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

Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____
підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Блок отримання технічного пропан-бутану УПН. Розробити та модернізувати випарник етанової колони

Виконала:
студентка групи ХМ.м-21/1

Рудецька Людмила Володимирівна

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Острога Руслан Олексійович

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2023

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	5
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	13
2.2 Теоретичні основи процесу	15
2.3 Опис конструкції проектованого апарата	20
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	21
2.5 Гідравлічні розрахунки	28
2.6 Вибір допоміжного обладнання	30
3 ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	37
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	37
3.2 Розрахунки на міцність та стійкість	39
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	45
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	45
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	49
5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	58
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	63
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	63
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора	66
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	71
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Малотоннажні нафтопереробні заводи (міні-НПЗ) є промисловими підприємствами, які спеціалізуються на переробці нафти. Основною характеристикою міні-НПЗ є їхні обмежені потужності в переробці сирої нафти. Вони зазвичай переробляють об'єм нафти, який не перевищує 1 мільйон тонн на рік. Головною метою міні-НПЗ є виробництво нафтопродуктів, таких як бензин, дизельне паливо, мазут, а також інших видів палива та хімічних продуктів, які можуть бути виготовлені з нафтопродуктів [1].

Міні-НПЗ можуть бути ефективними на регіональному рівні, забезпечуючи попит на нафтопродукти в малих або віддалених регіонах, де великі нафтопереробні заводи економічно не обґрунтовані. Вони дозволяють зменшити витрати на транспортування нафти та нафтопродуктів на великі відстані. Міні-НПЗ можуть бути інтегровані в ланцюжок постачання нафтопродуктів і відігравати важливу роль у забезпеченні місцевого ринку паливом та іншими нафтопродуктами [1].

Низькотемпературна ректифікація (НТР) і низькотемпературна конденсація (НТК) є двома різними методами для розділення газових сумішей при низьких температурах, і вони використовуються для отримання чистих продуктів. Основна відмінність між ними полягає в методології розділення та обробки сировини:

При НТР сировину спочатку спрямовують до ректифікаційної колони, де суміш розділяється на компоненти на основі їхніх різних температур кипіння та конденсації. Чисті продукти забираються з верхньої частини колони (легкі компоненти), у той час як більш важкі компоненти відводяться знизу і можуть бути піддані додатковій обробці. При НТК сировина спочатку охолоджується до низьких температур. Низькотемпературні умови призводять до конденсації компонентів суміші, утворюючи рідину або тверду фазу. Відконденсовані компоненти можуть бути відокремлені та зібрані для отримання окремих продуктів [2].

Обидва методи (НТР і НТК) використовують низькі температури для розділення газових сумішей, але підходять для різних завдань і сировини. НТР, зазвичай, застосовується для вибіркового розділення складних сумішей, коли необхід-

но отримати чисті компоненти. НТК може використовуватися для конденсації компонентів, що мають близькі температури кипіння. Вибір методу залежить від конкретних вимог і складу суміші.

Етанова ректифікаційна колона є головним апаратом в процесах отримання технічного пропан-бутану. Її основна функція полягає в розділенні суміші газів на окремі компоненти (пропан і бутан) шляхом ректифікації. Дана колона є насадковим апаратом з діаметром 400 мм і висотою робочої частини до 6000 мм.

Для нормальної роботи етанової колони треба стабільно її забезпечувати паровим зрошенням. Використання вбудованого кожухотрубного випарника для генерації вуглеводневих парів є добре обґрунтованим рішенням.

Таким чином, метою даної кваліфікаційної роботи є технологічне обстеження блоку отримання пропан-бутану установки переробки нестабільної нафти (конденсату), отримання навичок щодо проектування випарника етанової колони, а також модернізація проектної розробки. Робота виконувалась відповідно до методичних вказівок [3].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ [4–7]

Модульна установка міні-нафтопереробного заводу (міні-НПЗ) складається з різних блоків, які збираються на підготовленому майданчику:

1. Блок колонного обладнання. Цей блок містить ректифікаційну колону або інші обладнання для розділення і переробки нафти та нафтопродуктів.
2. Блок теплообмінного обладнання. Тут розміщуються теплообмінники, які використовуються для теплопередачі у різних процесах нафтопереробки.
3. Блок насосів і пункти вимірювань. Включає насоси для переміщення рідин та інші обладнання для вимірювання параметрів процесів.
4. Міжблочні трубопроводи, які забезпечують зв'язок між різними блоками та обладнанням установки.
5. Блок компаундування включає обладнання для змішування та обробки нафтопродуктів для отримання бажаних продуктів.
6. Виробничо-допоміжний блок. У цей блок входять приміщення та обладнання для операторів, електрощитова, лабораторія та інші допоміжні приміщення та системи.
7. Дизель-генератор використовується як джерело резервного живлення для забезпечення безперервності роботи установки.

Така модульна структура дозволяє швидко збудувати та впровадити міні-НПЗ з урахуванням конкретних потреб і умов. Вона також спрощує процес монтажу та обслуговування цих установок.

При розгляді міні-нафтопереробних заводів (міні-НПЗ) одним із важливих аспектів є проблема обмежених джерел сировини. По-перше, для міні-НПЗ, які не мають власних джерел видобутку сировини, важливо встановити стале постачання нафти або газового конденсату. Це може включати в себе договори з видобувними компаніями, закупівлю сировини на ринку або використання інфраструктури для прийому сировини з інших джерел.

Розглядаючи масштаби переробки, слід звернути увагу на потреби в сировині та здатність міні-НПЗ обробляти великі обсяги. Важливо мати ефективну систему транспортування сировини до міні-НПЗ. Автотранспорт має обмежену по-

тужність перевезення. Для збільшення потужності необхідно використовувати залізничний транспорт. Перекачування сировини по нафтопроводу також може бути необхідним, якщо потрібно підвищити продуктивність.

Важливо встановити ефективну співпрацю з постачальниками сировини та забезпечити надійні постачання. Довгострокові угоди та стабільні відносини з постачальниками можуть допомогти зменшити ризики в сфері забезпеченості сировиною.

Велика кількість міні-НПЗ були будувались застарілими технологіями, які не можуть забезпечити високу якість продукції та екологічні стандарти. Для вирішення цієї проблеми необхідна модернізація і оновлення обладнання з впровадженням сучасних технологій переробки. Відсутність чіткої нормативної бази для міні-НПЗ може ускладнювати процес впровадження нових технологій та відповідність екологічним нормам. Зараз потрібна ініціатива для розробки та впровадження нормативних актів, які б враховували сучасні вимоги до міні-НПЗ.

Сучасні вимоги до якості палива та нафтопродуктів вимагають від міні-НПЗ переглянути свій підхід і забезпечувати високу якість продукції, навіть ціною зниження обсягів виробництва. Це, у свою чергу, потребує інвестицій у сучасне обладнання та технології, але є необхідним кроком для забезпечення сталого та конкурентоспроможного виробництва.

Для розділення вуглеводневих газів існує чотири основних групи низькотемпературних процесів, а саме:

1. Низькотемпературна конденсація;
2. Низькотемпературна ректифікація;
3. Низькотемпературна абсорбція;
4. Низькотемпературна адсорбція.

Останні два способи реалізуються в основному на крупнотоннажних НПЗ, а два перших – використовуються на різного роду малотоннажних установках. Тому більш детально розглянемо процеси НТК та НТР.

В процесах НТК газова суміш охолоджується до дуже низьких температур, що призводить до конденсації компонентів у суміші у вигляді рідини. Після конденсації компоненти можуть бути відокремлені та зібрані для подальшого вико-

ристання. Для досягнення високої чіткості розділення вуглеводневих газів при НТК може бути необхідним використання додаткових об’єктів, таких як колони деметанізації або деетанізації. Ці додаткові об’єкти допомагають подальшому розділенню компонентів у різних фазах, забезпечуючи більш чітке виділення певних газових компонентів із суміші.

Процес НТК може бути використаний для виділення різних компонентів, таких як метан, етан, пропан, бутан та інші вуглеводневі гази, що мають різні температури конденсації при постійному тиску. Такі методи розділення важливі в промисловості для виробництва і обробки різних газових продуктів, включаючи природний газ, зріджені гази та інші вуглеводневі сполуки.

Процес НТР включає в себе розширену ректифікаційну колону, в якій газова суміш розділяється на компоненти на основі їхніх різних температур кипіння та конденсації. Даний метод базується на охолодженні газової сировини до температури, при якій система переходить в двофазний стан, де газова суміш перетворюється в газорідинну фазу. Наступний розподіл цієї газорідинної суміші відбувається без попередньої сепарації в тарілчастих або насадкових ректифікаційних колонах.

Головна перевага НТР полягає в тому, що він дозволяє розділити вуглеводневі гази з отриманням чистих індивідуальних вуглеводнів або вузьких фракцій. Такий підхід особливо корисний в нафтопереробній промисловості, де чистота та якість продуктів є критично важливими. НТР може бути використаний для виділення конкретних газових компонентів, таких як метан, етан, пропан або бутан, в залежності від потреб виробництва.

Теплообмінні процеси відіграють ключову роль у промисловості переробки нафти. Вони дозволяють ефективно передавати тепло від одного середовища до іншого, що є необхідним для різних фаз переробки сировини. Розглянемо більш детально різновиди теплообмінних процесів та перспективи їхнього використання.

Охолодження і нагрівання. В обробці нафти теплообмінні процеси використовуються для охолодження гарячих продуктів, таких як сира нафта або нафтопродукти, а також для нагрівання холодних потоків. Це може бути важливою частиною процесів нафтопереробки, де потрібно підтримувати певну температуру або охолоджувати продукти для подальшої обробки.

Конденсація і випаровування. Теплообмінні процеси використовуються для конденсації парових компонентів і випаровування рідких компонентів. Наприклад, в ректифікаційних колонах теплообмін допомагає випаровувати рідину для виділення чистих газових компонентів.

Теплообмін в процесах крекінгу і риформінгу. У важливих процесах каталітичного крекінгу та реформінгу теплообмін допомагає керувати температурою та швидкістю реакцій, які спрямовані на перетворення вуглеводнів на більш цінні продукти.

Теплообмін при видаленні сірки. Видалення сірки з нафти вимагає спеціалізованих теплообмінників для розділення і виділення сірковмісту.

Підвищення теплової ефективності. Використання теплообмінників допомагає підвищити теплову ефективність процесів, зменшити витрати енергії та покращити роботу обладнання.

Загалом, теплообмінні процеси є необхідною складовою частиною процесів нафтопереробки, які допомагають досягти певних температурних, якісних та ефективних характеристик продуктів. Вони покращують якість та результативність виробничих процесів і допомагають підвищити продуктивність та зменшити витрати виробництва.

Кожухотрубні теплообмінники займають окрему нішу серед інших різновидів теплообмінного обладнання. Вони можуть мати різні конфігурації та дизайни в залежності від конкретних завдань і умов експлуатації. Їх широко використовують у різних галузях промисловості, включаючи хімічну промисловість, нафтопереробку, енергетику та інші галузі, де важливим є ефективний теплообмін.

Кожухотрубні теплообмінники складаються з таких елементів:

1. **Труби.** Труби є основними теплообмінними поверхнями, де відбувається передача тепла від одного середовища до іншого. Вони можуть мати різні форми та розміри, залежно від конкретних вимог та задач теплообміну.
2. **Трубні решітки.** Труби зазвичай закріплені в спеціальних решітках, які допомагають їх підтримувати та розташовувати в апараті. Це важливо для забезпечення правильного розподілу тепла та рідини між трубами.

3. **Кожухи.** Кожухи є зовнішніми оболонками теплообмінника і оточують труби. Вони зазвичай мають вхідні та вихідні отвори для подачі та відведення робочих середовищ.
4. **Кришки.** Кришки розташовані на кінцях кожуха і допомагають утримувати труби на місці. Вони можуть бути зняті для обслуговування та очищення труб.
5. **Камери.** Камери або корпуси використовуються для утримання теплообмінника як єдиного функціонального об’єкта. Вони також можуть містити ізольований простір, який допомагає зберігати тепло та захищати пристрій від зовнішніх факторів.
6. **Патрубки.** Патрубки призначені для подачі і відведення робочих середовищ до і від теплообмінника. Вони можуть бути під’єднані до кожуха та труб для забезпечення потоку рідини або газу.
7. **Опори.** Опори використовуються для утримання теплообмінника в певному положенні і забезпечення стійкості пристрою.

На рис. 1.1 наведені схеми найбільш поширених типів кожухотрубних теплообмінників.

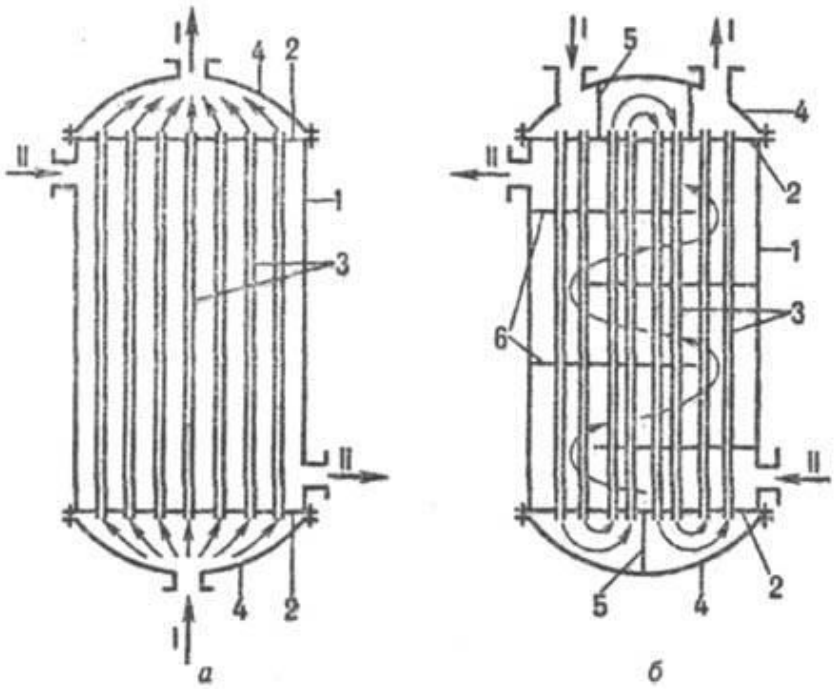

Рисунок 1.1 – Одноходовий (*а*) і багатоходовий (*б*) кожухотрубні теплообмінники:
1 – кожух; 2 – трубні решітки; 3 – теплообмінні труби;
4 – кришки (розподільні камери); 5, 6 – перегородки

Збільшення інтенсивності теплообміну в кожухотрубних теплообмінниках шляхом збільшення швидкості теплоносіїв та встановленням поперечних перегородок в міжтрубному просторі є важливими методами оптимізації теплообміну. Працює це наступним чином.

1. Збільшення швидкості теплоносія в трубках допомагає підвищити інтенсивність теплообміну. Вища швидкість сприяє кращому перемішуванню теплоносіїв і покращує теплообмін між стінками трубок та кожухом.
2. Установка поперечних перегородок в міжтрубному просторі розділяє його на декілька ходів для теплоносія. Це збільшує контактну площу між теплоносіями та теплообмінними поверхнями, покращує перемішування теплоносіїв і сприяє більш ефективному теплообміну.
3. Розділення кожухотрубних теплообмінників на декілька сегментів дозволяє кожному сегменту працювати при вищій швидкості теплоносія, що підвищує загальну інтенсивність теплообміну.
4. Збільшення швидкості теплоносія до рівня, де він переходить у турбулентний режим, допомагає поліпшити теплообмін, оскільки в турбулентному потоці теплоносіїв створюються вихори і перемішування, що сприяє кращому теплообміну.

Кожухи зазвичай виготовляються зі сталевих листів. Вибір матеріалу залежить від хімічної стійкості до робочого середовища і тиску. Кожух може бути приєднаний до трубної дошки і кришок різними способами, такими як зварювання, фланцеве з’єднання тощо. Товщина стінки кожуха визначається робочим тиском і діаметром кожуха. Важливо, щоб вона була належною для забезпечення безпеки та надійності. Кожухи можуть бути обладнані фланцями на краях для з’єднання з кришками або днищами теплообмінника. Опори прикріплюються до зовнішньої поверхні кожуха для підтримки та стійкості пристрою.

Зазвичай, кожух має циліндричну форму, що допомагає забезпечити рівномірний розподіл теплоносія та покращити теплообмін. Важливо враховувати ці параметри при проектуванні та виготовленні кожухотрубних теплообмінників, оскільки правильний вибір матеріалу та конструкції допомагає забезпечити безпеку, надійність та ефективність пристрою у різних промисловостях.

Використання сталевих безшовних трубок у кожухотрубних теплообмінниках є стандартним і популярним підходом завдяки їхнім технічним перевагам.

Трубки можуть бути прямими або вигнутими (з U-подібною або W-подібною формою) і мати діаметри в діапазоні від 12 до 57 мм. Вибір конкретного діаметра трубок залежить від потреби в теплообміні та інших параметрів технічного завдання. Сталеві безшовні труби є популярним вибором завдяки своїй міцності, корозійній стійкості та високій теплопровідності. Вони можуть бути виготовлені з різних видів сталі в залежності від середовища і умов теплообміну.

Кількість і розташування трубок в кожухотрубному теплообміннику впливає на поверхню теплообміну і інтенсивність теплообміну. Різні конфігурації трубок можуть бути використані для оптимізації теплообміну під конкретні завдання.

Використання перегородок у міжтрубному просторі кожухотрубних теплообмінників є важливим методом для оптимізації теплообміну та підвищення ефективності цих пристроїв у різних промислових застосуваннях:

1. Збільшення швидкості теплоносія. Встановлення перегородок створює декілька ходів для теплоносія в міжтрубному просторі. Це призводить до збільшення швидкості теплоносія, оскільки він повинен пройти через більше каналів або пройти більший відстань між перегородками. Збільшення швидкості сприяє поліпшенню теплообміну, оскільки воно підвищує турбулентність теплоносія і забезпечує кращий контакт з теплообмінними поверхнями.
2. Поліпшення ефективності теплообміну. Збільшена швидкість теплоносія і кращий контакт з теплообмінними поверхнями призводять до покращення ефективності теплообміну. У результаті цього тепло передається більш ефективно між трубами та кожухом, що дозволяє досягти більшого теплопередачі при рівних витратах теплоносія.
3. Зменшення втрат тепла. Збільшення інтенсивності теплообміну завдяки перегородкам допомагає зменшити втрати тепла і підвищити теплопередачу в кожухотрубному теплообміннику.
4. Підвищення загальної продуктивності. За рівних витрат теплоносія встановлення перегородок сприяє підвищенню загальної продуктивності теплообмінника, що робить його більш ефективним у процесах теплообміну.

Обґрунтування новизни проектної розробки

Основним завданням проектованого випарника є часткове випаровування кубового залишку етанової колони та генерація парового зрошення. У нашому випадку випарник буде вмонтований безпосередньо в саму колону за допомогою фланцевих з'єднань (див. рис. 1.2).

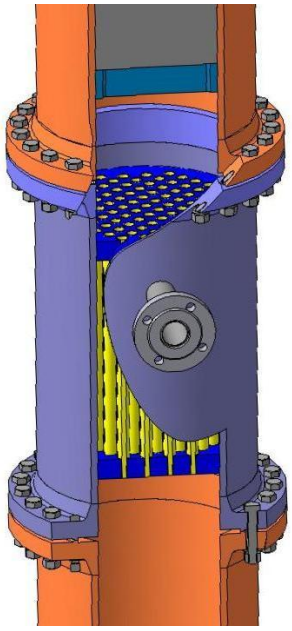

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд випарника колони

Модернізація кожухотрубного теплообмінника шляхом вбудування його в кубову частину ректифікаційної колони є обґрунтованим кроком з кількох важливих причин:

1. Ефективність теплообміну. Вбудування теплообмінника в ректифікаційну колону дозволяє збільшити ефективність процесу теплообміну. Такий розміщений теплообмінник дозволяє максимально використовувати тепло, що виділяється в колоні під час ректифікації, для нагріву сировини. Це може призвести до підвищення продуктивності і зменшення енерговитрат.

2. Збільшення компактності. Вбудований теплообмінник зменшує простір, який займає теплообмінне обладнання, і дозволяє ефективніше використовувати обмежену площу, особливо у випадку міні-НПЗ з обмеженими ресурсами.

3. Зниження витрат ресурсів. Коли теплообмінник вбудований в колону, зменшується довжина труб, яку тепло потребує для переміщення. Це призводить до зниження енергозатратних елементів системи.

4. Мінімізація втрат тепла. Вбудований теплообмінник, зазвичай, дозволяє знизити втрати тепла, оскільки теплообмін відбувається ближче до джерела тепла (безпосередньо в самій ректифікаційній колоні). Це допомагає підвищити тепловіддачу і зменшити енергетичні витрати.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Технологічна схема установки для переробки нестабільної вуглеводневої сировини може включати різні процеси та обладнання в залежності від складу сировини та виробничих потреб. На рис. 2.1 наведена загальна схема, яка може бути використана для такого виду переробки.

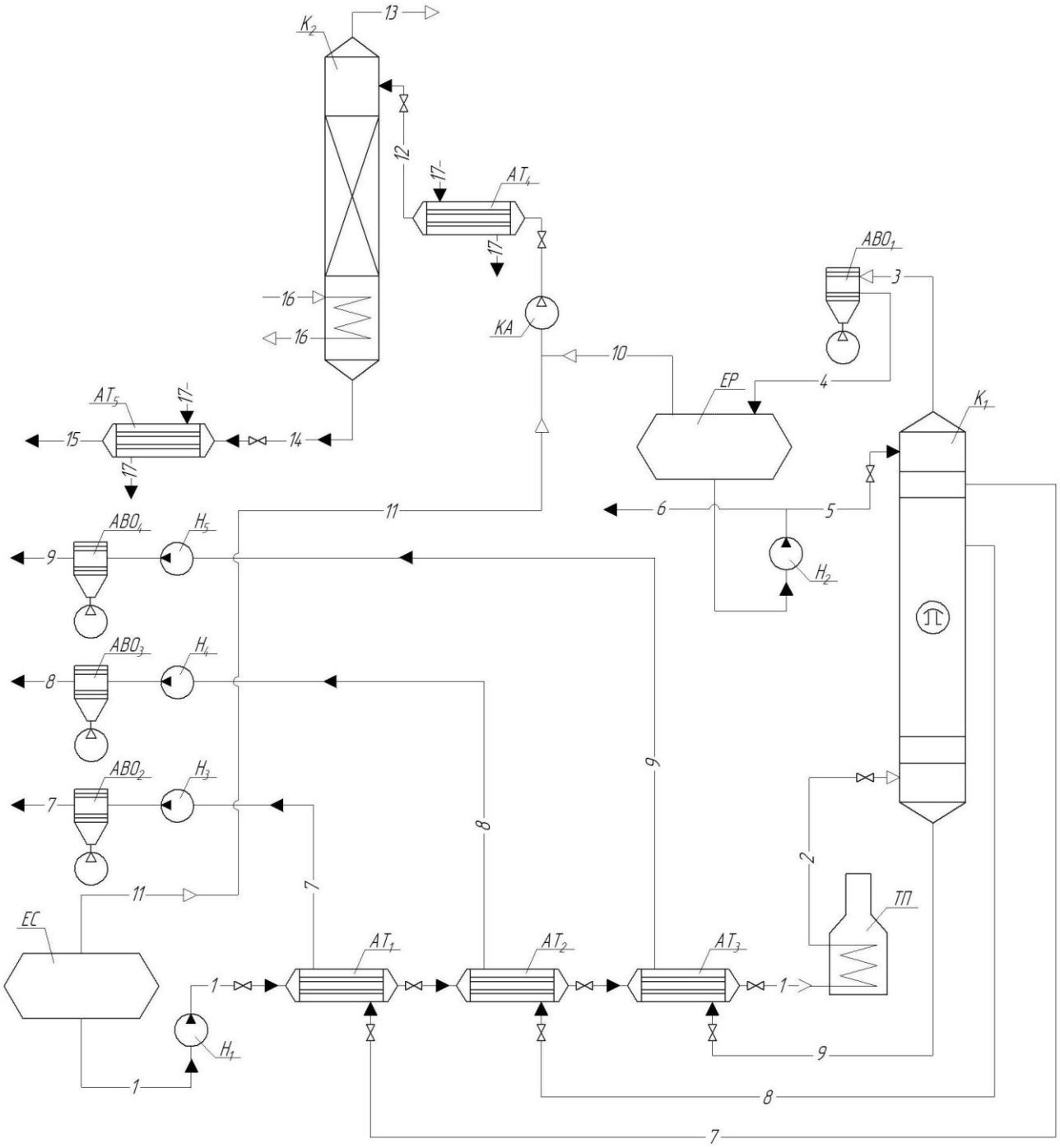

Рисунок 2.1 – Технологічна схема установки переробки нестабільної нафти

У технологічному процесі, як вже було згадано, використовується нестабільна нафта, яка подається до сировинної ємності. Далі, за допомогою насоса, нафта послідовно проходить через блок теплообмінних апаратів. Важливо відзначити, що підігрів нестабільної нафти відбувається завдяки використанню тепла, що виділяється зустрічними потоками нафтопродуктів. Іншими словами, цей процес теплообміну ґрунтується на принципі рекуперації.

Після попереднього нагріву, нафта вводиться в трубчасту піч, де вона нагрівається до температури, необхідної для початку процесу кипіння. У цьому стані нафта подається під нижню тарілку атмосферної ректифікаційної колони. Відповідно до висоти колони, парова фаза вуглеводнів рухається від низу до верху. У верхній частині колони вводиться флегмове зрошення. У цій колоні в якості контактних пристроїв використовуються ковпачкові тарілки. Проходячи вгору по колоні, парогазова суміш контактує на цих тарілках із рідиною вуглеводнів.

Цей контакт викликає масообмінний процес, в результаті якого пара конденсується в рідину, і труднолетючі компоненти (ТЛК) переходять у рідину. Процес конденсації супроводжується великим виділенням тепла, яке використовується для випарювання легколетючих компонентів (ЛЛК) з рідких вуглеводнів у суміші.

В процесі обробки нестабільної нафти отримують різні фракції, причому найлегше відділяється вуглеводневий газ, який має в собі дуже цінні компоненти, такі як пропан і бутан. Ця фракція, яка надходить з верхнього штуцера колони $К_1$, подається до апарату повітряного охолодження. В цьому апараті пари вуглеводневого газу конденсуються. Частина утвореного конденсату повертається назад в колону у вигляді флегми, щоб використовувати її для зрошення колони.

Важливо відзначити, що вуглеводневий газ містить цінні компоненти, які можуть бути використані для подальшої переробки або комерційної реалізації, і тому процес конденсації є важливою частиною технологічного процесу переробки нестабільної нафти.

Для виділення пропано-бутанової фракції з газової суміші потрібно створити певні умови. Спочатку газовий потік піддається стисненню до тиску 3 МПа за допомогою компресорного агрегату. Після цього він охолоджується в холодиль-

нику і потім направляється в етанову ректифікаційну колону. Ця етанова колона є насадковою ректифікаційною колоною, де завдяки протитечійній взаємодії парової і рідкої фаз відбувається розділення газової суміші.

З верхнього виходу колони відокремлюється метано-етанова фракція, а з нижньої частини колони виділяється зріджений пропан-бутан. Після цього зріджена фракція пропану і бутану піддається додатковому охолодженню в холодильнику і потім направляється до кінцевого споживача.

У ректифікаційній колоні бічними погонами, що розташовані по різних висотах, відводяться цільові фракції атмосферної перегнки. Першою такою фракцією є та, яка має температуру в діапазоні 150–200°C. Ця фракція найспершу направляється в міжтрубний простір теплообмінника, де вона використовується для підігріву початкової сировини. Після цього вона проходить додатковий охолоджуючий процес в апараті повітряного охолодження. Після цього ця фракція вважається готовою продукцією і відводиться до товарного парку для подальшого використання. Другий бічний погін – фракція з температурою в діапазоні 200–350°C, також проходить дві стадії охолодження і направляється в товарний парк для подальшого використання.

Кубовий залишок колони представлений мазутом. Він відводиться через нижній вихід і направляється в міжтрубний простір теплообмінника. Тут, нагріваючи зустрічний потік нафти, мазут охолоджується до необхідної температури і також відводиться в товарний парк для подальшого використання.

2.2 Теоретичні основи процесу [5–8]

Процеси теплообміну є ключовим явищем в теплотехніці та інженерії. Вони полягають в передачі тепла від одного середовища до іншого, де температура відмінна. Теплообмін керується законами термодинаміки, зокрема першим і другим законами. Перший закон термодинаміки стверджує, що тепло не може бути втрачено або створено, але може бути перетворено в інші форми енергії. Другий закон визначає можливість передачі тепла від гарячого до холодного середовища.

Різні матеріали мають різну здатність передавати тепло. Провідність тепла визначає, наскільки ефективно тепло може передаватися через матеріал. Метали, такі як алюміній і мідь, мають високу провідність тепла, тоді як ізоляційні матеріали, такі як скло або пластик, мають низьку провідність тепла.

Коефіцієнт теплообміну – це важливий параметр, який визначає швидкість теплообміну між двома середовищами. Він залежить від багатьох факторів, включаючи температурну різницю, площу контакту і теплофізичні властивості матеріалів.

Режими теплообміну: теплообмін може відбуватися у різних режимах, таких як провідність, конвекція і випромінювання. Кожен із цих режимів має свої характеристики і використовується в різних ситуаціях:

- *провідність:* цей режим теплообміну відбувається через тверді матеріали, які мають добру теплопровідність. Тепло передається від більш гарячої області до менш гарячої через внутрішню структуру матеріалу. Провідність є домінуючим режимом теплообміну у твердих тілах.
- *конвекція:* у цьому режимі тепло передається через рух рідини або газу. Коли рідина або газ нагріваються, вони стають менш щільними і піднімаються вгору, а на їхнє місце спускається холодний матеріал. Цей процес створює конвекційні потоки, які сприяють теплообміну.
- *випромінювання:* випромінювання відбувається через випромінювання теплових хвиль або фотонів. Цей режим теплообміну може відбуватися навіть у вакуумі, оскільки не потребує присутності матеріалу для передачі тепла.

Рух рідини або газу через теплообмінник може бути ламінарним або турбулентним. Це важливо для визначення ефективності теплообміну, оскільки турбулентні потоки можуть бути більш ефективними у передачі тепла.

Теоретичні основи теплообміну важливі для розробки та оптимізації теплообмінних систем, включаючи теплообмінники, конденсатори, випарники і інші пристрої, які використовуються для передачі тепла.

Вибір теплообмінника зазвичай залежить від специфікацій конкретного завдання, включаючи кількість тепла, яке потрібно передати, доступну площу для розташування теплообмінника і температурний діапазон. Площа поверхні теплопередачі може бути розрахована за формулою:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}}, \tag{2.1}$$

де Q – тепловий потік в апараті, Вт;

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

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

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \tag{2.2}$$

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

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

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

Середня різниця температур при прямотоці або протитоці теплоносіїв дорівнює:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_Б - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_Б}{\Delta t_M}}, \tag{2.3}$$

де $\Delta t_Б$ і Δt_M – різниці температур (великої й малої) теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

Середню температуру теплоносія для визначення його теплофізичних властивостей можна знайти двома способами: арифметичним та логарифмічним.

За арифметичним способом середня температура обчислюється, взявши простий середній арифметичний обчислений з величини температури на вході і виході теплообмінника. Тобто для теплоносіїв, температури яких змінюються від початкової t_1 до кінцевої t_2 і $t_2/t_1 < 2$, приймають середньоарифметичну температуру $t_{CP} = (t_1 + t_2)/2$.

Логарифмічний спосіб є більш точний і використовується для обчислення середньої температури, коли температура теплоносія змінюється нерівномірно протягом процесу. Середня температура обчислюється за допомогою логарифмічних різниць між температурою на вході та виході теплообмінника. Тобто, для теплоносія, у якого $t_2/t_1 > 2$ середню температуру розраховують за формулою:

$$t_{CP} = \theta_{CP} \pm \Delta t_{CP}. \tag{2.4}$$

Нижче наведено основні критерії подібності, які використовуються у розрахунках конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв.

Критерій Нуссельта (*Nu*) є важливим параметром, що характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою теплообмінника. Він допомагає визначити інтенсивність теплопередачі в процесі теплообміну і враховує режими конвекції (переносу тепла через рух теплоносія) та кондукції (передачі тепла через тверде тіло):

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}. \tag{2.5}$$

Критерій Рейнольдса (*Re*) характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія в теплообміннику. Він враховує відношення між інерційною силою і в’язкісною силою в течії теплоносія і визначає, чи переважає ламінарний (плавний) чи турбулентний (хаотичний) режим руху теплоносія.

Критерій Рейнольдса визначається наступною формулою:

$$\mathrm{Re} = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}. \tag{2.6}$$

Критерій Прандтля (*Pr*) характеризує теплофізичні властивості теплоносія в процесі теплообміну. Він визначає співвідношення між в'язкістю та теплопровідністю рідини і вплив температурних змін на її теплові характеристики.

Критерій Прандтля визначається наступною формулою:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}. \tag{2.7}$$

Значення критерію Прандтля вказує на те, які теплофізичні властивості має теплоносійна рідина. Наприклад, для рідин з великим *Pr*, теплообмін відбувається повільно, оскільки в'язкість переважає над теплопровідністю, тоді як для рідин з малим *Pr*, теплообмін є більш ефективним, оскільки теплопровідність переважає над в'язкістю.

Критерій Грасгофа (*Gr*) є важливим параметром, що характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції. Він визначає вплив відношення густини інерції до в'язкості теплоносія на процес конвекції:

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}. \tag{2.8}$$

Значення критерію Грасгофа вказує на те, як вплив гравітації впливає на конвекційний рух теплоносія. При великих значеннях *Gr*, теплоносій проявляє інтенсивну конвекцію, в той час як при малих значеннях *Gr* конвекційні ефекти менш виразні.

У рівняннях (2.5)–(2.8) наступні позначення: α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К); λ – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К); μ – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с; c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К); ρ – густина теплоносія, кг/м^3; β – коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, 1/К; w – швидкість теплоносія, м/с; l – визначальний геометричний розмір, м; g – прискорення сили тяжіння, м/с^2; $\Delta\theta$ – частковий температурний напір (різниця між температурою гарячого теплоносія і температурою стінки або між температурою стінки і температурою холодного теплоносія), К.

2.3 Опис конструкції проектованого апарата

Об’єктом розробки є випарник етанової колони $К_2$ (див. рис. 2.1). У зв’язку з компактними розмірами ректифікаційної колони, випарник може бути легко встановлений безпосередньо в кубовій (або кубоподібній) частині колони. Це означає, що випарник з’єднується з колоною за допомогою спеціальних фланців або фіксуючих пристроїв, що забезпечують надійне та герметичне з’єднання між ними.

Такий спосіб монтажу випарника безпосередньо в колону дозволяє ефективно генерувати парове живлення для процесу ректифікації, при цьому забезпечуючи компактну конструкцію та оптимізацію внутрішнього простору колони.

Через трубчастий простір теплообмінника переміщується вуглеводнева сировина продуктивністю 1160 кілограмів на годину, тоді як через міжтрубний простір рухається насичена водяна пара, яка циркулює під абсолютним тиском 0,2 МПа. Кожухотрубний випарник, як видно з рис. 2.2, складається з кожуху, трубної решітки, фланців і трубного пучка. Принцип його роботи нічим не відрізняється від класичного одноходового кожухотрубного теплообмінника.

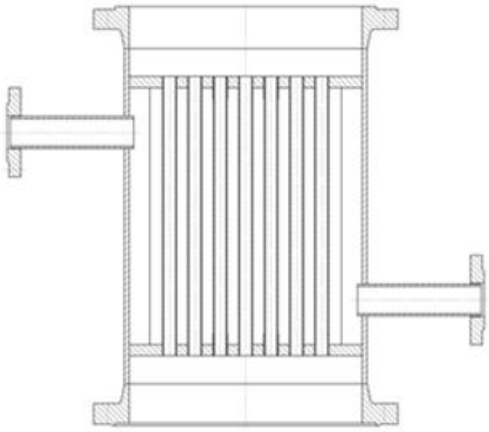

Рисунок 2.2 – Схема одноходового випарника етанової ректифікаційної колони

Кубовий залишок етанової колони складається, насамперед, із рідкого пропану та бутану, які становлять основну частину цієї вуглеводневої суміші. Проте, в незначній кількості у цьому залишку також містяться й інші вуглеводневі сполуки.

Пропан – це один із найпоширеніших газових вуглеводнів, який належить до класу алканів (граничних вуглеводнів). Молекула пропану складається з трьох атомів вуглецю і восьми атомів водню. Його хімічна формула – C_3H_8. При кімнатній температурі і нормальному атмосферному тиску пропан являє собою газ. Однак, під високим тиском і при низьких температурах він може переходити в рідкий стан і використовується як рідкий пальний газ (LPG). Пропан кипить при -42 градусах Цельсія, коли знаходиться під нормальним атмосферним тиском.

Загалом, пропан – це висококалорійне пальне, яке використовується для опалення, кухонних плит, автономних систем та великої кількості промислових процесів. Зберігається та транспортується у стисненому газовому або рідкому стані для забезпечення безпечності та зручності використання. Пропан має дуже високий вміст енергії, низьку токсичність і низький рівень забруднення при згоранні, що робить його екологічно чистим паливом.

Бутан – це інший вид алканів. Молекула бутану складається з чотирьох атомів вуглецю і десяти атомів водню. Його хімічна формула – C_4H_{10}. При кімнатній температурі і нормальному атмосферному тиску бутан також являє собою газ. Однак, при підвищеному тиску або при низьких температурах, бутан може приймати рідку або тверду форми. Бутан кипить при приблизно при -1 градусі Цельсія, коли знаходиться під нормальним атмосферним тиском.

Бутан може використовуватися як альтернативне паливо для автомобілів з відповідними передбаченнями. Подібно до пропану, має високий калораж, низьку токсичність і мале забруднення навколишнього середовища при згоранні. Також може використовуватися в медицині для забезпечення загальної анестезії та в інших процедурах. Бутан зазвичай зберігається та транспортується у стисненому газовому або рідкому стані для безпечності і зручності використання.

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата [6, 10]

Вихідні дані до розрахунку: витрата кубового залишку етанової колони становить 1160 кг/год. Компонентний склад кубового залишку (мас. частки): CH_4 = 0,011; C_2H_6 = 0,043; C_3H_8 = 0,276; і-C_4H_{10} = 0,139; н-C_4H_{10} = 0,268; і-C_5H_{12} = 0,146; н-C_5H_{12} = 0,100; C_6H_{14} = 0,017. Обігрів здійснюється насиченою водяною парою під тиском 0,2 МПа.

Середня молекулярна маса кубового залишку:

$$M = \sum M_i \cdot X_{w_i}, \text{ кг/кмоль} \qquad (2.9)$$

де M_i – молярна маса відповідного компоненту;

X_{w_i} – вміст відповідного компоненту в кубовому залишку етанової колони, мольн. частки.

$$M = 52,42 \text{ кг/кмоль.}$$

Ентальпія потоку становить:

$$q = q_P \cdot M \text{ , кДж/кмоль} \qquad (2.10)$$

де q_P – ентальпія нафтових рідин, кДж/кг [10].

$$q = 383 \cdot 52,42 = 20077 \text{ кДж/кмоль}$$

Якщо припустити, що молярна витрата парів не змінюється по висоті відгінної частини колони, то теплове навантаження (в кДж/год.) випарника визначаємо за рівнянням [6]:

$$Q_w = G_d \cdot (H_w - h_w), \qquad (2.11)$$

де H_w – ентальпія кубових парів при температурі $t_w = 90^\circ C$ і тиску $P_w = 3,62 МПа$, кДж/кмоль;

h_w – ентальпія кубової рідини при температурі $t_w = 90^\circ C$, кДж/кмоль.

Числові значення ентальпій визначаємо за графіком [6].

Тоді:

$$Q_w = 5,67 \cdot (31700 - 12100) = 111132 \frac{кДж}{год.} = 30,87 \, кВт .$$

Параметри гріючої водяної пари при абсолютному тиску р = 0,2 МПа: температура $t_{2П}$ = 120°С; питома теплота конденсації r = 2200 кДж/кг [10].

На підставі даних промислової експлуатації і з метою забезпечення достатнього температурного напору при передачі від водяної пари до кубового залишку приймемо [10]: кінцева температура водяної пари $t_{2К}$ = 105°С; кінцева температура парів кубового залишку $t_{1К}$ = 102°С.

Витрата пари:

$$G_{П} = \frac{Q_w}{r \cdot \eta_T}, \text{ кг/год.} \tag{2.12}$$

де η_T – коефіцієнт утримання тепла; приймаэмо η_T = 0,95 [10].

$$G_{П} = \frac{111132}{2200 \cdot 0,95} = 53,2 \, кг / год.$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{СР} = \frac{\Delta t_{Б} - \Delta t_{М}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{Б}}{\Delta t_{М}}\right)}, \text{ °С} \tag{2.13}$$

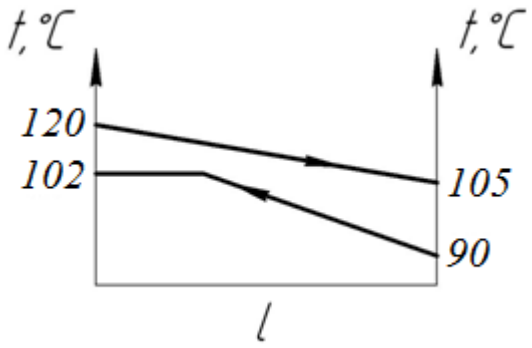

Рисунок 2.3 – Температурна схема процесу

– більша різниця температур дорівнює $\Delta t_{Б}$ =120 – 102 = 18°С;

– менша різниця температур дорівнює Δt_M =105 – 90 = 15°С.

$$\Delta t_{CP} = \frac{18-15}{\ln\left(\frac{18}{15}\right)} = 16,7°\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку вуглеводневої сировини [10]:

$$\alpha_2 = 7,77 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{\rho_П \cdot r}{\rho_P - \rho_П}\right)^{0,033} \cdot \left(\frac{\rho_P}{\sigma}\right)^{0,33} \cdot \frac{\lambda_P^{0,75}}{\mu_P^{0,45} \cdot c_P^{0,12} \cdot T_S^{0,37}} \cdot q^{0,75}, \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \qquad (2.14)$$

де $\rho_П$, $\rho_Р$ –густини парової і рідкої фаз відповідно, кг/м^3;

r – теплота пароутворення, r = q = 483·10^3 Дж/кг;

σ – поверхневий натяг на межі розділення між рідиною і парою, Н/м;

$\lambda_Р$ – теплопровідність рідини, Вт/(м·К);

$\mu_Р$ – коефіцієнт динамічної в’язкості рідини, Па·с;

$c_Р$ – теплоємність рідини, $c_Р$ = 1600 Дж/(кг·К) [6];

T_S – температура кипіння кубового залишку, К;

q – теплонапруження поверхні нагрівання, Вт/м^2.

Усі теплофізичні параметри визначалися при кінцевій температурі вуглеводневої сировини T_S = 375 К.

Густина парової фази визначається за рівнянням Менделєєва-Клайперона:

$$\rho_П = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_S} \cdot \frac{p}{p_0}, \text{ кг/м}^3 \qquad (2.15)$$

де ρ_0 – густина пари за нормальних умов, кг/м^3.

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4} = \frac{52,42}{22,4} = 2,34 \ \frac{кг}{м^3};$$

$$\rho_{П} = 2,34 \cdot \frac{273}{375} \cdot \frac{3,62}{0,1} = 61,7 \ \frac{кг}{м^3}.$$

Поверхневий натяг на межі пара – рідина [6]:

$$\sigma = \frac{21,2 \cdot 10^{-6}}{\left(\frac{M}{\rho_P}\right)^{\frac{2}{3}}} \cdot \left(T_{КР} - T_S - \delta\right), \ \frac{Н}{м} \qquad (2.16)$$

де М – мольна маса кубового залишку, М = 52,42 кг/кмоль;

$\rho_Р$ – густина кубового залишку при температурі $Т_S$= 375 К; $\rho_Р$ = 470 кг/м^3.

$Т_{КР}$ – псевдокритична температура залишку, К;

δ – постійна, δ = 7 К [6].

Псевдокритична температура кубового залишку дорівнює:

$$T_{КР} = \sum T_{КРi} \cdot X_{w_i}, \text{ К} \qquad (2.17)$$

$$T_{КР} = \sum T_{КРi} \cdot X_{w_i},$$

де $T_{КРi}$ – критичні температури компонентів [10].

$$T_{КР} = 419 \ К;$$

$$\sigma = \frac{21,2 \cdot 10^{-6}}{\left(\frac{52,42}{470}\right)^{\frac{2}{3}}} \cdot \left(419 - 375 - 7\right) = 3,4 \cdot 10^{-3} \ \frac{Н}{м}.$$

Коефіцієнт динамічної в’язкості суміші за [6] $\mu_Р = 0,1 \cdot 10^{-3} \ Па \cdot с$.

$$\alpha_2 = 7,77 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{61,7 \cdot 483 \cdot 10^3}{470 - 61,7} \right)^{0,033} \cdot \left(\frac{470}{3,4 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,33} \cdot \frac{\left(0,95 \cdot 10^{-2}\right)^{0,75}}{\left(0,1 \cdot 10^{-3}\right)^{0,45} \cdot 1600^{0,12} \cdot 375^{0,37}} \cdot q^{0,75};$$

$$\alpha_2 = 0,518 \cdot q^{0,75}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку водяної пари:

$$\alpha_1 = 1,36 \cdot A \cdot q^{0,5} \cdot l^{0,35} \cdot d_B^{-0,25}, \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \qquad (2.18)$$

де $A = 8$ – коефіцієнт, що залежить від середньої температури конденсату;

l – довжина труби, $l = 0,5$ м;

d_B – внутрішній діаметр труби; $d_B = 0,025 - 2 \cdot 2 = 0,021$ м.

$$\alpha_1 = 1,36 \cdot 8 \cdot q^{0,5} \cdot 0,5^{0,35} \cdot 0,021^{-0,25};$$

$$\alpha_1 = 22,42 \cdot q^{0,5}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \qquad (2.19)$$

де δ_{CT} – товщина стінки труби; $\delta_{CT} = 0,002$ м;

λ_{CT} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки труби; $\lambda_{CT} = 46,5$ Вт/(м·К);

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + 4,3 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot$$

Теплонапруга q = 18700 Вт/м^2 [6].

$$\alpha_1 = 22,42 \cdot 18700^{0,5} = 3065 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

$$\alpha_2 = 0,518 \cdot 18700^{0,75} = 828 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{3065} + 4,3 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{828}} = 634 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \cdot$$

Розрахований коефіцієнт теплопередачі потрапляє в необхідний діапазон [6], а отже розрахунок зроблений правильно.

Розрахункову поверхню теплообміну знаходимо за рівнянням (2.1):

$$F_P = \frac{30,87 \cdot 10^3}{634 \cdot 16,7} = 2,92 \text{ м}^2$$

Вбудований випарник має наступні характеристики: діаметр кожуха 400 мм; довжина труб 500 мм; кількість труб 89 шт.; діаметр труб 25×2 мм; кут розбивки 90°; шаг 32 мм; поверхня теплообміну 3,5 м^2.

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні апарату складе:

$$\beta = \frac{F - F_P}{F} \cdot 100 \%; \qquad (2.20)$$

$$\beta = \frac{3,5 - 2,92}{3,5} \cdot 100 \% = 16,5 \% .$$

Діаметри штуцерів для підведення та відведення гріючої водяної пари визначаємо за формулою [10]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{П}}{\pi \cdot \rho \cdot w}}, \tag{2.21}$$

де $G_{П}$ – масова витрата гріючої водяної пари, кг/с;

ρ – густина водяної пари, кг/м^3;

w – швидкість середовища (водяна пара), м/с; рекомендован швидкість руху газових теплоносіїв за [10] становить 5–25 м/с.

Отже, діаметр патрубку для підведення та відведення гріючої водяної пари дорівнює:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 53,2 / 3600}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 5}} = 0,033 \ м$$

Приймаємо стандартизовані патрубки з умовним діаметром $D_у$=50 мм.

2.5 Гідравлічні розрахунки [11]

Під час розрахунку гідравлічного опору кожухотрубного теплообмінника ми визначаємо кількість енергії, яка необхідна для переміщення теплоносіїв через цей апарат. Основною метою такого розрахунку є розуміння наскільки ефективно теплоносії проходять через теплообмінник і як цей процес може вплинути на загальну продуктивність системи. Важливо відзначити, що в даному випадку ми не розглядаємо гідравлічний опір в міжтрубному просторі, оскільки швидкість руху вуглеводневої суміші є досить низькою, і гідравлічний опір в цьому випадку залишається невеликим.

Повний напір, який необхідно створити для руху середовищ через теплообмінник, визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \Sigma\Delta P_{ТР} + \Sigma\Delta P_{М} + \Sigma\Delta P_{У} + \Sigma\Delta P_{Г}, \quad (2.22)$$

де $\Sigma\Delta P_{ТР}$ – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma\Delta P_{М}$ – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma\Delta P_{У}$ – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma\Delta P_{Г}$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Рівняння (2.22) враховує різницю тиску, геодезичну різницю (зумовлену різницею висоти між точками) та кінетичну енергію руху середовища. Напір визначає, наскільки великим має бути тиск або інші фактори для переміщення середовища через теплообмінник.

Гідравлічні втрати на тертя в каналах при омиванні пучка труб теплообмінного апарату визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{l}{d_E} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.23)$$

де $\lambda_{ТР}$ – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{\mathrm{Re}} \right)^{0{,}25}, \quad (2.24)$$

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

Знаходимо критерій Рейнольдса:

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

$$\mathrm{Re} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}021 \cdot 470}{0{,}09 \cdot 10^{-3}} = 54833;$$

$$\lambda_{TP} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{0{,}1}{0{,}021} + \frac{68}{54833} \right)^{0{,}25} = 0{,}163;$$

$$\Delta P_{TP} = 0{,}163 \cdot \frac{0{,}5}{0{,}021} \cdot \frac{0{,}5^2 \cdot 470}{2} = 228 \ \ Па.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \qquad (2.26)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору; його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi=\xi_1+\xi_2$ (вхід у труби $\xi_1=0{,}5$ і вихід із них $\xi_2=1$ [11]).

$$\xi = 0{,}5+1=1{,}5;$$

$$\Delta P_{TP} = 1{,}5 \cdot \frac{0{,}5^2 \cdot 470}{2} = 88 \ \ Па.$$

Оскільки для крапельних рідин втрати тиску $\Delta P_У$ мізерно малі, то вони в розрахунок не приймаються ($\Delta P_У=0$). Перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини також дорівнює нулю ($\Delta P_Г=0$).

Повний напір складе:

$$\Delta P = 228 + 88 = 316 \text{ Па}.$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір компресорного агрегату КА. Відповідно до технологічної схеми (рис. 2.1) використовується один компресорний агрегат. Тобто, для розрахунку компресора необхідно визначити величину об’ємної витрати вуглеводнів Q (л/хв):

$$Q = \frac{g_f}{\rho_Г}; \tag{2.27}$$

$$Q = \frac{1300}{35} = 37 \text{ м}^3/\text{год.} = 620 \text{ л/хв.}$$

Часто на практиці виникає неправильне розуміння терміна «продуктивність компресора». В каталогах багатьох виробників компресорів ця величина вказує на максимальний об'єм повітря, який компресор споживає на вході. Однак важливо враховувати, що ця величина не відображає ефективність компресора, його коефіцієнт корисної дії (ККД) та конструктивні особливості.

Отже, замість використання максимальної споживаної на вході повітря у розрахунках, важливо брати до уваги реальну продуктивність компресора на виході, яка враховує ККД та конструкційні параметри апарату. Ця величина вказує на той об'єм стисненого повітря, який компресор може надати для використання у конкретному процесі, і є більш інформативною для розрахунків та планування виробництва.

Продуктивність компресора А (л/хв) визначаємо за рівнянням [12]:

$$A = Q \cdot \frac{\beta}{\eta}, \tag{2.28}$$

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

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора.

Довідкові значення β і η для роботи в діапазоні заданого робочого тиску в пневмосистемі наведені у [12].

За таблицею [12] вибираємо професійний компресор, для якого продуктивність складе:

$$A = 620 \cdot \frac{1,5}{0,65} = 1430 \text{ л/хв.}$$

На промислових установках знаходять застосування поршневі (прямоточні і непрямоточні), ротаційні та гвинтові компресорні агрегати.

Таблиця 2.1 – Значення β і η у залежності від конструкції компресора

Конструкція компресора	$\boldsymbol{\beta}$	$\boldsymbol{\eta}$
Напівпрофесійні	1,7	0,55
Професійні	1,5	0,65
ВК і HEAVY DUTY (особливо навантажені)	1,3	0,75
Роторні	1	1

Традиційні поршневі компресори мають декілька переваг, які зробили їх популярними в різних сферах. Вони мають мало рухомих частин і відносно просту конструкцію, що робить їх легкими в обслуговуванні і ремонті. Поршневі компресори довгий час славляться своєю надійністю та стійкістю. Вони здатні працювати у важких умовах без значних поломок. Щоб забезпечити їхню нормальну роботу, важливо лише дотримуватися інструкцій виробника, забезпечуючи своєчасну заміну масла і слив конденсату, а також виконувати профілактичне обслуговування. Вони можуть працювати при різних температурних умовах і не потребують складних систем охолодження.

Однак важливо зазначити, що, незважаючи на ці переваги, поршневі компресори мають свої обмеження. Вони не завжди ефективні для великих обсягів повітря чи при вимогливих застосуваннях, і у деяких випадках можуть бути менш ефективними та витратними на пальне порівняно з іншими типами компресорів, такими як ротаційні або відцентрові.

Маючи розрахункову величину продуктивності, за [12] вибираємо поршневий компресор марки ФУУ30 з такими характеристиками:

– кінцевий тиск (максимальний), МПа 4

– діаметр циліндра / хід поршня, мм 76,6 / 55

– теоретична об’ємна подача, л/хв ($м^3$/с) 1000 (0,0167)

– холодопродуктивність, кВт 62

– споживана потужність, кВт 21,5

Розрахунок і вибір насосу H_2 для подачі флегмового зрошення в атмосферну колону [13].

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \tag{2.29}$$

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

$$V = \frac{3200}{3600 \cdot 670} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d = \sqrt{\frac{1,33 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,029 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \tag{2.30}$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 670}{2,97 \cdot 10^{-4}} = 130842,$$

тобто режим турбулентний.

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

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

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda=0{,}11\cdot e^{0{,}25}; \tag{2.31}$$

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

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

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1=0{,}5$;

2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2=2\cdot 1{,}1=2{,}2$.

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

$$\Sigma\xi=0{,}5+2{,}2=2{,}7.$$

Для напірної лінії:

1) вентиль прямоточний $\xi_1=0{,}65$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2=3\cdot 1{,}1=3{,}3$;

3) вихід з труби $\xi_3=1$.

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

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \tag{2.32}$$

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

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

Втрата напору в напірній лінії:

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

Загальні втрати напору:

$$h_П = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \tag{2.33}$$

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

Напір насосу знаходимо за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_Г + h_П, \tag{2.34}$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина; у нашому випадку ця різниця дорівнює $(P_2 - P_1) = 0,28 - 0,17 = 0,11$МПа;

$H_Г$ – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = \frac{0{,}11 \cdot 10^6}{670 \cdot 9{,}81} + 3 + 3{,}81 = 23{,}5\,\text{м}.$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_K = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H\,; \tag{2.35}$$

$$N_K = 670 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}33 \cdot 10^{-3} \cdot 23{,}5 = 206\,\text{Вт}.$$

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

$$N = \frac{N_K}{\eta_{пер} \cdot \eta_н}, \tag{2.36}$$

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

$$N = \frac{206}{1 \cdot 0{,}6} = 343\,\text{Вт}.$$

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

3 ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [14, 15]

В хімічній промисловості умови роботи апаратів можуть бути дуже екстремальними та різноманітними. Вимірювані параметри, такі як температура і тиск, можуть коливатися в широкому діапазоні в залежності від конкретного процесу. Температурний діапазон від мінус 254 до плюс 2500 градусів Цельсія охоплює широкий спектр хімічних процесів, включаючи як низькотемпературні процеси (наприклад, замороження), так і високотемпературні процеси (наприклад, плавлення металів або обробка високотемпературних каталізаторів).

Тиск може варіюватися від дуже низьких значень, приблизно 0,015 Па (параксіальні умови вакууму), до високих значень, до 600 МПа (мегапаскалів), які можуть бути притаманні процесам в сфері хімічної синтезу або витисканню рідин. Також у багатьох хімічних процесах використовуються агресивні хімічні речовини, які можуть бути корозійними або небезпечними для матеріалів, з яких виготовляють апарати. Тому вибір правильних матеріалів і методів захисту важливий для забезпечення безпеки та надійності обладнання.

Основні вимоги, яким повинна відповідати хімічна апаратура:

1. Механічна надійність. Хімічні апарати повинні бути стійкими до механічних навантажень, які вони можуть зазнати під час транспортування, монтажу і експлуатації. Вони також повинні витримувати внутрішні тискові навантаження і температурні зміни без негативного впливу на їхню цілісність.

2. Довговічність. Хімічні апарати мають бути розраховані на тривалий термін служби без необхідності частого ремонту або заміни. Це важливо для зниження витрат і забезпечення безперебійної роботи обладнання.

3. Конструктивна досконалість. Дизайн апаратів повинен бути ретельно продуманим і оптимізованим з точки зору виконання функції і безпеки. До цього також входить врахування особливостей хімічного процесу, для якого вони призначені.

4. Простота виготовлення. Виготовлення апаратів повинно бути виконане з урахуванням можливості простоти та ефективності виробництва. Це допомагає знизити витрати на виготовлення та підтримання.

5. Зручність транспортування, монтажу та експлуатації. Апарати повинні бути спроектовані з урахуванням легкості транспортування на місце призначення, швидкого і безпечного монтажу, а також комфортної експлуатації. Це допомагає знизити час і витрати на пуско-налагодження та обслуговування.

Саме тому до конструкційних матеріалів для хімічної апаратури також висувають низку вимог:

1. Висока корозійна стійкість. Оскільки хімічна промисловість часто включає в себе використання агресивних хімічних середовищ, матеріали, які використовуються для конструкції апаратів, повинні бути стійкими до корозії та інших видів хімічного атаки. Це забезпечує тривалу службу апаратури та запобігає витратам на ремонт та заміну.

2. Висока механічна міцність. Конструкційні матеріали повинні мати достатню міцність для витримання робочих тисків, температур та механічних навантажень, які виникають при гідравлічних випробуваннях та в експлуатації апаратів. Це важливо для запобігання аваріям і збиткам.

3. Гарна зварюваність. Багато хімічних апаратів складаються з багатьох деталей, які потрібно з’єднувати зварюванням. Тому матеріали повинні мати властивості, що сприяють створенню міцних і надійних зварних з’єднань, забезпечуючи високі механічні властивості цих з’єднань.

4. Низька вартість і доступність матеріалів. Ефективність виробництва та економічність є важливими аспектами в хімічній промисловості. Тому матеріали повинні бути доступніми і мають низьку вартість, але при цьому відповідати усім іншим вимогам.

Для виготовлення деталей випарника, які контактують із вуглеводнями, вибираємо сталь 16ГС, яка є стійкою до корозії. Також вона має досить високі механічні властивості, підходить для середовищ з помірними температурами. Сталь 16ГС є досить поширеним матеріалом і може бути досить доступною і вартісно-ефективною альтернативою для наших потреб.

Для всіх інших елементів випарника вибираємо сталь Ст3. Сталь Ст3 має середні механічні властивості та володіє досить задовільною міцністю. Ця сталь є відмінним вибором для конструкційних елементів, якщо не вимагається високої міцності або стійкості до великих механічних навантажень. Сталь Ст3 може бути корозійностійкою за умови, що будуть прийняті необхідні заходи щодо захисту від корозії. До того ж, вона є загальнодоступною і зазвичай є досить економічним матеріалом, що може зменшити витрати на виготовлення виробів.

Для виготовлення прокладок в хімічному обладнанні використання фторопласту-4 є відмінним вибором, бо володіє високою стійкістю до багатьох хімічних речовин. Це робить його ідеальним матеріалом для використання в хімічному обладнанні, де важлива стійкість до корозії. Фторопласт-4 може витримувати високі температури без деформації або розкладання, що робить його придатним для використання в різних термічних умовах. Також він має низький коефіцієнт тертя, що сприяє зменшенню зносу і забезпечує довгий термін служби прокладок. Цей матеріал є добрим ізолятором і не проводить електрику, що важливо в деяких хімічних процесах і умовах.

Фторопласт-4 є непроникним для багатьох речовин, що робить його безпечним для використання в контакті з продуктами, та має високу стійкість до впливу ультрафіолетового випромінювання та вологості, що робить його довговічним матеріалом.

3.2 Розрахунки на міцність та стійкість [16]

Визначення товщини стінки кожуха.

Знаходимо величину нормативного допустимого напруження для сталі 16ГС при розрахунковій температурі 90°С: $\sigma^* = 161$МПа.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \qquad (3.1)$$

де $\eta = 1$– поправковий коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 161 \cdot 1 = 161 \text{МПа}.$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{ГВ} = \frac{\sigma_T^{20}}{1{,}1}, \tag{3.2}$$

де $\sigma_T^{20} = 280$ МПа – межа плинності сталі 16ГС при температурі 20°С.

$$[\sigma]_{ГВ} = \frac{280}{1{,}1} = 254{,}5 \text{ МПа}.$$

У нашому випадку розрахунковий тиск буде дорівнювати робочому тиску в апараті, а саме: $P_P = P = 3{,}62$ МПа.

Оскільки розрахунковий тиск більший за 0,5 МПа, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях визначаємо за рівнянням:

$$P_{ГВ} = \max\left\{\begin{array}{l}\dfrac{1{,}25 \cdot P_P \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ P_P + 0{,}3\end{array}\right\}, \tag{3.3}$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}{}^* = 170$ МПа – допустиме напруження сталі 16ГС при температурі 20°С ($\eta = 1$).

$$P_{ГВ} = \max\left\{\begin{array}{l}\dfrac{1{,}25 \cdot 3{,}62 \cdot 170}{161} = 4{,}78 \\ 3{,}62 + 0{,}3 = 3{,}92\end{array}\right\} = 4{,}78 \text{ МПа}.$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки (рис. 3.1):

$$S_P^{Ц} = \max\left\{\begin{array}{c}\dfrac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_P} \\ \dfrac{P_{ГВ} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{ГВ} - P_{ГВ}}\end{array}\right\}, \qquad (3.4)$$

де $\phi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

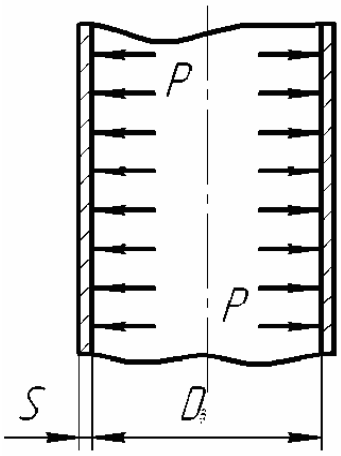

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

$$S_P^{Ц} = \max\left\{\begin{array}{c}\dfrac{3,62 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 3,62} = 4,55 \\ \dfrac{4,78 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 4,78} = 3,79\end{array}\right\} = 4,55 \text{мм}.$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_Ц \geq S_P^{Ц} + c, \qquad (3.5)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \tag{3.6}$$

де c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Приймаємо, що $c_2 = c_3 = 0$.

Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

$$c_1 = П \cdot \tau, \tag{3.7}$$

де $П = 0{,}12$ мм/рік – проникність матеріалу;

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

У результаті отримуємо:

$$c = c_1 = 0{,}12 \cdot 15 = 1{,}8 \text{ мм}.$$

$$S_Ц = 4{,}55 + 1{,}8 = 6{,}35 \text{ мм}.$$

Приймаємо $S_Ц = 8$ мм.

Розрахунок висоти трубної решітки

Номінальну розрахункову висоту решітки визначаємо за формулою:

$$h' = K \cdot D \cdot \sqrt{\frac{p}{\phi_0 \cdot \sigma_{зг}}}, \tag{3.8}$$

де ϕ_0 – коефіцієнт ослаблення решітки отворами;

$\sigma_{зг}$ – допустима напруга на згинання для матеріалу решітки, МН/м^2.

Значення величин K і D визначаємо за [10]: K = 0,47; $D = D_B$ = 400 мм.

$$h' = 0,47 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{\frac{3,62}{1 \cdot 140}} = 0,03 \text{м}.$$

Розрахунок опори колони з випарником.

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{ап} = M_{ап} \cdot g\,, \tag{3.9}$$

де $M_{ап}$ – маса порожнього апарата;

$$M_{ап} = M_{к} + M_{дн} + M_{кр} + M_{н} + M_{фл}\,, \tag{3.10}$$

де $M_к$, $M_{дн}$, $M_{кр}$, $M_н$, $M_{фл}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, насадки, фланців і арматури.

$$M_{к} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho\,, \tag{3.11}$$

де ρ – щільність матеріалу корпусу (сталь 16ГС); ρ = 7800 кг/м^3;

$$M_{к} = 5,7 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 447 \text{ кг};$$

$$M_{дн} = M_{кр} = 15 \text{ кг}.$$

Маса шарів насадки:

$$M_{н} = V_{н} \cdot \rho_{н}\,, \tag{3.12}$$

де $V_н$ – об’єм, який займає насадка, м^3;

$\rho_н$ – насипна щільність насадкових тіл.

Для керамічної насадки розміром 25×25×3 мм насипна щільність становить $\rho_н$ = 900 кг/м^3 [11].

Об’єм, який займає насадка визначаємо за залежністю:

$$V_н = \pi \cdot R^2 \cdot h_н = 3{,}14 \cdot 0{,}2^2 \cdot 2{,}5 = 0{,}314\,\text{м}^3; \quad (3.13)$$

$$M_н = 0{,}314 \cdot 900 = 283\,\text{кг}.$$

Масу фланців і арматури приймаємо рівною $M_{фл} = 200$ кг.

Маса порожнього апарата:

$$M_{ап} = 447 + 15 + 15 + 283 + 200 = 960\,\text{кг};$$

$$Q_{ап} = 960 \cdot 9{,}81 = 9418\ \text{Н}.$$

Навантаження апарата на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q^в_{ап} = (M_{ап} + M_в) \cdot g\,, \quad (3.14)$$

де $M_в$ – маса залитої в апарат води, кг.

$$M_в = V \cdot \rho_в\,, \quad (3.15)$$

де V – об’єм апарата, м^3.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}4^2}{4} \cdot 5{,}7 = 0{,}72\,\text{м}^3;$$

$$M_в = 0{,}72 \cdot 1000 = 720\,\text{кг};$$

$$Q^в_{ап} = (960 + 720) \cdot 9{,}81 = 16480\,\text{Н}.$$

За таблицею [14] вибираємо циліндричну опору другого типу: 2-400-20-50.

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання [17]

Правильне розміщення обладнання важливо для досягнення оптимальних результатів в промисловому виробництві та забезпечення безпеки та ефективності процесів. Оптимізація процессу включає в себе аналіз всіх етапів виробництва, починаючи від поставки сировини до виведення готової продукції. Це допомагає підвищити продуктивність та ефективність.

Безпека завжди є на першому місці, особливо в промисловості, де існують високі ризики. Правильне розміщення обладнання повинно забезпечувати заходи безпеки, включаючи вентиляцію, системи пожежогасіння та заходи для запобігання аваріям.

Забезпечення доступу до обладнання для технічного обслуговування та контролю допомагає уникнути непередбачених ситуацій та забезпечити тривалу експлуатацію. Ефективність використання простору сприяє економічності та може зменшити загальні витрати на будівництво та експлуатацію об’єкта. Ефективне розміщення обладнання допомагає зменшити загальні витрати та збільшити прибутковість виробництва.

Мінімізація зайвих операцій та оптимізація розміщення обладнання сприяють підвищенню продуктивності та зниженню витрат. Планування розміщення обладнання з урахуванням логістики постачання сировини та транспортування готової продукції забезпечує безперебійну роботу виробництва.

Враховуючи низку ключових аспектів при обранні відкритого майданчика для розташування обладнання у нафтопереробній галузі, слід прагнути створити ідеальні умови для оптимального функціонування виробництва. Використання відкритого майданчика дозволяє розмістити обладнання та інфраструктуру таким чином, що це може призвести до значних економічних вигід при будівництві та подальшій експлуатації підприємства.

Один із ключових факторів, які слід враховувати, – це раціональне розміщення обладнання, і відкритий майданчик надає можливість здійснити це в найкращому вигляді. Ми можемо точно розпланувати розміщення обладнання та інфраструктури так, щоб кожен елемент буде розташований оптимально для максимальної продуктивності та ефективності виробництва. Це також дає можливість значно заощадити на будівельних витратах, оскільки не потрібно будувати обмежувальні стіни або дахи, які б лімітували розміщення обладнання.

Крім того, вибір відкритого майданчика надає переваги у зв’язку з доступністю для монтажу нового обладнання та проведення ремонтних робіт. Ми можемо легко підходити до будь-якого обладнання для його обслуговування, і це сприяє підвищенню загальної продуктивності завдяки можливості вчасного проведення технічного обслуговування та ремонтних робіт. Ця доступність також допомагає знижувати витрати, оскільки ми можемо оперативно реагувати на будь-які проблеми та уникати довгострокових перерв у виробництві.

У підсумку, вибір відкритого майданчика для розташування обладнання виявляється найкращим рішенням, яке сприяє оптимізації процесів та забезпеченню безперебійної роботи нафтопереробного підприємства.

Позиціонування виробничого обладнання на відкритому майданчику прирівнюється до стратегічного вибору, що надає чимало переваг для нафто- і газопереробних підприємств. Це рішення дозволяє керувати (контролювати) викидами газів і тепловиділенням, зменшуючи їх вплив на природу та забезпечуючи відповідність найсуворішим екологічним нормам. Відкритий майданчик виявляється важливим інструментом для ефективного контролю можливих вибухів та пожеж, які можуть виникнути на нафтогазових підприємствах, що забезпечує високий ступінь безпеки для персоналу та майна.

За допомогою цього підходу ми також залишаємо простір для майбутнього розширення наших виробничих потужностей та об’єктів, що створює сприятливі умови для динамічного розвитку нашого підприємства. Вільний простір дозволяє нам планувати та впроваджувати нові технології та

обладнання, що сприяє підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності на ринку.

У цілому, обрана стратегія розташування на відкритому майданчику максимізує нашу здатність до ефективного керування виробництвом, забезпечує дотримання норм екологічної безпеки, гарантує безпеку персоналу та майна, і водночас створює сприятливі умови для невпинного росту та розвитку нашого підприємства.

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:

- група I включає трубопроводи для небезпечних речовин;
- група II – для менш небезпечних;
- група III – 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 теплоізольованими. Це допомагає підтримувати температурний режим роботи і запобігає втраті тепла.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [18, 19]

Вбудований в ректифікаційну колону випарник належить до категорії кожухотрубних теплообмінних апаратів. Монтаж цього апарата не обмежується фізичним розташуванням, але залежить від методу його встановлення. Ректифікаційна колона розташована на відкритому майданчику, і вертикальний випарник врізаний за допомогою фланцевих з’єднань в кубову частину етанової колони.

Технологія монтажу випарника дозволяє виконувати його установку у різних місцях колони залежно від конкретних потреб і вимог виробництва. Фланцеві з’єднання надають гнучкість у виборі місця розміщення випарника, що дозволяє досягти оптимальної продуктивності та ефективності процесу.

Ця інженерна рішучість дозволяє досягти інтегрованого теплообміну у ректифікаційній колоні та сприяє оптимізації теплового обміну для випаровування вуглеводнів, забезпечуючи ефективну роботу ректифікаційної колони.

Монтаж теплообмінників повинен проводитися лише кваліфікованими фахівцями або організаціями, які мають відповідні ліцензії та дозволи для здійснення таких видів робіт. Це гарантує високий ступінь безпеки та якість монтажу відповідно до встановлених стандартів.

Стропування теплообмінника – це критичний етап монтажу. Важливо виконувати цю операцію з урахуванням ваги теплообмінника і дотримуватися правильних методів та процедур для запобігання його пошкодженню чи впливу на інше обладнання. Важливо зазначити, що використання синтетичних стропів рекомендується, оскільки вони зазвичай мають менше потенційно небезпечних деформацій для обладнання порівняно зі сталевими стропами. Використання сталевих стропів може призвести до пошкоджень теплообмінника або іншого обладнання.

Переміщення теплообмінника повинно відбуватися через спеціально визначені точки або отвори. Використання кріпильних виробів чи патрубків для цієї мети може призвести до пошкоджень теплообмінника або створити небезпечні ситуації.

Встановлення теплообмінника з урахуванням зручності обслуговування та технічного огляду є важливою умовою для ефективної та надійної роботи обладнання. Теплообмінник повинен бути встановлений таким чином, щоб фахівці мали зручний доступ до всіх його компонентів та елементів для проведення обслуговування, ремонту та технічного огляду. Це може включати належне розміщення обладнання без перешкод і обмежень.

Особливі конструкції для закріплення теплообмінника не є обов’язковими, що спрощує процес встановлення та знижує витрати на будівництво та підготовку майданчика. Це також означає, що теплообмінник може бути легко встановлений на існуючих об’єктах без потреби в значних будівельних модифікаціях.

Також важливо забезпечити зручний доступ до теплообмінника для проведення регулярних інспекцій та обслуговування. Це допомагає попередити можливі проблеми та підтримувати оптимальну ефективність апарату.

Під час функціонування теплообмінника важливо постійно стежити за рядом параметрів і вживати заходів для забезпечення безпечної та ефективної роботи апарата:

1. Контроль температурного режиму. Надмірний ріст або зниження температури в системі можуть свідчити про можливі проблеми, такі як забруднення теплообмінника або інші несправності. Важливо встановити системи моніторингу, які надають інформацію про температурний режим і дозволяють оперативно реагувати на зміни.
2. Гідравлічний опір. Зростання гідравлічного опору також може свідчити про забруднення або інші проблеми в системі. Слід ретельно моніторити гідравлічний опір і вживати відповідних заходів для його попередження чи усунення.
3. Захисна ізоляція зовнішньої поверхні. Оскільки темплообмінники можуть мати високу температуру, на зовнішню поверхню кожуха встановлюється захисна ізоляція. Це не лише запобігає тепловим втратам, але також забезпечує безпеку для персоналу, оскільки дотик до гарячої поверхні може призвести до травмування.
4. Регулярний технічний огляд та обслуговування. Важливо включити регулярні технічні огляди теплообмінника в графік обслуговування. Це допомагає вчасно виявляти можливі проблеми та забезпечувати безперебійну роботу апарата.

Загалом, контроль параметрів, таких як температура і гідравлічний опір, разом із заходами безпеки, такими як захисна ізоляція, гарантують безпечну та продуктивну роботу теплообмінника.

Контрольне розбирання або ревізія кожухотрубних теплообмінників є важливою процедурою, яка дозволяє перевірити та підтвердити правильність їх монтажу та функціонування. Перевірка наявності та стану прокладок є критичною для запобігання витоку рідини або газу. Важливо переконатися, що прокладки відповідають специфікаціям і належним чином розташовані.

Розбирання теплообмінника дозволяє перевірити наявність всіх знімних деталей, таких як трубки, пластини, кришки тощо. Брак якоїсь деталі може призвести до некоректної роботи або навіть до пошкодження апарата. Під час ревізії важливо переконатися, що всі деталі розташовані правильно і відповідають проектним специфікаціям. Навіть незначні відхилення в розташуванні деталей можуть вплинути на продуктивність і надійність теплообмінника.

Основною метою ревізії є забезпечення безпеки та правильності функціонування теплообмінника. Ця процедура також допомагає виявити потенційні проблеми та дефекти, які можуть бути виправлені під час обслуговування.

Процедура виявлення та усунення дефектів у розвальцьовуванні та обварці трубок теплообмінника є важливою для забезпечення безпеки та ефективності роботи обладнання. Під тиском вода проходить через цей простір та контактує з зовнішніми поверхнями трубок. Під час впуску води слід уважно оглянути корпус теплообмінника. Цей огляд дозволяє виявити будь-які сліди витоку води, що можуть свідчити про дефекти у розвальцьовуванні або обварці трубок. Якщо під час процедури виявлені дефекти, такі як тріщини, отвори, або інші пошкодження в розвальцьовуванні або обварці трубок, їх слід усунути. Усунення дефектів може включати в себе ремонт або заміну пошкоджених трубок, а також перевірку і підтягування з’єднань.

Забезпечення безпеки під час ремонтних робіт з кожухотрубним теплообмінником є критичним завданням. Якщо в теплообміннику містяться токсичні або небезпечні речовини, необхідно встановити захисний екран навколо апарата. Цей екран має запобігти витоку небезпечних речовин під час ремонтних робіт. Знімати екран можна лише в той момент, коли теплообмінник перебуває під контрольним тиском.

Виведення теплообмінника з експлуатації має бути поступовим процесом. Забезпечте відключення і розрідження апарата від теплоносіїв перед початком ремонтних робіт. Перш ніж розпочати роботу з теплообмінником, необхідно забезпечити охолодження апарата. Поступове зниження температури допомагає уникнути виникнення небезпеки і подій, пов’язаних з тепловим розширенням.

При роботі з гарячими елементами апарата обов’язково використовуйте захисні засоби, такі як спеціальні рукавички та інше захисне спорядження, щоб уникнути опіків та травм. Забезпечте, щоб персонал, який здійснює ремонтні роботи, був надійно навчений і розумів всі процедури безпеки. Ремонтні роботи повинні проводитися відповідно до інструкцій, норм та стандартів безпеки, які визначаються відповідними органами і організаціями.

Планове технічне обслуговування теплообмінників з трубною системою важливо для забезпечення їхньої надійної та тривалої роботи. Планове технічне обслуговування допомагає запобігти передчасним поломкам і зберегти надійність теплообмінника. Видалення засмічень і відновлення оптимального теплообміну сприяють підтримці робочих параметрів у нормі.

Трубчаста система теплообмінника з часом може засмічуватися і забруднюватися, що призводить до зниження ефективності обміну теплом. Планове обслуговування, таке як промивання трубок, допомагає запобігти зносу та забезпечити ефективну роботу. Регулярне очищення трубчатої системи допомагає підтримувати оптимальну ефективність теплообміну, що важливо для економії енергії та забезпечення якості продукції.

Якщо технічне обслуговування проводиться регулярно, то ремонт кожухотрубних теплообмінників стає необхідним тільки у разі надмірного зносу або серйозних пошкоджень обладнання.

Виривання трубок із трубних решіток може виникати через різні фактори, і важливо правильно вирішити цю проблему для забезпечення надійності теплообмінника. Ось деякі можливі варіанти вирішення:

1. Зачистка та обварювання трубки заново. Якщо трубка вирвалася, її можна зачистити та обварити знову, забезпечуючи міцне з’єднання. Важливо використовувати відповідні технології та матеріали для забезпечення якості ремонту.
2. Висвердлювання трубки і установка нової трубки/ Іншим варіантом може бути висвердлення дефектної трубки та установка нової трубки на її місце. Цей процес може вимагати точності та професійних навичок.

3. Зачистка і заглушка трубки. У деяких випадках, особливо якщо розмір трубки досить малий, можна вирішити проблему шляхом зачистки та закриття дефектної трубки за допомогою спеціальної заглушки. Проте, це може вплинути на опір теплообміну.

Наскрізна корозія трубок теплообмінника може бути серйозною проблемою, яка вимагає уважного вирішення. Ось деякі можливі варіанти вирішення цієї проблеми:

1. Висвердлювання трубки та установка нової трубки. Якщо корозія вплинула на окрему трубку, то її можна висвердлити та замінити новою трубкою. Цей метод може бути ефективним, якщо корозія обмежена і не вплинула на інші частини теплообмінника.
2. Зачистка та заглушка трубки. У випадках, коли дефектність трубки не велика, можливо використовувати зачистку та закриття трубки спеціальною заглушкою. Проте, це може вплинути на опір теплообміну та вимагає ретельного розгляду наслідків для інших трубок.
3. Заміна трубного пучка. У випадках, коли наскрізна корозія виявляється поширеною та повторюється, може бути найкращим варіантом замінити весь трубний пучок теплообмінника. Це дозволить уникнути подальших дефектів і забезпечити надійну роботу.
4. Врахування призначення теплообмінника. При вирішенні проблеми наскрізної корозії важливо також переглянути матеріали, з яких виготовлений теплообмінник, і, можливо, врахувати більш корозійностістійкі матеріали при заміні.

Наскрізна корозія корпуса або камери теплообмінника є серйозною проблемою, оскільки це може вплинути на структурну міцність та безпеку обладнання. Ось декілька можливих варіантів вирішення цієї проблеми:

1. Підварювання або установка заплатки. Якщо корозія є локалізованою і не поширеною, то можливо застосувати метод підварювання або установки заплатки. Цей метод полягає в обробці пошкодженої області шляхом зварювання або закладання заплатки для відновлення цілісності.

2. Виготовлення нової камери чи корпусу. У випадках, коли корозія поширена та впливає на структурну міцність теплообмінника, найкращим варіантом може бути виготовлення нового корпусу або камери. Це вимагає планування і виготовлення нової частини обладнання, але забезпечить надійність і тривалий термін служби.
3. Врахування матеріалів. При вирішенні проблеми корозії корпуса або камери також важливо враховувати вибір матеріалів для майбутніх теплообмінників. Використання більш корозійностійких матеріалів може допомогти запобігти подібним проблемам у майбутньому.

Засмічення трубок чи міжтрубного простору теплообмінника може виникати з різних причин і вимагає різних методів вирішення. Ось деякі можливі варіанти вирішення цієї проблеми:

1. Механічне очищення. Цей метод включає в себе використання механічних інструментів для фізичного видалення накипу, засмічення або інших відкладень з трубок та міжтрубного простору. Механічне очищення може бути відносно швидким і ефективним способом відновлення продуктивності теплообмінника.
2. Хімічне очищення. Цей метод використовує хімічні розчини або реакції для розчинення накипу, окислень або інших відкладень у трубках та міжтрубному просторі. Хімічне очищення може бути корисним у випадках, коли механічне очищення не є ефективним.
3. Установка фільтрів. Якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації теплоносіїв, рекомендується встановити відповідні фільтри для теплоносіїв. Це може значно зменшити ризик засмічення і подовжити термін служби теплообмінника.
4. Планове обслуговування. Для запобігання засміченню теплообмінника, важливо вести планове обслуговування і регулярно очищати обладнання від накипу та інших відкладень. Це може вимагати спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу.

Проблеми, пов’язані з покриттям теплообмінника вапном або іншими відкладеннями, можуть виникати через хімічний склад теплоносіїв або характер процесу. Ось деякі можливі варіанти вирішення цих проблем:

1. Очистка хімічними засобами. Використання спеціальних хімічних розчинів або засобів для розчинення відкладень, таких як вапно чи інші мінерали, може допомогти відновити продуктивність теплообмінника. Цей метод ефективний, якщо відкладення не є надто товстими або великими.
2. Заміна трубного пучка. У разі, коли відкладення стали надто товстими і хімічне очищення не є ефективним, може бути необхідно замінити трубний пучок. Це означає виготовлення та встановлення нових трубок, що відновить ефективність теплообмінника.
3. Заміна дефектних елементів. Якщо штуцери чи трубні решітки стали дефектними через знос або прогин, їх можна замінити новими. Це важливо для забезпечення надійності теплообмінника і його безперебійної роботи.
4. Усунення свищ та тріщин. Якщо в теплообміннику виявлені свищі або тріщини, їх можна усунути шляхом заварювання або встановленням накладок після видалення дефектних ділянок. Це забезпечить інтегрітет обладнання та запобігає подальшим протіканням.

За допомогою кольорової дефектоскопії виявляють тріщини в корпусі теплообмінника та визначають їх розмір та положення. Якщо тріщини є некрізними та мають невелику глибину (не більше 0,4 товщини стінки), кінці цих тріщин засвердлюють спеціальними свердлами діаметром 3–4 мм. Це робиться для створення кільцевих отворів на кінцях тріщин. Тріщини розправляються під заварку.

Якщо тріщина не перевищує 100 мм у довжину, застосовується одностороння вирубка на максимальну глибину тріщини під кутом 50–60°. Якщо тріщина довша за 100 мм, проводиться заварка обернено-ступеневим методом, який забезпечує максимальну міцність з’єднання.

Якщо ж тріщини глибокі (глибше 0,4 товщини стінки), вони обробляються на всю товщину шляхом вирубки зубилом або газорізкою. Це допомагає видалити пошкоджений матеріал і підготувати поверхню для заварки.

При наявності гніздових тріщин, пошкоджені ділянки вирізають і закривають спеціальними латками, які зварюють в рівень з основним металом. Площа латки не повинна бути більшою за площу листа апарату.

Після ліквідації поверхневих дефектів на теплообміннику, проводиться контроль, щоб переконатися у надійності виправлених ділянок. Цей контроль може бути здійснений за допомогою магнітної або ультразвукової дефектоскопії.

Магнітна дефектоскопія використовує магнітні поля для виявлення дефектів. Магнітна дефектоскопія дозволяє перевірити, чи були виправлені дефекти на поверхні теплообмінника. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

Ультразвукова дефектоскопія використовує ультразвук для виявлення та контролю дефектів. Ультразвукова дефектоскопія дозволяє не лише визначити наявність дефектів, але і оцінити їх розмір та глибину. Цей метод дозволяє точно визначити, чи виправлені поверхневі дефекти, і чи впливають вони на надійність теплообмінника.

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Автоматизація виробничих процесів дійсно має багато переваг і може сприяти покращенню продуктивності та зниженню витрат у різних галузях промисловості. Автоматизовані системи можуть працювати без перерви і відпочинку, що дозволяє підвищити продуктивність виробництва.

Системи автоматизації забезпечують більш точний та однаковий контроль над процесами виробництва, що призводить до зменшення дефектів та відхилень у якості продукції. Замість ручної праці автоматичні системи виконують завдання без участі людини. Це дозволяє зменшити витрати на оплату праці та зменшити ризик помилок.

Автоматизація дозволяє більш ефективно використовувати матеріали, енергію та інші ресурси, що призводить до зменшення собівартості продукції. Нові технології, які використовуються в автоматизованих системах, можуть відкривати нові можливості для підприємства, такі як виробництво нових продуктів або входження на нові ринки.

Автоматизовані системи можуть виконувати небезпечні завдання, що допомагає знизити ризик для працівників. Автоматизація дозволяє зменшити втрати матеріалів та часу, що раніше втрачалися через недоліки виробничих процесів. Роботи, які раніше вимагали виконання однотипних дій, можуть бути автоматизовані, що покращує умови праці працівників.

Переробний комплекс для обробки нафти або газового конденсату представляє собою послідовний процес, де ключові технологічні компоненти зв'язані між собою в неперервному потоці. Ця безперервність є однією з найважливіших передумов для успішної автоматизації виробництва. Співпраця між безперервним процесом і автоматизацією є надзвичайно важливою, оскільки обидві складові взаємно посилюють одна одну, сприяючи підвищенню продуктивності і ефективності всього виробництва.

Завдяки постійному потоку сировини та продукції в безперервному процесі, автоматизація стає набагато ефективнішою. Вона забезпечує надійний контроль над кожним кроком виробничого процесу, а також можливість

реагувати на зміни в реальному часі. Постійні дані, що надходять від датчиків, із неділям надають змогу автоматизованим системам точно налаштовувати параметри для досягнення найкращих результатів.

Автоматизація виробничих операцій, у свою чергу, спрощує роботу і зменшує втрати, адже вона здатна виконувати рутинні завдання швидше і точніше, ніж це може зробити людський персонал. Відповідно до вимог безпеки та якості, системи автоматизації можуть приймати надзвичайно швидкі рішення для забезпечення оптимального використання ресурсів та виробничого обладнання.

Основний висновок полягає в тому, що безперервний процес і автоматизація є двома нерозривно пов'язаними складовими, які у поєднанні створюють оптимальні умови для підвищення продуктивності та якості виробництва в галузі переробки нафти і газового конденсату.

Ректифікаційна установка представляє собою складну систему управління, яка відзначається значним запізненням у реагуванні на зміни. Наприклад, у деяких ситуаціях параметри процесу можуть почати змінюватися лише через 3 години після внесення змін у параметри сировини. Це управління включає велику кількість параметрів, які взаємодіють між собою, розподілені по системі, і інші труднощі.

Ректифікаційна система має інтегрувати і контролювати широкий спектр параметрів, які впливають на процес. Крім того, взаємодія між цими параметрами може бути дуже складною, і вони можуть змінюватися зі значним запізненням. За таких умов, управління процесом ректифікації вимагає високого рівня точності та спроможності прогнозувати майбутні зміни в системі.

Практично це означає, що операторам та системам автоматизації потрібно бути готовими до постійного аналізу і корекції параметрів в реальному часі, щоб забезпечити стабільність та високу якість продукції. Для цього використовуються сучасні системи автоматизації, які базуються на алгоритмах регулювання, прогнозування та адаптації, щоб управляти ректифікаційним процесом ефективно та надійно.

Безперервна оптимізація автоматизованого кожухотрубного теплообмінника включає в себе кілька важливих етапів та факторів. Треба постійно аналізувати дані та результати моніторингу, щоб ідентифікувати можливості для покращення. Це може включати в себе оптимізацію режимів роботи, вибір нових матеріалів або технологій та підвищення надійності системи.

Регулярне технічне обслуговування і заміна деталей, які підлягають зносу, допомагають підтримувати теплообмінник у хорошому робочому стані. Вчасне обслуговування допомагає уникнути аварій та забезпечити тривалий термін служби.

Залучення спеціалістів із досвідом в автоматизації та теплообмінних процесах може бути корисним для розробки та впровадження оптимальних рішень. Слід враховувати нові технологічні рішення та впроваджувати їх у систему там, де це виправдано. Це може включати в себе впровадження більш ефективних матеріалів, апаратів і методів контролю.

Забезпечення, що оператори та технічний персонал мають необхідні знання та навички для коректної експлуатації теплообмінника і систем автоматизації, допомагає уникнути помилок та недорозумінь. Дослідження нових інновацій та технологій у галузі теплообміну може призвести до революційних змін у виробничих процесах. Наприклад, нові матеріали, системи регулювання або технології очищення можуть зробити теплообмінник більш продуктивним та ефективним.

Технічні засоби автоматичного контролю вибираються зі стандартної апаратури, яка виготовляється приладобудівною промисловістю, з урахуванням технічних характеристик і умов роботи. Цей підхід дозволяє забезпечити надійність та ефективність контролю процесів у промисловості.

При виборі технічних засобів для автоматичного контролю необхідно враховувати специфіку конкретного процесу і його параметрів, а також технічні вимоги і стандарти, які застосовуються в даній галузі. Типовою апаратурою виробляється широкий спектр приладів, таких як датчики температури, тиску, рівня, датчики газів, аналізатори рідин і багато інших. Вони можуть бути підібрані відповідно до конкретних потреб і завдань автоматизації.

Важливо також обрати технічні засоби, які відповідають середовищу, в якому вони будуть застосовані. Наприклад, для агресивних хімічних середовищ можуть бути використані спеціальні корпуси та матеріали, щоб забезпечити довговічність та надійність обладнання.

Отже, вибір технічних засобів автоматичного контролю є важливою частиною процесу автоматизації виробництва і вимагає уважного аналізу технічних характеристик і вимог до конкретного процесу.

Технічні засоби автоматичного контролю обираються з типової апаратури, яка випускається приладобудівною промисловістю відповідно до технічних характеристик та умов роботи. Це включає в себе такі елементи та прилади:

1. Сенсори і датчики. Обрані для вимірювання різних параметрів, таких як температура, тиск, рівень, витрата речовини і інші. Наприклад, термометри, манометри, рівнеміри, потокоміри і т. д.

2. Контрольно-вимірювальні прилади (КВП). Інтегровані пристрої, які забезпечують вимірювання, а також можуть виконувати обчислення та логічні операції для контролю процесу. Наприклад, програмовані контролери логічного керування (ПЛК).

3. Актуатори. Механічні пристрої, які впливають на процес згідно з сигналами від контрольно-вимірювальних приладів. Це може бути регулювальний клапан, насос, нагрівач та інші.

4. Системи збору і аналізу даних. Включають в себе засоби для збору, збереження і аналізу даних з сенсорів і КВП. Це може бути програмне забезпечення для моніторингу та аналізу, а також системи зберігання даних.

5. Інтерфейси та засоби комунікації. Забезпечують зв'язок між автоматизованою системою керування та операторами, а також з іншими системами управління або мережами передачі даних.

6. Програмне забезпечення керування. Включає в себе програмне забезпечення для налагодження і контролю системи автоматизованого управління, включаючи алгоритми регулювання, моніторингу та інтерфейси користувача.

Використання принципу уніфікації у схемі автоматизації дійсно має безліч переваг, особливо в умовах вибухо- та пожежонебезпечного виробництва. Однотипні технічні засоби автоматизації сприяють спрощенню і покращенню процесу управління та мають численні переваги:

По-перше, це замінність. Однотипні технічні засоби дозволяють замінювати один пристрій іншим без необхідності внесення суттєвих змін у схему управління. Це особливо корисно при ремонті або заміні обладнання, що допомагає зменшити витрати на підтримку системи.

По-друге, зручність. Оператори та технічний персонал знайомі з однотипними приладами, що спрощує їх роботу, навчання та обслуговування. Однакові інтерфейси та операційні принципи спрощують взаємодію з обладнанням.

По-третє, ефективність. Однотипні прилади можуть мати схожі налаштування та можуть постачатися зі спільними комплектуючими, що спрощує їх впровадження та підтримку. Це допомагає зменшити час і витрати на налаштування та обслуговування.

Застосування дешевих і надійних приладів забезпечує економію коштів та сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства. Це особливо важливо в умовах вибухо- та пожежонебезпечного виробництва, де дотримання бюджету та безпеки мають високий пріоритет. Врахування особливостей вибухо- та пожежонебезпечних умов виробництва та вибір пневматичної лінії приладів допомагають забезпечити безпеку та ефективність виробничого процесу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів [22]

Забезпечення охорони праці на нафтопереробному заводі (НПЗ) є важливою складовою безпеки працівників і нормального функціонування виробництва. Нафтопереробні заводи можуть бути потенційно небезпечними місцями для працівників через ризики, пов’язані з обробкою і переробкою горючих матеріалів, великою кількістю механічного обладнання та хімічних речовин.

Проведення ретельної оцінки всіх потенційних ризиків, пов'язаних з конкретними процесами та видами робіт на НПЗ. Дотримання всіх відповідних нормативів, стандартів та правил охорони праці, які стосуються нафтопереробних заводів.

Використання технічних засобів для мінімізації ризиків, таких як системи вентиляції, системи газоаналізу, автоматичні вимикачі і захисні пристрої. Проведення обов’язкового навчання та інструктування всіх працівників з питань безпеки, включаючи процедури евакуації, використання засобів індивідуального захисту тощо.

Забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту (засоби захисту органів дихання, захисний одяг, захисне взуття тощо). Розробка аварійних планів та проведення навчальних вправ із евакуації та реагування на небезпеку.

Забезпечення доступу до надання медичної допомоги на випадок травм або надзвичайних ситуацій. Забезпечення того, щоб персонал був компетентним і мав достатні знання та навички для безпечної роботи. Ведення системи обліку та звітності щодо інцидентів, порушень та внесення відповідних коригуючих заходів.

Дотримання всіх законів та нормативних актів, пов'язаних з охороною праці, є важливою передумовою забезпечення безпеки на нафтопереробному заводі. Вивчення та дотримання відповідних правових норм допомагають запобігти порушенням і небажаним інцидентам. Зрозуміти всі закони, нормативні

документи та правила, які стосуються охорони праці на нафтопереробному заводі. Це включає в себе вимоги щодо безпеки, здоров'я та довкілля.

Переконатися, що нафтопереробний завод має всі необхідні дозволи та ліцензії для ведення діяльності. Запитайте відповідних органів про перевірку та оцінку відповідності. Забезпечити, щоб усі працівники проходили навчання щодо охорони праці та техніки безпеки. Це включає в себе навчання щодо безпечної роботи з обладнанням, роботи в небезпечних умовах і використання засобів індивідуального захисту.

Встановити системи контролю якості і звітності, щоб відстежувати та документувати дотримання правил і процедур охорони праці. Слід постійно вдосконалювати та актуалізувати навчання з охорони праці, враховуючи зміни в законодавстві та технологіях.

Аналіз шкідливих факторів на НПЗ включає в себе оцінку потенційних ризиків і негативних впливів на здоров'я працівників та навколишнє середовище. Для цього проводяться спеціальні оцінки та аудити. Ось деякі шкідливі фактори, які можуть бути враховані в аналізі НПЗ:

1. Токсичні речовини. Оцінка виділення і розповсюдження токсичних хімічних речовин у повітря і воду. Особливу увагу приділяються сполукам, які можуть викликати отруєння або інші негативні впливи на здоров'я.

2. Вибухонебезпечні речовини. Оцінка вибухонебезпечності газів і речовин, а також умов, що можуть сприяти вибухам і пожежам на заводі.

3. Шум і вібрація. Аналіз рівнів шуму та вібрації, які можуть впливати на слух та фізичний стан працівників.

4. Тиск і температура. Оцінка впливу високого або низького тиску та температури на працівників та процеси виробництва.

5. Забруднення навколишнього середовища. Оцінка викидів і скидів речовин у повітря, воду та ґрунт, що можуть негативно впливати на екологію регіону.

6. Пожежна безпека. Оцінка систем пожежної безпеки та ризику виникнення пожеж на заводі.

Таблиця 6.1 – Гранично-допустимі концентрації вуглеводнів

Сполуки	**Формула**	**ГДК, мг/м^3**	**НПВ,% об.**	**ВПВ,% об.**
Метан	CH_4	300	5,0	15,0
Етан	C_2H_6	22	3,0	12,5
Пропан	C_3H_8	65	2,1	9,5
Бутан	C_4H_{10}	300	1,5	8,5
Пентан	C_5H_{12}	300	1,4	7,8
Гексан	C_6H_{14}	300	1,2	7,4

Обслуговуючий персонал установки грає важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності нафтопереробного процесу. Вони відповідають за безперервний контроль та підтримку параметрів технологічного процесу, забезпечення герметичності обладнання, дотримання інструкцій, ревізію та ремонт, контроль запобіжних пристроїв, дренаж апаратів і стан контрольно-вимірювальних приладів (КВП).

Розглянемо докладніше важливі вимоги та процедури, які обслуговуючий персонал повинен дотримуватися:

1. Контроль параметрів технологічного процесу. Обслуговуючий персонал має надавати велику увагу контролю за параметрами технологічного процесу, такими як тиск, рівень та температура в апаратах. Вчасна реакція на зміни допомагає уникнути аварій та забезпечити стабільність виробництва.

2. Забезпечення герметичності обладнання. Справність та герметичність технологічного обладнання та трубопроводів є важливими для запобігання витокам речовин і надзвичайним ситуаціям, таким як аварії та забруднення навколишнього середовища.

3. Дотримання інструкцій з експлуатації. Важливо виконувати всі вимоги та інструкції по експлуатації апаратів, особливо тих, що працюють під тиском. Це допомагає забезпечити безпеку та ефективність процесу.

4. Проведення ревізії та ремонту. Регулярні роботи з ревізії та ремонту обладнання та трубопроводів допомагають підтримувати їх в гарному робочому стані. Вчасні ремонти можуть попередити серйозні поломки та аварії.

5. Контроль запобіжних пристроїв. Персонал повинен регулярно перевіряти справність запобіжних пристроїв, які встановлені на апаратах. Вони є важливими для запобігання аварій та забезпечення безпеки працівників.

6. Дренаж апаратів. Дренаж апаратів має бути проведений відповідно до визначеного графіку, з документуванням всіх відомостей у журналі дренажів. Не допускається скидання нафтопродуктів в каналізацію, оскільки це може призвести до забруднення довкілля.

7. Контроль за станом КВП. Регулярна перевірка справності контрольно-вимірювальних приладів (КВП) та порівняння показань первинних приладів з вторинними є важливою для відстеження правильності вимірювань і забезпечення точності процесу.

Дотримання вищезазначених вимог та процедур відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки, надійності та ефективності технологічного процесу на нафтопереробному заводі. Це не лише допомагає запобігти аваріям та надзвичайним ситуаціям, але і забезпечує найкращу роботу обладнання, зменшує ризики для працівників та допомагає забезпечити стабільність виробництва. Забезпечення безпеки та дотримання стандартів – це завжди важлива пріоритетна мета в будь-якому виробничому процесі, особливо на таких складних і потенційно небезпечних об’єктах, як нафтопереробні заводи.

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора

Для регулювання потоків рідин і газів в установках застосовують різну арматуру загальнопромислового і спеціального призначення (засувки, вентилі, клапани тощо) [23]. Запобіжні клапани використовують для захисту пристроїв і установок від підвищення в них тиску вище критичного, встановленого нормами техніки безпеки, шляхом скидання робочого середовища з посудини через клапан.

Запобіжний клапан прямої дії – це клапан, який відкривається або закривається під дією механічного навантаження або дії тиску робочого середовища без додаткових регулюючих пристроїв. Його основною функцією є запобігання перевищенню тиску в системі, в якій він встановлений.

Такий клапан має затвор, який утримується у закритому стані силою, яка надається механічним навантаженням, таким як вантаж або пружина. Коли тиск робочого середовища перевищує задане значення клапан дозволяє робочому середовищу пройти через нього для зниження тиску. Після зниження тиску затвор закривається під впливом механічного навантаження.

Запобіжні клапани прямої дії використовуються для забезпечення безпеки систем, де тиск може зростати до небезпечних рівнів. Вони допомагають уникнути аварій та надзвичайних ситуацій, контролюючи тиск та забезпечуючи стабільну роботу системи.

Дотримання вимог до конструкції клапана є вельми важливим для забезпечення безпеки та надійності його роботи. Розглянемо ці вимоги більш детально:

1. Вільне переміщення рухомих елементів клапана і виключення можливості їх викиду. Ця вимога означає, що рухомі елементи клапана повинні вільно переміщатися для відкривання та закривання клапана без будь-яких перешкод або блокувань. Водночас, конструкція повинна виключити можливість "викиду" рухомих частин, які можуть бути небезпечними для персоналу чи оточуючого середовища.
2. Виключення можливості довільної зміни регулювання допоміжних пристроїв. Це означає, що конструкція клапана повинна запобігати неправомірному або довільному втручанню в регулюючі пристрої. Такі допоміжні пристрої можуть включати обмежувачі, ліміти, амортизатори тощо, які використовуються для точного регулювання роботи клапана.
3. Виключення можливості виникнення неприпустимих ударів при відкриванні та закриванні. Ця вимога важлива для запобігання надмірних навантажень та ударів при руху рухомих частин клапана. Конструкція

повинна бути спроектована таким чином, щоб рух рухомих елементів був плавним і контрольованим, щоб уникнути пошкоджень та небезпечних ситуацій.

Визначення пропускної спроможності клапанів є критичним для їх правильного розрахунку та вибору. Пропускна спроможність визначає максимальний обсяг робочого середовища, який клапан може пропустити при певних умовах. Цей параметр впливає на ефективність та безпеку роботи обладнання. Для розрахунку пропускної спроможності клапанів зазвичай використовують такі критерії:

- розмір та діаметр клапана визначають, скільки робочого середовища може пройти через нього протягом певного часу;
- тиск та температура робочого середовища впливають на густину та об'єм речовини, яка пропускається через клапан;
- різні типи клапанів (наприклад, шарові, дискові, шиберні) мають різну пропускну спроможність у залежності від їх конструкції та механізму регулювання;
- характеристики робочого середовища, такі як в'язкість та густина, впливають на пропускну спроможність клапана;
- розрахунок також включає урахування різних коефіцієнтів втрат, які виникають під час роботи клапана, такі як гідравлічні, термічні та інші втрати.

Вихідними даними для розрахунку є: робоче середовище, максимальний надлишковий тиск та густина середовища перед клапаном. За обраним типом клапана встановлюється його технічна характеристика [23].

Технічна характеристика клапана представлена в табл. 6.2.

Пропускна здатність запобіжного клапана:

$$G = 3{,}16 \cdot B_3 \cdot \alpha_1 \cdot F \cdot \sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot \rho}, \quad \frac{кг}{год.} \tag{6.1}$$

Таблиця 6.2 – Технічна характеристика клапана

Умовний тиск $P_у$, МПа (кгс/см^2)	6,67 (66,7)
Межа тисків налаштування пружини $P_н = P_р$, МПа (кгс/см^2)	3,5 – 10 (35 – 100)
Тиск закриття клапана, $P_з$	не менше $0,8 \cdot P_н$
Умовний діаметр вхідного патрубка $D_у$, мм	50
Умовний діаметр вихідного патрубка $D_у$, мм	80
Діаметр отвору в сідлі $d_с$, мм	63
Температура навколишнього середовища, ºС	від мінус 110 до плюс 600
Температура робочого середовища Т, ºС	40
Коефіцієнт витрати α_1 (при висоті підйому золотника понад 1/20 до 1/4 діаметра сідла)	0,3
Коефіцієнт пропускної здатності клапана K_v, т/год.	не менше 19,5
Характеристика робочого середовища	газоподібне середовище
Маса, кг	не більше 56

де B_3 – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості газу при робочих параметрах, $B_3 = 0,755$ [23];

α_1 – коефіцієнт витрати рідини або газу для даної конструкції клапана (визначений виробником клапана експериментально і записаний в паспорт клапана), $\alpha_1 = 0,3$;

F – площа перерізу клапана, що дорівнює найменшій площі перетину в проточній частині, мм^2;

P_1 – найбільший надмірний тиск перед клапаном (надлишковий тиск до клапана, що дорівнює тиску повного відкриття), МПа;

ρ – густина середовища при тиску P_1 і температурі перед клапаном.

Площа перетину клапана:

$$F = \frac{\pi \cdot d_C^2}{4}, \ м^2 \qquad (6.2)$$

де d_c – діаметр отвору в сідлі, $d_c = 63$ мм^2.

$$F = \frac{3{,}14 \cdot 63^2}{4} = 3116 \text{ мм}^2$$

Визначаємо пропускну здатність запобіжного клапана за формулою (6.1):

$$G = 3{,}16 \cdot 0{,}755 \cdot 0{,}3 \cdot 3116 \cdot \sqrt{(6{,}67 + 0{,}1) \cdot 57} = 43811 \frac{кг}{год.} = 43{,}811 \frac{т}{год.}$$

Розрахована пропускна здатність запобіжного клапана повинна бути більше, ніж коефіцієнт пропускної здатності клапана, тобто $G \geq K_v$. Розрахунком було визначено пропускну здатність запобіжного клапана, що задовольняє умові:

$$G \geq K_v,\ 43{,}811 > 19{,}5\ ,$$

тобто клапан спрацює.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна акціонерна компанія “Нафтогаз України”. – Київ, 2009. — http://www.naftogaz.com

2. Укрнафтомаш. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukrneftemash.com/ua/mini-npz

3. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної, заочної та дистанційної форм навчання / В.І. Склабінський, Я.Е. Михайловський, Р.О. Острога, М.С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.

4. Технологічні основи нафто- та газопереробки: навчальний посібник / В.І. Склабінський, О.О. Ляпощенко, А.Є. Артюхов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 186 с.

5. Мамедов Б.Б. Технологічні розрахунки процесів переробки нафти та газу: навчальний посібник. — Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – 246 с.

6. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии: учеб. пособие для вузов / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский. – Москва, 1989. – 192 с.

7. Курта С.А. Основи нафтохімії / С.А. Курта. – Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2020. – 193 с.

8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 752 с.

9. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах "газ (пара) – рідина" : підручник / Я. Е. Михайловський, А. Є. Артюхов, М. П. Юхименко, Н. О. Артюхова; за заг. ред. Я. Е. Михайловського. – Суми : СумДУ, 2021. – 391 с.

10. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – 2-е изд., пер. и доп. – Ленинград : Химия, 1974. – 344 с.

11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

12. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1972. – 494 с.

13. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.

14. Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 752 с.

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

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

17. 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.

18. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

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

20. Кузьменко Н.В. Учебное пособие для студентов по дисциплине «Автоматизация производственных процессов и производств». Часть I. Конспект лекций – Ангарск, 2005 – 77 с.

21. Промислові прилади та засоби автоматизації: Довідник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безповська, В.А. Бек та ін.. Київ : Вид-во «Віста», 2017. – 847 с.

22. Основи охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ztec.com.ua/ztec/e-lib/

23. Денисенко, А.Ф. Охорона праці : конспект лекцій для студ. екон. спец. заочної форми навчання. Ч.2 / А.Ф. Денисенко. — Суми : СумДУ, 2007. — 130 с.