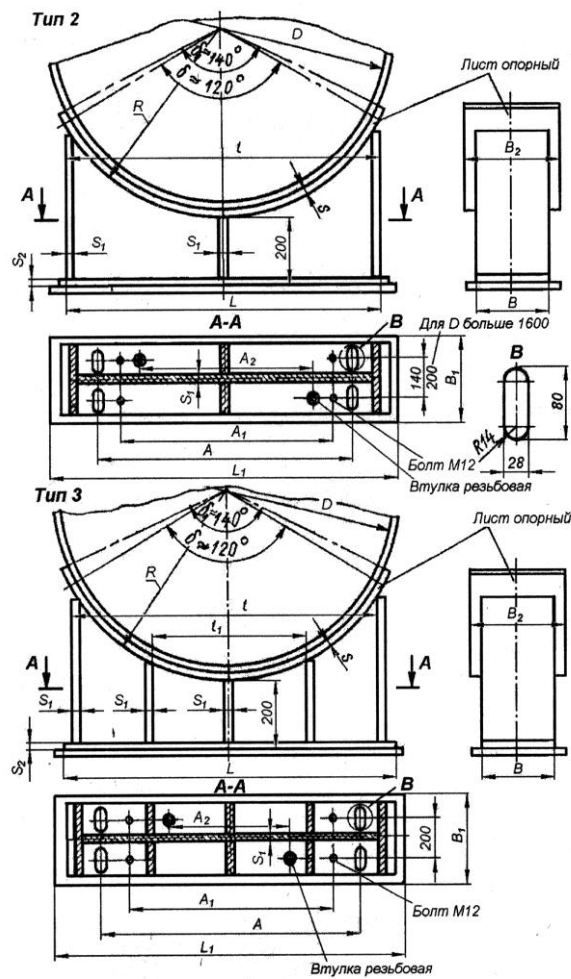


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема сідлової опори

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання [10]

Вибір між відкритим, закритим та комбінованим варіантом компонування для аміачної холодильної установки залежить від конкретних умов, технічних вимог, безпекових стандартів та експлуатаційних факторів.

Переваги відкритого варіанту:

- зниження капітальних витрат;
- покращена вентиляція та видалення аміаку;
- легший доступ для обслуговування та ремонту.

Недоліки відкритого варіанту:

- підвищена залежність від атмосферних умов (погодних умов);
- збільшений ризик взаємодії з навколишнім середовищем.

Переваги закритого варіанту:

- зменшення викидів аміаку та впливу на довкілля;
- зменшення ризику вибухів та пожеж;
- кращий контроль температурних умов.

Недоліки закритого варіанту:

- збільшені капітальні витрати;
- складніше обслуговування та ремонт через закритий простір.

Переваги комбінованого варіанту:

- комбінує переваги обох варіантів;
- можливість встановлення закритих блоків для деяких етапів процесу та відкритих для інших.

Недоліки комбінованого варіанту:

- можливість додаткової складності управління та інтеграції.

При виборі варіанту слід враховувати безпекові стандарти, які регулюють роботу з аміаком, і відповідати їм. Також важливо провести оцінку ризиків та безпекові аудити, щоб визначити оптимальний варіант для конкретного виробництва або об'єкта. Обговорення із фахівцями з безпеки та інженерами з холодильних систем також є необхідним етапом при прийнятті рішення. Для нашого випадку вибираємо відкритий варіант компонування обладнання. Розміщення обладнання на відкритому майданчику може значно зменшити капітальні витрати порівняно з будівництвом закритих споруд. Відкритий майданчик забезпечує кращу вентиляцію, що допомагає уникнути накопичення газів і теплових виділень. Відкритий майданчик може покращити умови роботи, зменшити ризик вибухів та пожеж, оскільки швидше розсіюються викиди та тепло. Також дозволяє легше доступатися до обладнання для обслуговування та ремонту.

При обранні розташування обладнання на відкритому майданчику, важливо дотримуватися рекомендацій та керуватися технічними нормами і стандартами безпеки. Бажано розташовувати важке і габаритне обладнання на позначці землі, оскільки це забезпечить стійкість та надійність під час експлуатації. Важливо враховувати необхідність високопрочних опорних конструкцій. Для опорних пристроїв рекомендується використовувати типові конструкції залізобетону. Вони відомі своєю міцністю та стійкістю до навантажень і погодних умов.

Для великогабаритних апаратів можна максимально використовувати несучу здатність їхніх стінок. Це може включати встановлення етажерок, сходів і майданчиків для обслуговування. Такий підхід дозволить оптимізувати простір і полегшити доступ до обладнання. Усе обладнання слід розміщувати на нульовій позначці щодо загального (групового) фундаменту. Це спрощує процес монтажу та обслуговування.

Ємності, насоси і теплообмінне обладнання, які вимагають додаткової стійкості і стабільності, можуть бути розташовані на

індивідуальних фундаментах. Це забезпечить надійну підтримку для цих об'єктів. Також розміщення обладнання на відкритих майданчиках має враховувати ряд важливих вимог та рекомендацій з метою забезпечення безпеки, зручності обслуговування та ефективності робочих процесів:

Передбачте наявність проходів між обладнанням, щитами і конструкціями таким чином, щоб забезпечити безпечний доступ для обслуговування обладнання, рух людей і транспорту. Мінімальна ширина проходів між найвиступнішими частинами обладнання, щитами і конструкціями повинна бути не менше 1 метра. Це сприяє запобіганню заторам і забезпечує швидкий доступ у разі аварій.

Технологічне обладнання, яке створює вібрацію і шум на робочих місцях, рекомендується встановлювати на спеціальних фундаментах і амортизаторах. Це допомагає знизити вплив вібрації та шуму на працівників і забезпечує комфортні умови роботи. Під час розміщення обладнання рекомендується виділяти групи апаратів, які мають спільні ознаки або призначення. Це сприяє організації робочих зон і полегшує обслуговування. Наприклад, апарати однієї технологічної лінії можуть бути розташовані поруч для зменшення витрат часу на переміщення працівників.

Враховуючи ці вимоги та рекомендації, можна створити безпечну та ефективну робочу обстановку на відкритому майданчику, що сприятиме надійній роботі обладнання та підвищить загальну продуктивність.

Проектування трубопроводів є важливим етапом в процесі створення хімічного обладнання та інженерних систем для транспортування і обробки різних речовин. Виправлення трубопроводів має бути грамотно відпрацьоване для забезпечення безпеки, ефективності та надійності експлуатації.

Під час розробки схеми трубопроводів важливо враховувати фізико-хімічні властивості речовин, які будуть транспортуватися, а також дані, отримані на етапі розрахунку апаратурного оформлення процесу. Це

дозволяє правильно підібрати матеріали труб, їх діаметри, тиск та температурний режим.

Залежно від призначення та характеристик перекачуваних речовин, трубопроводи поділяються на 3 групи: перша група включає трубопроводи для небезпечних речовин; друга – для менш небезпечних; третя – для інших речовин.

При трасуванні трубопроводів важливо враховувати низку факторів, таких як ефективність, безпека, зручність обслуговування і т. д. Пряма прокладка «від штуцера до штуцера» допускається лише у виняткових випадках, коли інші варіанти неможливі. Шлангові труби слід прокладати так, щоб вони були якнайкоротшими і не перетинали обслуговуючі майданчики апарату.

Правила трасування трубопроводів є важливими для забезпечення безпеки та ефективності експлуатації систем транспортування різних речовин:

1. Трубопроводи мають бути розташовані в одному пучку, де перетини труб мають просту форму, такі як горизонтальні або вертикальні ряди. Це дозволяє легше обслуговувати фланцеві з'єднання та інші пристрої.

2. Гарячі трубопроводи, які працюють при підвищених температурах, мають бути розміщені на відстані 3-5 діаметрів труби. Для компенсації температурних напружень на довгих гарячих трубопроводах може бути необхідно використовувати П-подібні ділянки.

3. Для запобігання гідравлічним ударам на довгих трубопроводах слід передбачити можливість відведення рідини з мішків. На газопроводах також необхідно встановлювати дренажні трубки для відведення конденсату.

4. При необхідності, трубопроводи повинні бути теплоізованими. Це допомагає підтримувати температурний режим роботи і запобігає втраті тепла.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [11, 12]

Метод встановлення на відкритому майданчику (на нульовій позначці) використовується для великих промислових теплообмінників, які встановлюються під відкритим небом. Вони можуть бути розміщені на підставках або спеціальних фундаментах.

Технологія монтажу кожухотрубчастих теплообмінників є важливою частиною їхнього встановлення і впливає на ефективність та надійність їхньої роботи. Деякі теплообмінники можуть бути встановлені на спеціальних підставках або в побудовах для захисту від погодних умов та забезпечення легкого доступу для обслуговування та ремонту.

Орієнтація теплообмінника може впливати на ефективність його роботи та потік робочого середовища. Вибір орієнтації повинен враховувати конкретні потреби процесу.

Транспортування теплообмінників в зібраному вигляді є зручним і економічним підходом, особливо для великих теплообмінників. Вибір засобу транспорту може включати в себе залізничні платформи, трейлери, автомашини, або навіть спеціалізовані робочі платформи для складних монтажних робіт. Транспортування в зібраному вигляді сприяє уникненню пошкоджень та спрощує процес монтажу на місці призначення.

Теплообмінники встановлюються відповідно до проекту та можуть бути розміщені як горизонтально, так і вертикально на різних відмітках. Для забезпечення стійкості та надійності теплообмінників застосовують опорні конструкції. Ці опорні конструкції можуть бути реалізовані у вигляді фундаментів, що складаються з двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні), або висотних металоконструкцій, включаючи балки (при вертикальному розташуванні та горизонтальному розташуванні на великих висотах).

Для забезпечення стабільності та надійності теплообмінників при їх монтажі до корпусу апарату прикріплюють дві опори. Відстань між цими опорами відповідає вимогам проекту та стандартам. У випадках, коли необхідно встановити теплообмінник на існуючому фундаменті, може бути дозволено змінювати відстань між опорами в межах невеликих варіацій.

Між корпусом теплообмінника та опорами апарата використовуються підкладки з листової сталі. Ці підкладки допомагають запобігти ушкодженням корпусу теплообмінника та забезпечують рівномірний розподіл навантаження. Для вертикально розташованих теплообмінників, замість опор, прикріплюють лапи з ребрами жорсткості, що також сприяє стабільності та надійності їхньої установки.

У більшості випадків для встановлення теплообмінників використовують самохідні крани, які дозволяють позиціонувати їх у потрібне проектне положення. Проте, іноді виникають ситуації, коли підняти великі теплообмінники за допомогою одного крану неможливо через обмежену вантажопідйомність цього крану. У таких випадках використовують два крани, які працюють спільно та координовано для підняття теплообмінників.

Коли мова йде про встановлення теплообмінників у два або більше яруси, рекомендується використовувати стратегію підняття їх великими блоками, які складаються з кількох окремих апаратів після з'єднання їх взаємною трубопровідною системою. Під час підняття таких блоків теплообмінників, їх розміщують у жорсткі решітчасті контейнери, до яких пристібають підйомні стропи. Цей підхід дозволяє ефективно та безпечно переміщати та встановлювати великі теплообмінники.

Отже, процес встановлення теплообмінників може бути досить складним, особливо в разі великих і багаторівневих конструкцій. Використання відповідних підйомних засобів та стратегій допомагає забезпечити безпеку та ефективність цього процесу.

Перевірка та налаштування трубопровідної обв'язки теплообмінника важлива стадія процесу монтажу. Перш ніж розпочати підключення трубопроводів, необхідно впевнитися, що корпус теплообмінника розташований правильно і закріплені болти, які з'єднують опори або лапи з постаментом. Це визначальний момент для забезпечення коректної роботи системи теплообміну.

Для впевненості в точному розташуванні теплообмінника використовують рівень або схил. Якщо необхідно, під опорні площини додають сталеві планки для досягнення відповідної висоти та рівномірного розподілу навантаження.

При вивірці теплообмінних апаратів відхилення від проектних осей та позначок, а також по горизонталі та вертикалі складають:

- головних осей апарату ± 10 мм;
- осі вертикального апарату від вертикальності – 3 мм на 1 м (але не більше 35 мм);
- горизонтального апарату від горизонтальності чи заданого положення (ухилу) – 0,3 мм на 1 м.

Під час горизонтального розташування теплообмінників виникають температурні деформації корпусу, які можуть досягати значних розмірів, а саме кількох міліметрів. Щоб компенсувати ці деформації і забезпечити правильне положення теплообмінника між опорами, одна з опор повинна бути рухомою. Зазвичай ця нерухома опора закріплюється на боці трубної решітки і фіксується тільки контргайками, а гайки болтів рухомої опори, які мають овальні вирізи, не затягуються на 1–1,5 мм. Важливо враховувати, що зазор між болтами та овальними вирізами повинен бути розташованим у напрямку можливого подовження теплообмінника. Крім того, поверхні ковзання слід ретельно зачищати, щоб уникнути защемлення і забезпечити безперешкодний рух опор.

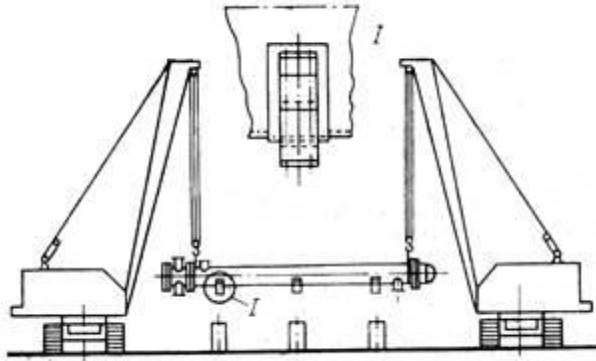


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника за допомогою двох кранів

Теплообмінники, які виробляються заводом-виробником, піддаються опресуванню на пробний тиск, який демонструє їхню надійність і герметичність. Тому, під час монтажу на монтажному майданчику, не потрібно повторно проводити опресування кожного теплообмінника окремо. Зазвичай, обмежуються перевіркою загальної системи теплообміну разом із трубопровідною обв'язкою після завершення монтажних робіт. Це спрощує процес монтажу і забезпечує безпеку та надійність роботи теплообмінної системи.

Теплообмінну апаратуру слід призупиняти для ремонту у випадках, коли виникають наступні основні несправності:

1. Забруднення поверхні теплообміну. Засмічення або накип на поверхні теплообмінника може суттєво зменшити ефективність теплового обміну. При наявності забруднень або нальоту, апаратура повинна бути зупинена для очищення теплообмінного обладнання та відновлення його ефективності.

2. Виявлення пропуску рідини. Виявлення витoku рідини з теплообмінника може бути небезпечним і може призвести до втрати робочого середовища або навіть потенційно небезпечних ситуацій. В такому випадку теплообмінний апарат також слід зупинити для виправлення проблеми та забезпечення безпеки та надійності процесу.

Ремонт теплообмінних апаратів є важливою процедурою для забезпечення їх надійної та ефективної роботи протягом тривалого періоду експлуатації. Накип, бруд і інші забруднення можуть накопичуватися на поверхні теплообмінника з часом і значно зменшувати ефективність теплового обміну. Під час ремонту, такі забруднення видаляються шляхом механічного або хімічного очищення, відновлюючи таким чином оптимальну теплопередачу.

Після очищення поверхні нагріву може бути необхідно провести ремонт або підкріплення цих поверхонь. Це включає в себе роботи з виправлення тріщин, подряпин, а також заміну зіпсованих частин або елементів теплообмінника. Запірна апаратура, така як клапани та вентиля, які контролюють потік робочого середовища, також може вимагати обслуговування та ремонту. Це може включати в себе заміну ущільнень, регулювання робочого тиску та інші дії для забезпечення правильного функціонування.

Ефективна ізоляція допомагає зберігати тепло та запобігає втраті енергії. Під час ремонту може бути необхідно відновлювати або замінювати ізоляційний матеріал, щоб забезпечити його надійність та ефективність.

Очищення осаду, який відкладається на стінках теплообмінного апарата, є важливою операцією для збереження ефективності теплового обміну. Існують різні методи очищення теплообмінних поверхонь, і вибір методу залежить від виду та ступеня забруднення:

1. Хімічне очищення. Цей метод використовує хімічні речовини для пом'якшення та розчинення осаду на поверхні нагріву. Зазвичай, для цього використовується каустична сода для пом'якшення осаду, а потім слабкий розчин соляної кислоти для розчинення осаду. Хімічне очищення часто використовується для очищення міжтрубного простору.

2. Термічне очищення. Цей метод базується на використанні різних коефіцієнтів теплового розширення між осадом і металом. Поверхню нагріву

спочатку підігрівають перегрітою парою, а потім охолоджують холодною водою, що очищена хімічним методом. В результаті, частки осаду відокремлюються від поверхні нагріву і потім видаляються вручну або за допомогою промивання. Цей метод ефективний для очищення твердого та крихкого осаду.

3. Гідравлічне очищення. Цей метод використовує струмінь води високої швидкості (понад 50 м/с) для видалення осаду. Він застосовується для видалення крихкого осаду.

4. Механічне очищення. Цей метод включає в себе використання металевих щіток або щіток для очищення поверхонь. Чищення труб проводиться за допомогою спеціальних пристроїв, які використовуються для видалення осаду. Під час чищення в трубки подається вода для вимивання відділеного осаду.

Ремонт трубчастої поверхні теплообмінника – це складний процес, що включає в себе декілька важливих етапів для відновлення ефективності теплообміну та забезпечення надійності системи. Першим кроком є детальний огляд трубчастої поверхні теплообмінника. Це включає в себе визначення ступеня зносу, корозії, наявності тріщин чи інших пошкоджень. Якщо в процесі огляду були виявлені труби, які вже не здатні до нормальної роботи, їх потрібно видалити. Це може включати в себе витягування або вирізання таких труб.

Для заміни видалених труб потрібно підготувати нові труби, які відповідають вимогам і параметрам системи. Крім того, може знадобитися підготовка трубної решітки, на яку будуть встановлюватися нові труби. Нові труби встановлюються на місце видалених та здійснюється їх розвальцювання. Цей процес важливий для створення надійного з'єднання між трубами та трубною решіткою, що забезпечує ефективний тепловий обмін.

Після завершення ремонту трубчастої поверхні важливо піддати теплообмінний апарат випробуванням для перевірки його герметичності та ефективності. Це може включати в себе гідравлічне або пневматичне випробування для переконання відсутності витоків і забезпечення правильної роботи.

Своєчасне виявлення недоліків та їх усунення є важливою складовою для забезпечення надійної та безпечної роботи установки в промисловому виробництві. Виконання таких робіт вимагає дотримання правил техніки безпеки і врахування специфіки робочого середовища. Усі роботи повинні проводитися з урахуванням вимог щодо безпеки та запобігання пожежам. Вогневі роботи повинні бути заборонені, якщо необхідно виконувати роботи в районі, де є потенційна небезпека загоряння.

У ході поточного ремонту випарника зазвичай видаляють кришки, камери та трубопроводи. Внутрішні поверхні очищують від бруду та накипу. Для забезпечення надійного з'єднання виготовляють прокладки з отворами для болтів і проціс проживлення болтів. Після встановлення кришок і камер проводиться гідравлічне випробування разом з іншими необхідними роботами.

Під час середнього ремонту зазвичай проводяться ті самі роботи, що і при поточному, але додатково може бути здійснена заміна труб до 10 % від загальної кількості. При капітальному ремонті також проводяться ті ж роботи, що і при поточному, але додатково може бути здійснена заміна труб до 25 % від загальної кількості.

Під час ремонтних та монтажних робіт працівникам обов'язково потрібно використовувати засоби індивідуального захисту, такі як спецодяг, спецвзуття, рукавиці, монтажні шоломи, запобіжний пояс з рятувальною мотузкою, та інші відповідно до потреб та стандартів безпеки. При використанні лісів та драбин важливо перевіряти їх надійне установа та строк випробування. Це гарантує безпеку під час робіт на висоті.

Перед початком робіт із підвищеною небезпекою необхідно оформити наряд-допуск, в якому визначаються обсяг робіт, заходи безпеки, засоби захисту, і вказується відповідальна особа за проведення робіт. Працівники також повинні пройти інструктаж перед початком робіт.

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу [13]

Теплообмінні апарати, зокрема кожухотрубні теплообмінники, є важливою частиною багатьох технологічних процесів у промисловості, енергетиці, хімії, харчовій промисловості, теплогазопостачанні та інших галузях. Основна функція теплообмінників – передача тепла між різними середовищами без їх змішування. Це може включати нагрівання, охолодження, конденсацію, випаровування, а також інші теплові процеси. Автоматизація таких процесів дозволяє ефективно використовувати енергію, підтримувати необхідні температурні режими та забезпечувати ефективну роботу виробничих систем.

Автоматизація виробничих процесів є ключовим напрямком для підвищення ефективності та якості виробництва. Розробка та впровадження автоматичних систем вимагає врахування ряду прогресивних напрямків та використання сучасних методів аналізу та оцінки.

Застосування сенсорів, збирачів даних та обмін даними через мережі сприяють створенню «розумних» виробничих систем, які можуть автоматично реагувати на зміни у виробничому процесі. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних та прийняття рішень, що дозволяє оптимізувати виробничі процеси та управління системами. Обробка великих обсягів даних дозволяє виявляти тенденції, прогнозувати відмови обладнання, а також оптимізувати виробничі параметри. Застосування роботів та автоматизованих систем для виконання завдань у виробництві зменшує необхідність людського втручання та сприяє підвищенню продуктивності.

Використання точних та надійних сенсорів, вимірювальних пристроїв та систем контролю для забезпечення якості продукції та оперативного контролю. Інтеграція фізичних та цифрових компонентів для створення розумних виробничих систем, які можуть співпрацювати та адаптуватися до змін. Впровадження систем управління, які можуть автоматично регулювати параметри процесів, враховуючи внутрішні та зовнішні фактори. Усе це має спрямованість на створення гнучких, ефективних та інтелектуальних виробничих систем, які можуть ефективно пристосовуватися до змін у виробничому середовищі.

Перехід на автоматичне регулювання може принести ряд переваг:

1. Автоматичне регулювання дозволяє швидко та точно реагувати на зміни у виробничому процесі. Це може покращити загальну ефективність та продуктивність установки.

2. Системи автоматичного регулювання можуть забезпечити точне управління параметрами процесу, такими як температура, тиск, витрати реагентів і т. д. Це дозволяє уникнути значних відхилень від заданих значень.

3. Автоматичне регулювання може сприяти оптимізації використання енергії та ресурсів, зменшуючи енерговитрати та покращуючи загальну енергоефективність.

4. Системи автоматичного регулювання можуть бути налаштовані для адаптації до змінних умов виробництва, що робить їх більш гнучкими та відповідальними на зміни у середовищі.

5. Автоматичне регулювання дозволяє мінімізувати втрати сировини, матеріалів та енергії через точне керування процесом та ресурсами.

6. Автоматизація може поліпшити безпеку, особливо в умовах виробництва, де важливо швидко та ефективно реагувати на аварійні ситуації.

7. Автоматизовані системи можуть функціонувати практично без участі операторів, зменшуючи ризик помилок та оптимізуючи виробничий процес.

Контрольовані збурювання. Температура теплоносіїв та їх витрата є ключовими контрольованими параметрами. Знання і контроль цих параметрів дозволяє ефективно управляти теплообмінним процесом.

Неконтрольовані збурювання. Накип та зміна властивостей теплоносія можуть впливати на ефективність теплообміну. Важливо враховувати ці фактори при розробці системи контролю та діагностики.

Вихідні змінні. Температура теплоносіїв є ключовою вихідною змінною. Її контроль і регулювання дозволяють забезпечити потрібні умови теплообміну та виробничого процесу в цілому.

Керуючі змінні. Витрата теплоносія може бути використана як керуюча змінна для регулювання температурних параметрів. Регулювання цієї величини може допомогти управляти ефективністю теплообміну та забезпечити оптимальні умови.

Правильне управління цими параметрами допомагає оптимізувати теплообмінні процеси, забезпечуючи ефективність та енергоефективність виробничих систем.

Спрощена функціональна схема автоматизації теплообмінного апарату приведена на рис. 5.1.

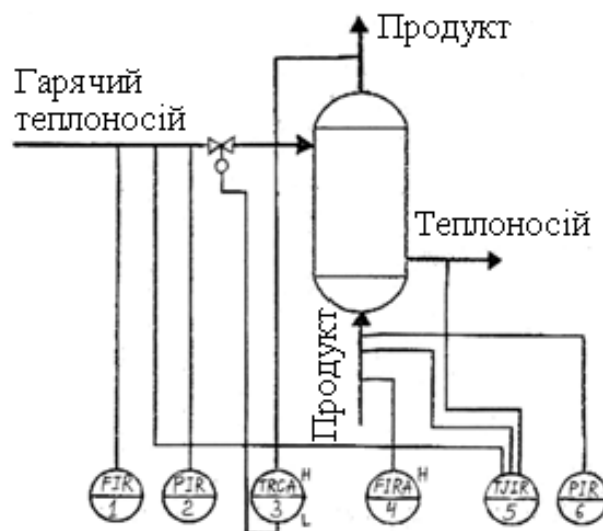


Рисунок 5.1 – Спрощена схема автоматизації теплообмінника

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання [14]

Датчики температури вимірюють температурні параметри в системі. Електропневматичні перетворювачі можуть перетворювати електричний сигнал в сигнал, який може використовуватися для керування пневматичним обладнанням.

Датчики концентрації слідкують за рівнем розчинених речовин у середовищі. Електронний міст може використовуватися для зміни електричного сигналу в залежності від концентрації.

Перетворювачі тиску слідкують за тиском у системі. Прилади, які працюють в межах вимірювання до 2,5 МПа, підходять для контролю тиску у більшості промислових застосувань.

Витратоміри вимірюють об'єм рідини або газу, що протікає через систему. Електропневматичні перетворювачі витрати можуть використовуватися для регулювання витрати за допомогою пневматичного обладнання.

Ці пристрої допомагають забезпечити точний та надійний контроль за параметрами виробничого процесу, що є важливим для забезпечення стабільності та якості виробництва.

Вибір приладів автоматизації є важливим етапом в розробці будь-якої автоматизованої системи. Розглянемо основні ключові критерії при виборі приладів автоматизації:

1. Інтеграція з іншим обладнанням. Переконайтеся, що обрані прилади легко інтегруються з іншим обладнанням у системі. Сумісність та зручність інтеграції є важливими факторами для забезпечення високої ефективності системи.

2. Технічні характеристики. Ретельно досліджуйте технічні характеристики приладів, такі як точність вимірювань, частота вимірювань,

швидкість реакції і т. д. Обирайте ті, які найкраще відповідають вимогам процесу.

3. Енергоефективність. Якщо енергоефективність є важливим фактором для вашої системи, розгляньте прилади, які мають оптимізовану споживану потужність та можливості енергозбереження.

4. Можливості розширення. Плануйте на майбутнє, обираючи прилади з можливостями розширення або оновлення. Це дозволить легше впроваджувати нові функції або адаптувати систему до змін у виробничих умовах.

5. Надійність та тривалість служби. Досліджуйте рейтинги та відгуки виробників щодо надійності приладів та тривалості їх служби. Важливо обирати обладнання, яке може працювати безперебійно протягом тривалого періоду.

SIEMENS пропонує широкий вибір вимірювальних перетворювачів температури, які надійно функціонують навіть у найскладніших умовах. Датчики температури цієї фірми застосовуються у різних промислових галузях, таких як хімічна, фармацевтична, харчова, енергетична та інші. Вони гарантують точне вимірювання температури, навіть в екстремальних умовах.

Серія перетворювачів SITRANS T включає універсальні перетворювачі з вихідним сигналом 4–20 мА + HART, які можна програмувати за допомогою ПК. Ці перетворювачі дозволяють зручно контролювати температуру в вашому процесі та передавати дані в автоматизовану систему керування.

Окрім того, доступні варіанти термометрів з цифровою індикацією показань, що полегшують спостереження за температурою. Якщо вам потрібно використовувати датчики температури в вибухонебезпечних середовищах, SIEMENS також пропонує вибухозахищені варіанти датчиків.

Сімейство витратомірів SITRANS F від SIEMENS є ідеальним рішенням для точного та безперервного вимірювання витрати різних

середовищ. Вони використовують сучасні та надійні методи для вимірювання витрати рідини та суспензій. Серія SITRANS F серії M Magflo використовує магнітоіндукційний принцип для вимірювання витрати електропровідних рідин та суспензій. Ці витратоміри є надійними та дозволяють вимірювати витрату різних середовищ, забезпечуючи точність та стабільність результатів. За допомогою витратомірів SITRANS F можливо ефективно контролювати витрату рідин та суспензій і підтримувати оптимальний рівень виробництва.

Сімейство рівнемірів SIEMENS в рамках серії SITRANS L є ідеальним рішенням для контролю рівня рідких і сипких середовищ. Вони надають можливість вирішити широкий спектр завдань, пов'язаних з контролем рівня в різних умовах і середовищах. Сигналізатор граничного рівня Pointek CLS 200 є універсальним і відрізняється високою хімічною стійкістю. Він призначений для надійного визначення рівня рідини чи сипких матеріалів в ємностях та резервуарах. Цей сигналізатор допомагає попередити переливання або витік рідини, що може призвести до аварійних ситуацій.

Застосування рівнемірів SIEMENS забезпечує надійний та точний контроль рівня рідких і сипких середовищ, що сприяє безпеці та ефективності виробництва. Такі прилади дозволяють уникнути небажаних ситуацій та забезпечують безперебійну роботу системи.

Сімейство вимірювальних перетворювачів SITRANS P, представлене в серії ZD, гарантує надійне та точне вимірювання різних параметрів тиску та рівня рідини в різних умовах та середовищах. Ці перетворювачі призначені для вимірювання надлишкового, вакууметричного, абсолютного та диференціального тисків.

Вони підходять для вимірювання тиску рідких, газоподібних та пароподібних середовищ. Крім того, ці перетворювачі можуть бути використані для вимірювання гідростатичного рівня рідини в ємностях.

Перетворювачі SITRANS P серії ZD мають цифровий індикатор, який дозволяє зручно відслідковувати вимірювані параметри тиску та рівня. Вони володіють високою точністю та надійністю, що робить їх ідеальними для застосування в різних промислових секторах та умовах.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів [15]

Дотримання вікових та медичних обмежень, а також проходження навчання та іспитів є важливими аспектами в забезпеченні безпеки праці на аміачних холодильно-компресорних установках. Такі обмеження та процедури спрямовані на забезпечення безпеки працівників та уникнення можливих ризиків, пов'язаних з роботою із аміаком, який може бути небезпечним у відповідних умовах.

Працівники повинні володіти необхідними знаннями та навичками для безпечної експлуатації та обслуговування аміачних систем. Регулярна перевірка їхнього стану здоров'я та забезпечення відповідної кваліфікації є ключовими елементами системи управління безпекою виробництва.

Важливо також враховувати дотримання вимог щодо оформлення необхідної документації та наявність наказу про допуск до самостійної роботи в цеху. Це сприяє чіткості та визначеності управління персоналом та його підготовці для роботи з аміачним обладнанням.

Передача інструкцій та проведення інструктажу з техніки безпеки перед початком робіт є стандартною та дуже важливою практикою в будь-якому виробничому середовищі.

Також, контроль за доступом сторонніх осіб на робочі місця і необхідність дозволу для роботи ремонтних бригад підкреслюють важливість обмеження доступу та контролю за діяльністю на робочих місцях.

Зазначення, що пуск установки в експлуатацію здійснюється відповідно до затверджених інструкцій та з урахуванням чинного регламенту, свідчить про системний підхід до дотримання вимог безпеки та регулятивних стандартів. Це сприяє запобіганню аваріям та забезпечує безпечну експлуатацію обладнання.

Забезпечення безпеки праці у виробничому середовищі є критичним аспектом для збереження здоров'я та добробуту працівників. Декілька рекомендацій, які можуть допомогти зменшити ризики та негативний вплив на робочий персонал:

1. Герметизація обладнання і трубопроводів. Регулярна перевірка і обслуговування обладнання та трубопроводів для уникнення витоків газів і пилу.

2. Захист від рухомих машин і механізмів. Встановлення захисних бар'єрів, виділення безпечних зон та надання навчання персоналу щодо безпечних робочих практик.

3. Контроль параметрів мікроклімату. Підтримання оптимальних умов температури, вологості та швидкості руху повітря, а також регулярна перевірка і обслуговування систем вентиляції.

4. Освітлення. Забезпечення належного рівня природного та штучного освітлення на робочих місцях.

5. Оцінка шуму і вібрації. Встановлення заходів для зменшення рівня шуму та вібрації, а також надання захисних засобів.

6. Безпека електропостачання. Періодична перевірка і обслуговування електроустаткування, надання відповідного навчання та застосування захисних засобів.

7. Охорона дихальних шляхів. Використання респіраторів при роботі в умовах підвищеного рівня запиленості.

8. Вибір відповідного захисту. Використання відповідних особистих захисних засобів для запобігання можливим ураженням.

9. Організація медичного контролю. Проведення періодичних медичних оглядів працівників для виявлення та управління можливими впливами на здоров'я.

10. Навчання та інструктаж. Проведення регулярних тренінгів та інструктажів з питань техніки безпеки для всього персоналу.

Заходи техніки безпеки є дуже важливими для забезпечення безпеки та уникнення аварій. Дотримання цих вимог сприяє зниженню ризиків та забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці. Розглянемо окремі аспекти вимог:

Навчання та інструктаж. Забезпечте обов'язкове та систематичне навчання всіх працівників безпечним методам роботи, включаючи основи охорони праці та експлуатаційні правила. Проводьте інструктажі перед початком нових видів робіт або використанням нового обладнання.

Перевірка знань. Регулярно перевіряйте знання виробничого персоналу через тестування та інші методи оцінки.

Дотримання вимог. Вимагайте строгого дотримання всіх інструкцій, правил та норм, пов'язаних з безпекою праці та експлуатацією обладнання.

Зберігання та транспортування речовин. Дотримуйтеся встановлених вимог щодо правил зберігання, транспортування та використання речовин, уникайте порушень технологічного процесу та забезпечуйте правильне функціонування виробничого обладнання.

Дотримання цих вимог допоможе створити безпечні та надійні умови праці, а також виключить багато потенційних ризиків та аварійних ситуацій. Регулярний моніторинг та актуалізація процедур і правил також є важливим етапом в управлінні безпекою на робочому місці.

Важливими аспектами є безпечна експлуатація обладнання, що працює під тиском. Визначені нормативи та правила гарантують надійність та безпеку виробничого процесу.

1. ДНАОП 0.00-1.07-94. Цей документ визначає стандарти та вимоги до будови, експлуатації, ремонту та технічного огляду посудин, що працюють під тиском. Забороняється експлуатація обладнання з простроченим терміном експлуатації та без клейма, що дозволяє визначити його безпеку та відповідність стандартам.

2. Запірна арматура, прилади контролю і запобіжні пристрої. Застосування цих елементів є ключовим для забезпечення безпеки експлуатації систем під підвищеним тиском. Запірна арматура дозволяє контролювати тиск та здійснювати обслуговування безпечним чином. Прилади контролю слід використовувати для відстеження параметрів роботи устаткування.

3. Матеріали та маркування. Апарати, що знаходяться під тиском, мають бути виготовлені з високоякісних металів, які добре зварюються та витримують внутрішні та зовнішні тисків. На апараті повинна бути чітка маркування, яка містить інформацію про параметри та технічні характеристики.

Безпека виробничого процесу є пріоритетом, і виконання нормативів та вимог є запорукою успішної та безпечної експлуатації обладнання. Продовжуйте дотримуватися цих стандартів для забезпечення безпеки працівників та стабільної роботи вашого обладнання.

Згідно з вимогами ГОСТ 12.1.005-88, концентрація аміаку (NH_3) у повітрі робочої зони виробничого приміщення не повинна перевищувати ГДК (гранично допустимі концентрації) в розмірі 20 мг/м^3 . Це обмеження встановлено для забезпечення безпеки працівників і виключення можливих негативних впливів на здоров'я. ГДК визначає максимально допустиму концентрацію речовин у повітрі, яка не повинна викликати шкідливих ефектів для здоров'я протягом робочого дня або тижня. Таким чином, для аміаку це значення складає 20 мг/м^3 .

Також вказано, що концентрація КО (кислотного оксиду) повинна відповідати класу IV. Класифікація класів КО залежить від їхніх гранично допустимих концентрацій, визначених для того, щоб уникнути негативного впливу на здоров'я людини.

Забезпечення дотримання цих нормативів є важливим для забезпечення безпеки працівників та уникнення небезпеки виробничого процесу.

Періодичне моніторингове вимірювання концентрацій шкідливих речовин та вживання відповідних заходів безпеки є обов'язковими елементами управління безпекою виробничого процесу.

ГОСТ 12.1.005-88 «Обладнання, що працює під тиском. Правила будови» визначає, що періодичність контролю за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинна бути визначена з урахуванням специфіки виробництва та конкретних умов роботи. Основним завданням є забезпечення безпеки працівників та відповідність концентрації шкідливих речовин допустимим нормам.

Щодо вимог до методів і способів вимірювання концентрації шкідливих речовин, то ГОСТ 12.1.005-88 вказує, що вимірювання повинно виконуватися відповідно до вимог і методів, визначених нормативними документами, що регулюють забруднення робочого середовища.

Контроль за концентрацією шкідливих речовин може виконуватися різними методами, такими як газоаналіз, хроматографія, фотометрія, а способи залежать від конкретного забруднюючого речовини. Важливо, щоб вимірювання проводилося кваліфікованим персоналом із використанням апаратури, яка відповідає вимогам стандартів і нормативів. Запобігання та контроль за шкідливим впливом шкідливих речовин на працівників виробництва є ключовим елементом забезпечення безпеки праці.

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 «Обладнання, що працює під тиском. Правила будови» та санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених Міністерством охорони здоров'я України, основні показники мікроклімату, які підлягають контролю, включають:

1. Температура повітря. Вимірюється за допомогою термометрів, і регулюється для забезпечення комфортних умов для працівників.

2. Відносна вологість повітря. Вимірюється гігрометрами. Збалансована вологість повітря важлива для комфортного відчуття та здоров'я працівників.

3. Швидкість руху повітря. Може вимірюватися за допомогою анемометрів. Контроль швидкості руху повітря допомагає уникнути дискомфорту від зіпсованого мікроклімату.

4. Інтенсивність теплового випромінювання: Може визначатися з використанням відповідних приладів. Важливо враховувати теплове випромінювання для уникнення перегріву приміщень.

Методи вимірювання і контролю цих параметрів можуть включати в себе використання різноманітних приладів та технік, що відповідають стандартам та нормативам, зокрема, вказаним у ГОСТ 12.1.005-88 та санітарних нормах.

Допустимі та оптимальні показники мікроклімату можуть варіюватися в залежності від характеру приміщення та виконуваних в ньому робіт. Ось деякі загальні рекомендації для оптимальних параметрів мікроклімату в різних виробничих приміщеннях.

Робочі зони (для стаціонарних робочих місць):

- температура повітря 22–24°C;
- відносна вологість 40–60 %;
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Кабіни, пульти керування, зони нервово-емоційного напруження:

- температура повітря 22–24°C;
- відносна вологість 40–60 %;
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Інші виробничі приміщення:

- температура повітря: оптимальні значення залежать від конкретних умов роботи, але зазвичай вона повинна бути в межах 18–25°C;
- відносна вологість 40–60 %;
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Важливо враховувати специфіку виробничого процесу, технічні вимоги та особливості робочого персоналу при визначенні оптимальних показників

мікроклімату. Перевірка та регулювання цих параметрів повинні проводитися регулярно для забезпечення комфортних та безпечних умов праці.

Надання допомоги при контакті з аміаком.

При попаданні аміаку на тіло або в очі, необхідно негайно промити пошкоджені ділянки чистою водою. Звернутися до медпункту для отримання професійної медичної допомоги.

Дії при термічних опіках. Накласти стерильну пов'язку на уражене місце. Негайно звернутися до лікаря для проведення необхідного лікування.

Перша допомога при закритих переломах. Накласти шину або допоміжний матеріал (дошку, планку) на пошкоджену кінцівку. Викликати швидку допомогу для надання кваліфікованої медичної допомоги.

Надання допомоги при ураженні електричним струмом. Дотримуватися інструкцій по наданню першої допомоги при ураженні електричним струмом. Викликати медичну допомогу для подальшого лікування.

Дії при отруєнні аміаком. Вивести потерпілого із зони загазованого середовища. Розстебнути одяг потерпілого. Негайно відправити в медичний пункт. Звернутися до лікаря у випадку потреби.

Важливо, щоб усі працівники отримали необхідне навчання та інструктаж щодо надання першої медичної допомоги в конкретних умовах роботи з аміаком.

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора

Заземлювачі глибокого занурення використовуються для забезпечення ефективної заземлення електроустаткування та забезпечення безпеки в системах електроживлення. Глибина занурення $h = 100$ см вказує на те, що заземлювачі розташовані на глибині 100 см під землею. Це досить звичайна

глибина для заземлювачів, але конкретна глибина може залежати від різноманітних факторів, таких як кліматичні умови, тип ґрунту тощо.

Для досягнення ефективного заземлення важливо також враховувати кількість і розміщення заземлювачів, а також їхню конструкцію. Заземлювачі можуть мати різні форми, такі як вертикальні стержні, горизонтальні електроди чи кола. Кількість і розміщення заземлювачів визначаються відповідно до вимог стандартів та нормативів з електробезпеки для конкретного виду споруди чи установки.

Відповідно до ПЕУ, ПТБ и ПТЕ допустимий опір захисного струму в заземленні для мережі до 1000 В $R_3 = 4$ Ом.

Питомий опір ґрунту (чорнозему), рекомендований для розрахунків, становить $\rho_{\text{табл.}} = 2000$ Ом·см.

Підвищувальні коефіцієнти у залежності від кліматичної зони:

- для труб вертикальних заземлювачів $K_{\text{ПТ}} = 1,4 \div 1,6$; приймаємо $K_{\text{ПТ}} = 1,5$;
- для сполучної смуги $K_{\text{ПС}} = 2,5 \div 4$; приймаємо $K_{\text{ПС}} = 3,25$.

Питомий розрахунковий опір ґрунту, враховуючи несприятливі умови за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{\text{розр.т.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{ПТ}}, \text{ Ом} \cdot \text{см} \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{розр.т.}} = 2000 \cdot 1,5 = 3000 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

Питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (сполучної смуги):

$$\rho_{\text{розр.с.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{ПС}}, \text{ Ом} \cdot \text{см} \quad (6.2)$$

$$\rho_{\text{розр.с.}} = 2000 \cdot 3,25 = 6500 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

Відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_T}{2}, \text{ см} \quad (6.3)$$

де h_3 – глибина закладки заземлювача, $h_3 = 100$ см;

l_T – довжина заземлювача, $l_T = 280$ см.

$$t = 100 + \frac{280}{2} = 240 \text{ см}$$

Опір розтікання струму для одиночного вертикального заземлювача, який розміщений нижче від поверхні землі:

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{розр.т.}}}{l_T} \left(\lg \frac{2 \cdot l_T}{d_{\text{ТР}}} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4t + l_T}{4t - l_T} \right), \text{ Ом} \quad (6.4)$$

де $d_{\text{ТР}}$ – діаметр заземлювача, $d_{\text{ТР}} = 4$ см.

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{3000}{280} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 280}{4} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 240 + 280}{4 \cdot 240 - 280} \right) = 8,5 \text{ Ом}$$

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T = \frac{R_T}{R_3} \quad (6.5)$$

$$n_T = \frac{8,5}{4} = 2,125$$

Приймаємо $n_T = 3$.

Відстань між вертикальними заземлювачами визначається зі співвідношення $c = L_T / l_T$. Для стаціонарних занурених заземлювачів це співвідношення береться таким: $c = 1$.

$$L = c \cdot l_T, \text{ см} \quad (6.6)$$

$$L = 1 \cdot 280 = 280 \text{ см}$$

Визначаємо коефіцієнт екранування труб: $\eta_{ET} = 0,78$ при $n_T = 3$.

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{TE} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{ET}} \quad (6.7)$$

$$n_{TE} = \frac{8,5}{4 \cdot 0,78} = 2,72$$

Приймаємо $n_{TE} = 3$.

Розрахунковий опір розтікання струму при взятому числі вертикальних заземлювачів n_{TE} :

$$R_{\text{розр. T}} = \frac{R_T}{n_{TE} \cdot \eta_{ET}}, \text{ Ом} \quad (6.8)$$

$$R_{\text{розр. T}} = \frac{8,5}{3 \cdot 0,78} = 3,63 \text{ Ом}$$

Довжина сполучної смуги:

$$L_{3.C.} = 1,05 \cdot l_T \cdot (n_{TE} - 1), \text{ см} \quad (6.9)$$

$$L_{3.C.} = 1,05 \cdot 280 \cdot (3-1) = 588 \text{ см}$$

Опір розтікання струму в сполучній смузі:

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{розр.С.}}{L_{3.C.}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{3.C.}^2}{h_3 \cdot b_C}, \text{ Ом} \quad (6.10)$$

де b_C – ширина сполучної смуги, $b_C = 6 \text{ см}$.

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{6500}{588} \cdot \lg \frac{2 \cdot 588^2}{100 \cdot 6} = 12,39 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт екранування $\eta_{Е.З.С.}$ для сполучної смуги:
 $\eta_{Е.З.С.} = 0,77$.

Розрахунковий опір для розтікання електричного струму в сполучній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{розр.С} = \frac{R_{3.C.}}{n_{ЕС} \cdot \eta_{ЕЗС}}, \text{ Ом} \quad (6.11)$$

$$R_{розр.С} = \frac{12,39}{1 \cdot 0,77} = 16,1 \text{ Ом}$$

Загальний розрахунковий теоретичний опір розтікання струму від вертикальних заземлювачів і сполучної смуги:

$$R_{заг.розр.} = \frac{1}{\frac{1}{R_{розр.Т}} + \frac{1}{R_{розр.С}}}, \text{ Ом} \quad (6.12)$$

$$R_{\text{заг.розр.}} = \frac{1}{\frac{1}{3,63} + \frac{1}{16,1}} = 2,96 \text{ Ом}$$

Загальний розрахунковий опір не перевищує допустимий опір захисного струму в заземленні 4 Ом, що говорить про ефективність даного заземлення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплотехнічні процеси та установки. Визначення ефективності роботи парокompресійної холодильної установки : метод. вказівки до виконання комп'ютерного практикуму з дисципліни для студ. спец. «Енергетичний менеджмент» / Уклад.: Т. О. Ринкова, В. І. Дешко, В. І. Шкляр, О. В. Хількевич. – К. : РЕУУ «КПІ», 2010. – 33 с.
2. Процеси та апарати хімічної технології : Підручник: У 2 ч. – Ч 2 / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А. П. ГОТЛІНСЬКА, В. О. ЛЕЩЕНКО та ін.; За ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО; Пер. з рос. Л.А. Копієвської. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 540 с.
3. Врагов А.П., Михайловський Я.Є, Якушко С.І. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв. – Суми: видавництво СумДУ, 2008. – 170 с.
4. Коваленко І.А., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв. – Київ: Воля, 2006. – 253 с.
5. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах "газ (пара) – рідина" : підручник / Я.Є. Михайловський, А.Є. Артюхов, М.П. Юхименко, Н.О. Артюхова ; за заг. ред. Я.Є. Михайловського. – Суми : СумДУ, 2021. – 391 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
7. Чеботарьов В. О. Технічна термодинаміка : Учбовий посібник / В. О. Чеботарьов, А. Д. Беркута. – К. : Вища школа, 1969. – 204 с.

8. Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями: навч. посіб. для студ. / І.А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ, 2018. – 121 с.
9. Андреев, І. Роз'ємні міцно-щільні з'єднання: навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ігор Андреев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 138 с.
10. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укл.: О.О. Ляпощенко, В.М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
11. Обладнання заготівельних та котельно-зварювальних дільниць ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв : навч. посіб. / С.М. Яхненко, М.С. Скиданенко, Є.М. Піддубний. – Суми : СумДУ, 2022. – 170 с.
12. Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. [для студ. закл. вищ. освіти]. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 233 с.
13. САПР технологічних ліній та комплексів хімічних і нафтогазопереробних виробництв / О. О. Ляпощенко, О. Є. Старинський // Дистанційний курс. – Суми : СумДУ, 2020. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elearning.sumdu.edu.ua/s/4b-z0x>
14. Промислові прилади та засоби автоматизації: Довідник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безповська, В.А. Бек та ін.. Київ : Вид-во «Віста», 2017. – 847 с.
15. 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. – Київ : Основа, 2006. – 448 с.