

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: Ректифікаційна установка для розділення суміші сірковуглець – чотирихлористий вуглець. Розробити та модернізувати вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник для випарення чотирихлористого вуглецю.

Виконав:

студент групи ХМ.м-31

Карпенко Артем Сергійович

підпис

Залікова книжка

№23510219

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Керівник:

канд.техн.наук,доцент

Михайловський Я.Е.

підпис, дата

Підпис голови

(заступника голови) комісії

СУМИ 2024

Зміст

Вступ

1. Аналіз літературних джерел.....	10
1.1 Огляд на отримання, та альтернативні технології отримання речовини.....	10
1.2 Види теплообмінного обладнання.....	16
2. Технологічна частина.....	25
2.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	25
2.2 Теоритичні основи процесу.....	29
2.3 Опис конструкції проектованого апарата.....	35
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата.....	39
2.5 Гідравлічні розрахунки.....	43
2.6 Вибір допоможного обладнання.....	45
3. Проектно-конструкторська частина.....	49
3.1 Вибір конструкційних матеріалів.....	49
3.2 Розрахунки на міцність та стійкість.....	53
3.2.1 Розрахунок товщини стінки кожуха.....	53
3.2.2 Розрахунок товщини стінки еліптичні днища та кришки....	55
3.2.3 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	55
3.2.4 Розрахунок опори апарата.....	61
4. Будівельно-монтажна частина.....	64
4.1 Обґрунтування компанування основного обладнання та допоміжного обладнання.....	64
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт.....	72
5. Автоматика та автоматизація технологічного процесу.....	84
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу.....	84

5.2 Розроблення систем автоматизованого керування роботою обладнання	86
5.3 Модернізація процесу автоматизованого керування установкою..	92
6. Охорона праці.....	97
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва.....	97
6.2 Охорона довкілля.....	100

Висновки

Список літератури

Додаток А

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

Перелік умовних позначень

V - об'ємна витрата, м³/с;

P - тиск, МПа;

G - продуктивність, кг/с;

F - площа поверхні теплообміну, м²;

t - температура, К;

r - термічний опір, м² · К/Вт;

ρ - густина, кг/м³;

Q - теплові витрати, Вт;

ω - швидкість, м/с;

λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К);

α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² · К);

μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па · с ;

c - питома теплоємність, Дж/(кг · К);

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

S - товщина, м;

E - модуль пружності, МПа;

σ – напруження в матеріалі, МПа;

$[\sigma]$ - допустиме напруження, МПа;

φ - коефіцієнт міцності зварного шва;

N - потужність, Вт;

Pr - критерій Прандтля;

Re - критерій Рейнольдса;

Nu - критерій Нусельта.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

В розроблених технологічних схемах та схемах автоматизації установки використовують умовні позначення для розуміння тих чи інших приладів. Важливим аспектом є правильне розуміння та роз'яснення цих позначень.

LIA – Прилад для вимірювання рівня, показуючий, сигналізуючий.

QIR – Прилад для вимірювання якості продукту, показуючий, реєструючий.

TIRC – Прилад для виміру температури, показуючий, реєструючий, регулюючий.

FICA – Прилад для виміру витрати, показуючий, регулюючий, сигналізуючий.

PDIC – Прилад для виміру перепаду тиску, показуючий, автоматично регулюючий.

PIC – Прилад для виміру тиску, показуючий, автоматично регулюючий.

LC – Прилад для виміру рівня, автоматично регулюючий.

QR – Прилад для виміру якості продукту, реєструючий.

FI – Прилад для виміру витрати, показуючий.

TIC – Прилад для виміру температури, показуючий, автоматично регулюючий.

FC – Прилад для виміру витрати, автоматично регулюючий.

QRC – Прилад для виміру якості продукту, реєструючий, автоматично регулюючий.

FFIC – Прилад для виміру відношення витрати, показуючий, автоматично регулюючий.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

Вступ

Ректифікація є одним із ключових процесів у хімічній промисловості, що дозволяє здійснювати ефективне розділення складних багатоконпонентних сумішей. У випадку з сумішшю сірковуглецю та чотирихлористого вуглецю, особливі фізико-хімічні властивості цих речовин висувають підвищені вимоги до обладнання, що використовується для їхнього розділення. Сучасні ректифікаційні установки, попри суттєві досягнення у сфері автоматизації та енергоефективності, все ще потребують подальшого вдосконалення з огляду на зростаючі вимоги до продуктивності та зниження енергоспоживання.

На сьогоднішній день у промисловості з'явилися успішні приклади автоматизації ректифікаційних процесів і контролю їх параметрів, однак залишаються проблеми, пов'язані з оптимізацією конструкцій теплообмінного обладнання. Провідні компанії, як-от Alfa Laval, GEA, та Sulzer, активно впроваджують нові технології, спрямовані на підвищення ефективності та надійності установок. Науковці, такі як Л. Шугар та Ф. Сміт, зробили значний внесок у вивчення процесів масообміну та розробку нових методів для підвищення ефективності ректифікаційних установок.

Серед світових тенденцій у цій сфері можна відзначити акцент на розробку енергоефективних теплообмінників, використання нових матеріалів з високою стійкістю до агресивних середовищ, а також широке впровадження цифрових технологій для контролю та регулювання процесів. Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю оптимізації конструкції вертикального кожухотрубчастого теплообмінника для випаровування чотирихлористого вуглецю, що сприятиме зменшенню витрат енергії та підвищенню надійності системи.

Метою роботи є розробка та модернізація теплообмінника для випарення чотирихлористого вуглецю в умовах промислової експлуатації. Результати дослідження матимуть практичне значення для вдосконалення технологічного обладнання, що застосовується в ректифікаційних установках, та можуть бути корисними для подальших досліджень в галузі

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

енергоефективного поділу речовин.

В сучасній хімічній промисловості теплообмінники відіграють ключову роль, забезпечуючи ефективний теплообмін у широкому спектрі процесів: нагрівання, охолодження, конденсація, випаровування та ректифікація. Завдяки теплообмінникам хімічні процеси протікають за оптимальних температурних умов, з чітким контролем теплових параметрів.

Теплообмінники - це спеціалізовані пристрої, що сприяють передачі тепла між двома середовищами, не допускаючи їхнього змішування. Їх широко використовують у різноманітних промислових процесах. Головним завданням теплообмінника є забезпечення максимально ефективного теплопередавання між двома середовищами.

Теплообмінники знаходять широке застосування в хімічній промисловості, зокрема в складі з ректифікаційними колонами. Теплообмінники забезпечують розділення компонентів суміші шляхом багаторазового випаровування та конденсації. В ректифікаційних колонах теплообмінники виконують важливі функції: нагрівання сумішей, охолодження та конденсацію парів, що гарантує збереження та повторне використання цінних компонентів.

Важливо також підкреслити, що теплообмінники в хімічній промисловості роблять значний внесок у справу енергоефективності. Завдяки теплообмінникам, стає можливим рекуперація теплової енергії з відходів процесу та її подальше застосування для нагріву чи охолодження інших потоків. В результаті, зменшується споживання енергії та екологічний вплив промислових процесів

У випадку суміші сірковуглецю (CS_2) та чотирихлористого вуглецю (CCl_4), ректифікація є основним методом їхнього поділу, оскільки обидві речовини мають близькі температури кипіння, що ускладнює процес сепарації іншими методами. Ефективність розділення таких сумішей значною мірою залежить від оптимальної роботи ректифікаційної установки, а також від

ефективності теплообмінних апаратів, зокрема теплообмінників, які забезпечують випаровування і конденсацію компонентів.

Чотирихлористий вуглець — CCl_4 , прозора легкокипляча практично негорюча рідина із солодкуватим запахом, що нагадує хлороформ. У навколишньому середовищі тетрахлорометан в основному перебуває у вигляді газу. Чотирихлористий вуглець — продукт штучного походження й у природі природним шляхом не утворюється.

Модернізація ректифікаційних установок у сфері енергоефективності та автоматизації є важливим кроком для підвищення продуктивності та зниження експлуатаційних витрат. Використання інноваційних матеріалів і конструкцій у теплообмінниках дозволяє зменшити тепловтрати та оптимізувати енергоспоживання, що є ключовим для економії ресурсів і підвищення екологічної стійкості процесу. Застосування штучного інтелекту в автоматизації процесів додає нові можливості, такі як точний контроль параметрів у режимі реального часу, адаптація до змін умов, прогнозування можливих збоїв, а також самостійне налаштування процесу для досягнення максимального коефіцієнта корисної дії.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

1. Аналіз літературних

1.1 Огляд на отримання, та альтернативні технології отримання речовини

Прозора безбарвна рідина, має різкий солодкуватий запах; температура кипіння $\pm 76,75$ °С, т.пл. $\pm 22,96$ °С. Молекулярна маса – 153,83.

Чотирихлористий вуглець CCl_4 - прозора рідина із своєрідним запахом ($T_{\text{кип}} 75-77$ °С). Він змішується в будь-яких співвідношеннях з ацетоном, бенzenом, бензином, сірковуглецем та іншими органічними розчинниками. У воді за 20°С розчиняється близько 0,01% тетрахлорметану. CCl_4 не є вогнебезпечним, його пара у кілька разів важча за повітря.

Густина рідини

t, °С.....	-20	0	15	20
ρ , кг/ м ³	1668	1632	1602	1595

Коефіцієнт заломлення

t, °С.....	12	15	20	25
n (рідини).....	1,4674	1,4691	1,4603	1,4570

Коефіцієнт заломлення пари при 20 °С рівний 1,0018

Розчинність

Температура, °С.....	0	10	15	30	45	60	
Розчинність CCl_4 у воді, %.....	0,097	0,085	0,081	0,045	0,025	0,014	
Температура °С.....	0	10	20	30	40		
Розчинність води у CCl_4 %.....	0,005	0,007	0,008	0,011	0,015		
Температура °С.....		-7	0	10	20		
Розчинність хлористого водню в CCl_4 %	0,681	0,484	0,386	0,360			
Температура °С.....	-20	-12	0	5	10	15	25
Розчинність хлору в CCl_4 %....	67,0	39,8	20,0	16,6	13,95	11,58	8,65

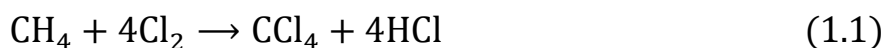
Чотирихлористий вуглець – негорюча, але вибухонебезпечна та пожежонебезпечна речовина. При контакті з відкритим вогнем або гарячими поверхнями він розкладається з утворенням фосгену.

Гранично допустима концентрація парів у повітрі робочої зони виробничих приміщень становить 20 мг/м³. Для атмосферного повітря населених пунктів максимальна разова ГДК становить 4 мг/м³, середньодобова – 2 мг/м³. У воді водойм, що використовуються для санітарно-побутових потреб, допустима концентрація не перевищує 0,3 мг/л.

Чотирихлористий вуглець має токсичні властивості. Він може викликати отруєння при вдиханні його парів, потраплянні в організм через шлунково-кишковий тракт або через шкіру та слизові оболонки.

Способи одержання чотирихлористого вуглецю

Хлорування метану:



Вичерпне хлорування парафінових вуглеводнів C₁ – C₃ чи їх хлорпохідних (зазвичай разом з перхлоретиленом), наприклад:



Високотемпературне хлорування ароматичних вуглеводнів чи їх хлорпохідних (можна будь-яких інших вуглеводнів і їх хлорпохідних) при тиску до 20,2 МПа:



Хлорування сірковуглецю:



Синтез з фосгену в присутності активованого вугілля:



Лабораторний метод одержання чотирихлористого вуглецю

Чотирихлористий вуглець отримують хлоруванням сірковуглецю за реакцією (1.4) у присутності монохлориду сірки. В реакційну колбу завантажують сірковуглець і монохлорид сірки у співвідношенні 4-5. Як каталізатор використовують залізні стружки. Через реакційну суміш пропускають хлор при температурі близько 30 °С до повного перетворення сірковуглецю.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>11</i>

Отриманий чотирихлористий вуглець відганяють від продуктів реакції, потім нейтралізують содою і сушать на силікагелі. Вихід кінцевого продукту досягає 99,9% при чистоті понад 95%.

Промислові способи виробництва чотирихлористого вуглецю

У промисловості чотирихлористий вуглець отримують декількома методами, включаючи: хлорування сірковуглецю, хлорування метану (див. отримання хлороформу), спільне хлорування з перхлоретиленом і повне хлорування вуглеводнів С1-С3 або їх хлорованих похідних (див. приготування перхлоретилен). Крім того, застосовують високотемпературне хлорування вуглеводнів або їх хлорпохідних під тиском до 20,2 МПа.

Спосіб хлорування сірковуглецю вважається застарілим через низку недоліків, серед яких використання токсичного і легкозаймистого сірковуглецю, а також багатостадійність процесу, незважаючи на економічну витрату хлору.

Процес отримання чотирихлористого вуглецю хлоруванням вуглеводнів (1.1) або їх хлорпохідних (1.2) при високих температурах і тисках включає кілька основних стадій:

- підготовка сировини,
- реакція хлоролізу,
- очищення продуктів реакції.

Технологічна схема виробництва чотирихлористого вуглецю (рис. 1.1)

Вихідні хлоровані сполуки надходять у колону (п.1, рис. 1.1), де вони розділяються на низькокиплячі та висококиплячі компоненти. Висококиплячі сполуки проходять через плівковий випарник (п.2), після чого залишки, такі як сажа і смоли, відправляються на спалювання. Низькокиплячі продукти сушать в апараті (п.3) з використанням силікагелю або алюмогелю.

Очищені низькокиплячі та висококиплячі компоненти через підігрівач (п.4) подають у реактор (п.5), куди також надходить висушений хлор з апарату (п.9). Реакція відбувається при температурі 550–600 °С і тиску 18,18–20,2

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

МПа, що забезпечує майже повне перетворення хлорованих вуглеводнів у чотирихлористий вуглець.

Після охолодження реакційна суміш, яка містить чотирихлористий вуглець, хлор, що не прореагував, і хлористий водень, надходить у колону (п.6) для відділення висококиплячих компонентів, які повертаються в реактор (п.5). Очищену реакційну суміш направляють у колону (п.7), де видаляють кислі гази.

З верхньої частини колони (п.7) відбирають чистий хлористий водень, а з середньої отримують суміш чотирихлористого вуглецю і хлору, яку направляють на повторне хлорування. Остаточне очищення чотирихлористого вуглецю проводиться в колоні (п.8), звідки кубова рідина повертається в реактор.

Колони (п.6) і (п.7) працюють під тиском близько 20,2 МПа, що забезпечує ефективність процесу.

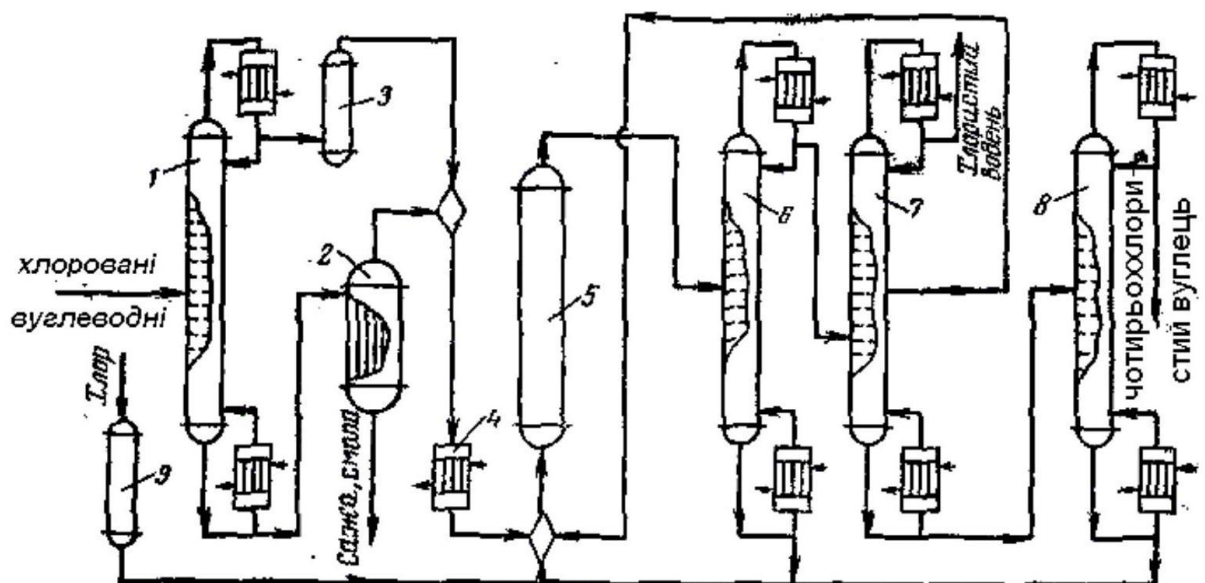


Рис. 1.1. Принципова блок-схема одержання чотирихлористого вуглецю при високих температурах і тисках.

1,6,7,8 - ректифікаційні колони; 2 - випарник; 3,9 - осушувачі; 4 - підігрівач; 5 - реактор.

Домішки, що утворюються в технічному продукті чотирихлористого вуглецю при промисловому виробництві:

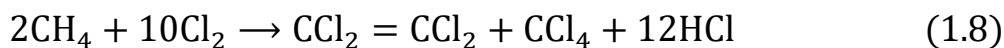
метиленхлорид



хлороформ



тетрахлоретилен



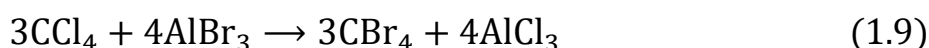
Для виробництва 3т чотирьохлористого вуглецю потрібно приблизно 2т метану і 3,3т хлору. У процесі утворюється 1,3 тонни хлористого водню та 1 тонна хлорорганічних відходів. Половина відходів складається з 1,2-дихлоретану, на третину суміші гексахлоретану і гексахлорбензолу, а решта - низькокиплячі хлорорганічні сполуки.

Технічні вимоги до готового продукту - чотирьохлористого вуглецю

	Вищий сорт	Сорт 1	Сорт 2
Зовнішній вигляд.....	Безбарвна прозора рідина		
Густина при 20 °С, кг/м ³	1593-1597		
Вміст, % не більше води.....	0,004	0,005	0,006
залишку після випарювання, %.....	0,0006	0,002	0,004
вуглеводнів і їх хлорпохідних.....	0,001	0,01	0,03
домішок, які визначаються газохроматографічним методом.....	0,05	0,10	0,14
в тому числі хлороформу.....	0,02	0,04	0,06
Сумарний вміст вільного хлору і фосгену.....	Витримує дослідження		
Кислотність в перерахунку на НСІ, %, не більше.....	0,0005	0,001	0,002

Хімічні властивості чотирьохлористого вуглецю

Галогенування. При дії на чотирьохлористий вуглець бромистого алюмінію при 100°С утворюється тетрабромметан:



Дія фтористого водню в присутності п'ятихлористої сурми при 250 – 300 °С і тиску 0,5 0,7 МПа приводить до утворення дифтордихлорметану:



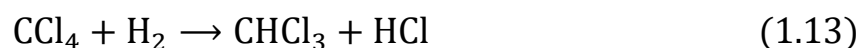
Гідроліз. При нагріванні з водою до 250 °С чотирихлористий вуглець гідролізується:



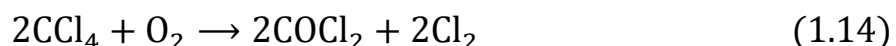
У випадку нестачі води утвориться фосген:



Відновлення. У присутності цинку чотирихлористий вуглець відновлюється до хлороформу:

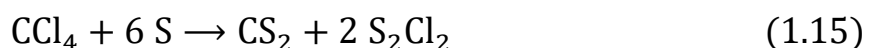


У більш жорстких умовах продуктом відновлення є метан. Окислення. У присутності заліза при температурах вище 300 °С чотирихлористий вуглець окислюється з утворенням фосгену і вільного хлору:

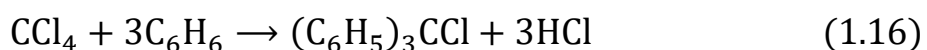


Сульфування. Чотирихлористий вуглець реагує із сіркою при 200 – 250 °С

утворенням сірковуглецю і дихлористої сірки:



Алкілування. У присутності хлористого алюмінію чотирихлористий вуглець алкілує ароматичні сполуки, даючи, наприклад, з бензолом трифенілхлорметан:



Піроліз. При нагріванні чотирихлористого вуглецю вище 600 °С утворюється перхлоретилен чи гексахлоретан або суміш з виділенням вільного хлору:



Дія алюмінію. Чотирихлористий вуглець реагує з амальгамованим алюмінієм з утворенням гексахлоретану:



Використання чотирьохлористого вуглецю

Основне використання чотирьохлористого вуглецю — виробництво фреонів-12 і 11, на які припадає понад 90% загального споживання. Він також використовується для вилучення заліза та інших металів з піриту, як фумігант для переробки зерна та в хлорорганічному синтезі.

1.2 Види теплообмінного обладнання

Теплообмінне обладнання ділиться за кількома ознаками. Залежно від основного технологічного призначення розрізняють нагрівачі, холодильники, випарники, конденсатори та ін. За фазовим станом робочого середовища апарати поділяються на газові, рідинні, газорідинні, парорідинні та інші. За способом створення теплообмінної поверхні розрізняють трубчасті, кожухотрубні, пластинчасті та інші типи теплообмінників. Орієнтуючись на напрямок руху теплоносіїв, їх розрізняють прямоточні, протиточні, з комбінованим або перехресним рухом. За способом компенсації теплового розширення пристрої бувають жорсткої, напівжорсткої та нежорсткої конструкції. Залежно від просторового розташування їх поділяють на горизонтальні, вертикальні та похилі, а за принципом монтажу — на автономні та блочні.

Найбільшого поширення набули кожухотрубні теплообмінники з гладких труб, які складають до 70% загального обсягу теплообмінного обладнання на установках газифікації. Проте останнім часом помітна тенденція до їх часткової заміни на повітряно-охолоджувальні пристрої та пластинчасто-ребристі теплообмінники. Популярність кожухотрубних теплообмінників пояснюється відпрацьованим виробництвом на машинобудівних заводах для різних типів середовищ, робочих тисків і температур, високим рівнем уніфікації та стандартизації, надійністю в експлуатації та значним досвідом їх використання в промисловість.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

Кожухотрубний теплообмінник — апарат, що складається з пучка гладких або ребристих труб, герметично закріплених у трубних решітках і встановлених в кожух, що виконує роль корпусу.

Уніфіковані кожухотрубні теплообмінники, які випускаються машинобудівними заводами, мають площу теплообміну від 1 до 1500 м². Розраховані на роботу під тиском від вакууму до 10 МПа і в діапазоні температур від -70 до +540 °С. Виготовляються з вуглецевих, корозійностійких, високолегованих і двошарових сталей, а також кольорових металів і їх сплавів.

Теплообмінники поділяються за способом компенсації температурних подовжень кожухотрубного пучка. Жорсткі конструкції (типу ТН) мають нерухомі трубчасті решітки, жорсткий кожух і нерухоме кріплення решіток. Напівжорсткі конструкції (типу ТК) оснащені температурним компенсатором на кожусі, причому кожух напівжорсткий, а трубні решітки закріплені нерухомо. До нежорстких конструкцій відносяться тип ТП, в якому використовується температурний компенсатор у вигляді плаваючої головки, жорсткого кожуха, нерухоме кріплення однієї сітки і вільне переміщення іншої, а також тип ТУ, що забезпечує U- образна форма. Теплообмінні труби з жорстким кріпленням однієї сітки і можливістю вільного переміщення труб.

Основні види горизонтальних теплообмінників напівжорсткої конструкції наведені на рисунку 1.2.

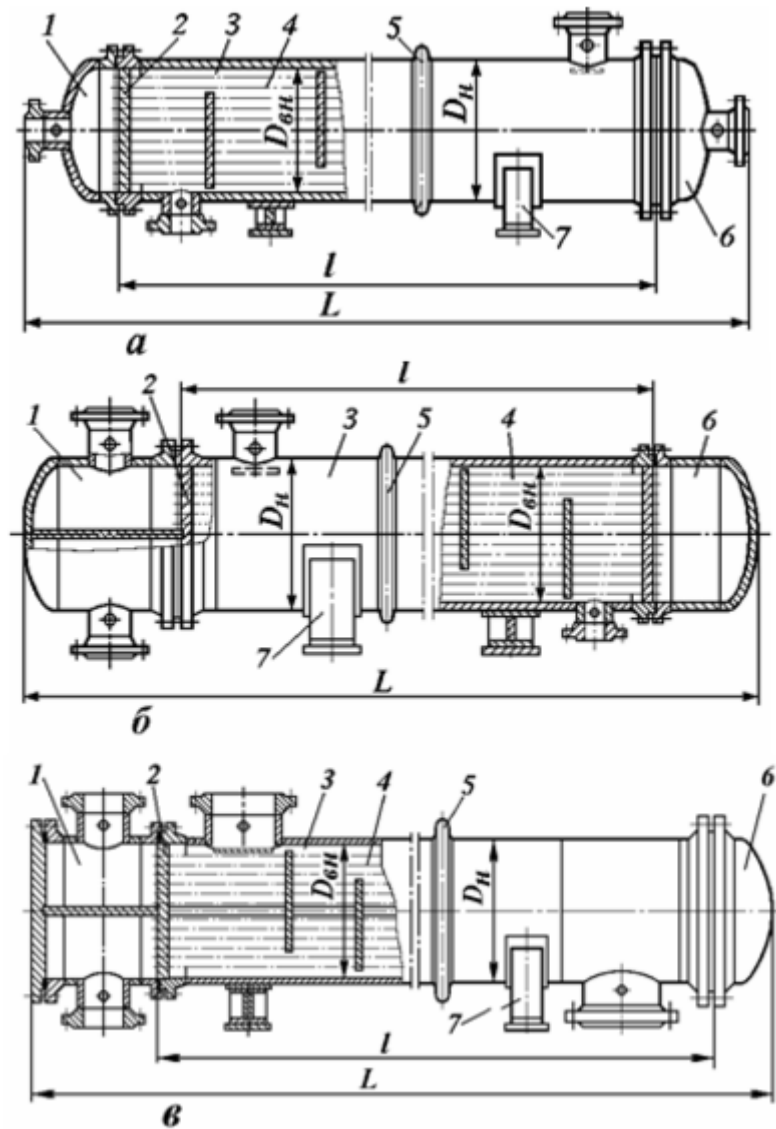


Рисунок 1.2 - Кожухотрубні горизонтальні теплообмінники напівжорсткої конструкції: а - одноходовий; б - багатоходовий з двома еліптичними кришками; в - багатоходовий з плоскою кришкою; 1 - розподільна камера; 2 - трубна решітка; 3 - корпус - кожух; 4 - трубчатка; 5 - компенсатор температурний; 6 - кришка задня; 7 - опора.

Кожухотрубні теплообмінники нежорсткої конструкції застосовуються для компенсації значних температурних подовжень трубного пучка, що виникають при різниці температур теплоносіїв понад 50°C . У таких апаратах кожухотрубний пучок може вільно рухатися один відносно одного.

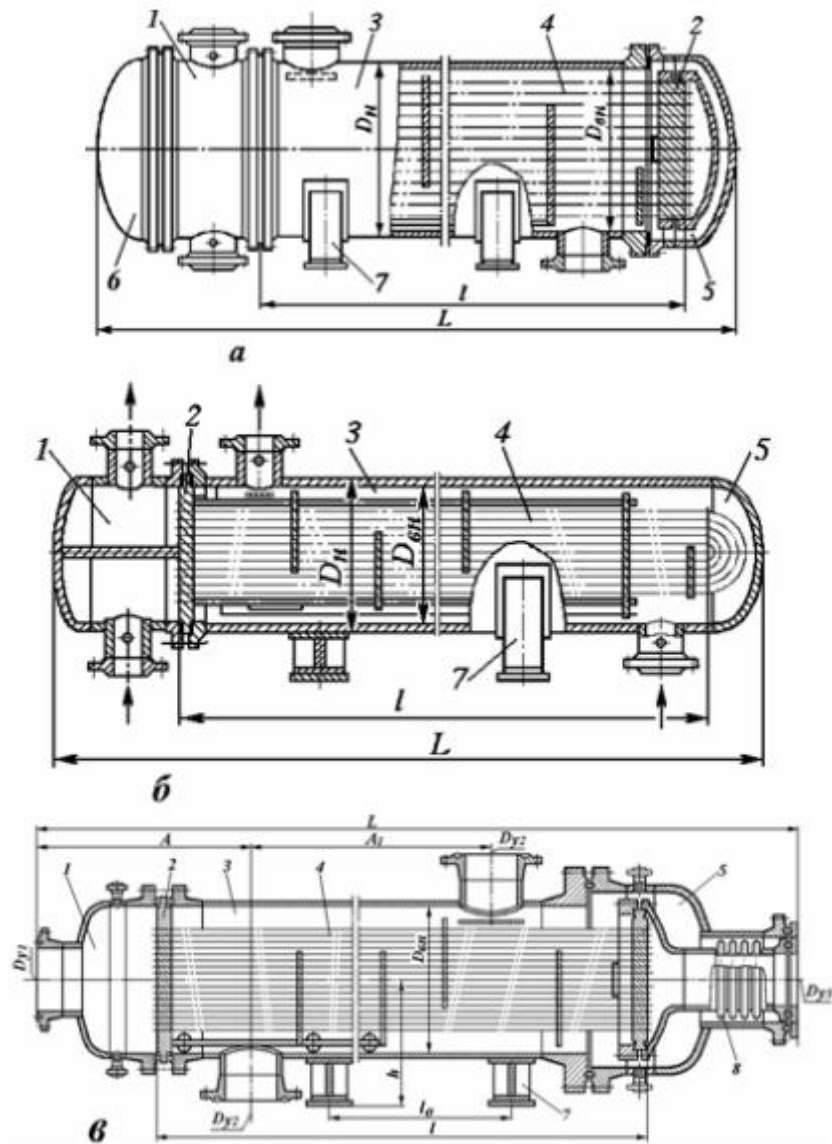


Рисунок 1.3 - Кожухотрубні теплообмінники нежорсткої конструкції:
 а - з плаваючою голівкою; б - з U-подібними трубами; в - з хвилястим компенсатором; 1 - розподільна камера; 2 - трубна решітка; 3 - корпус; 4 - трубчатка; 5 - кришка задня; 6 - кришка передня; 7 - опора; 8 - компенсатор.

Конденсатори широко застосовуються в технологічних установках як для зрідження окремих компонентів газових сумішей при їх охолодженні, так і для підігріву теплоносіїв при конденсації водяної пари. Найбільш поширені конденсатори горизонтального і вертикального типів, в яких конденсація теплоносія відбувається в трубному або міжтрубному просторі.

При конденсації багатокомпонентних газових сумішей, що подаються під високим тиском, містять агресивні компоненти і вимагають постійного контролю конденсату, що виділяється, газ доцільно направляти в міжтрубний простір. Це дозволяє знизити витрати на корозійностійкі матеріали, знизити експлуатаційні витрати та продовжити термін служби обладнання.

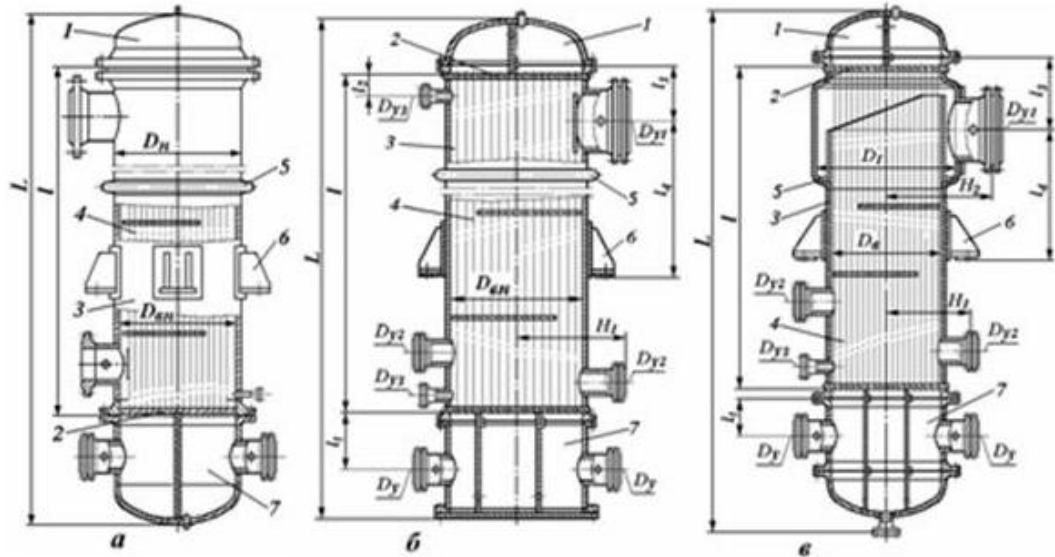


Рисунок 1.4 - Кожухотрубні конденсатори вертикальні напівжорсткого типу: а - з нероз'ємною розподільною камерою; б - з роз'ємною камерою і плоским днищем; в - з роз'ємною камерою і двома еліптичними кришками; 1 - кришка; 2 - трубна решітка; 3 - корпус-кожух; 4 - трубчатка; 5 - температурний компенсатор; 6 - опора; 7 - камера розподільна.

Залежно від умов експлуатації застосовують різні типи конденсаторів: жорсткі з нерухомими сітками, напівжорсткі з компенсатором на корпусі (рис.1.4, а,б,в), конструкції з плаваючою головкою, що не мають жорсткої фіксації (рис. 1.5), а також конденсатори з U- подібними трубками.

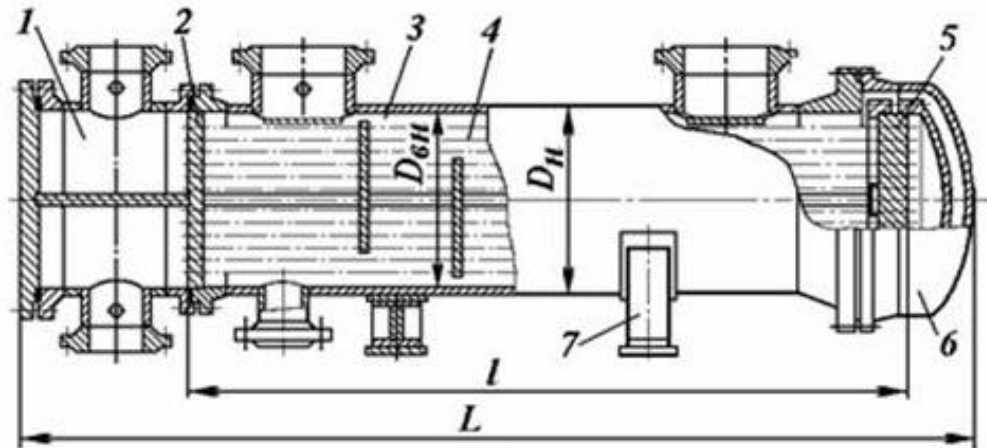


Рисунок 1.5 - Кожухотрубний горизонтальний багатходовий конденсатор з плаваючою головкою (КП) з роз'ємною камерою і плоским днищем; 1 - камера розподільна; 2 - трубна решітка; 3 - корпус; 4 - трубчатка; 5 - плаваюча голівка; 6 - кришка; 7 - опора.

У газороздільних установках зазвичай використовують горизонтальні випарники, де гарячий теплоносій подається в міжтрубний простір, а випаровування холодного теплоносія відбувається в міжтрубному просторі. Для відділення крапель киплячої рідини організована спеціальна парова зона. Температурні деформації труби у випарниках з паровим простором компенсують за допомогою П-подібних труб або труб з плаваючою головкою (рис. 1.6, а, б).

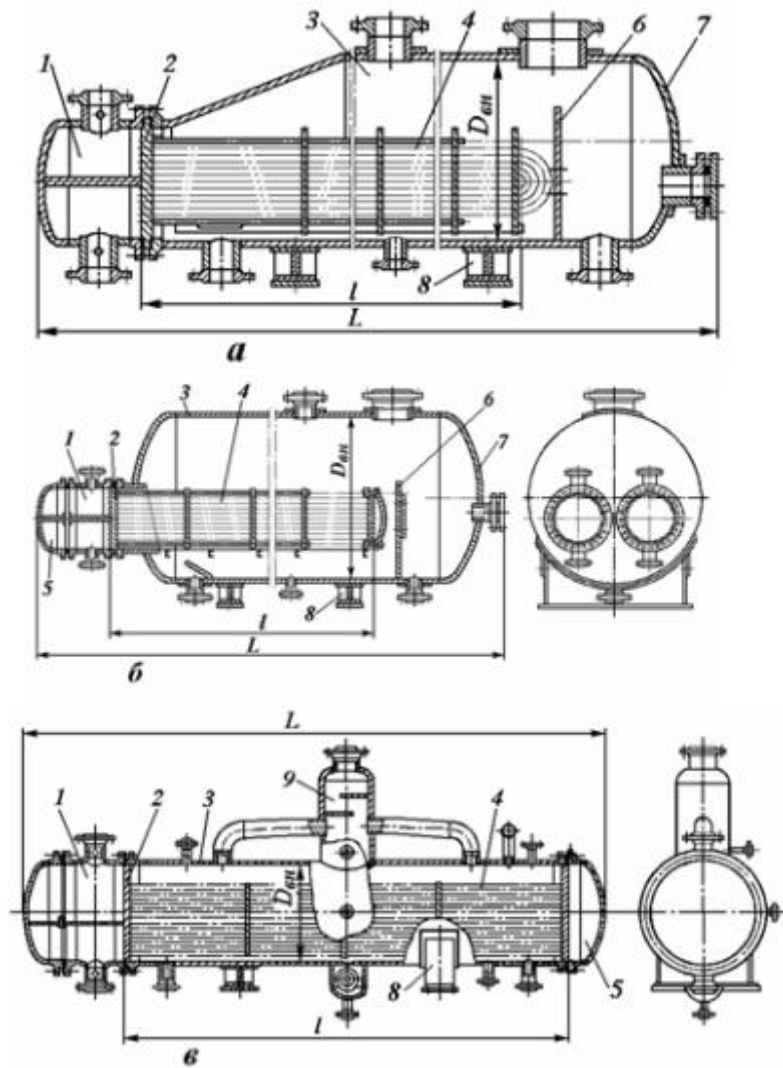


Рисунок 1.6 - Теплообмінники - випарники з паровим простором: а - з конічним днищем і U- подібними трубками; б - з плаваючою головкою і двома трубними пучками; в - кожухотрубний з сухопарником; 1 - розподільна камера; 2 - трубна решітка; 3 - корпус; 4 - трубчатка; 5 - кришка еліптична; 6 - переливна планка; 7 - днище; 8 - опора; 9 - сухопарник.

Перевагами кожухотрубних теплообмінників є:

Надійність і тривалий термін служби. Простота конструкції кожухотрубних теплообмінників дозволяє їм працювати десятиліттями. Це пов'язано з тим, що кожен елемент виготовлений з металу значної товщини, що робить пристрій стійким до корозії та механічних впливів, практично не впливаючи на його працездатність.

Експлуатаційні характеристики. Цей тип пристрою здатний витримувати температуру понад 900 °С і тиск понад 60 бар, що дозволяє

використовувати кожухотрубні теплообмінники практично для будь-яких завдань. Вони також підходять для вакуумних умов або там, де потрібно мінімізувати втрати тиску. Це досягається за рахунок відсутності гофри на трубках, що запобігає надмірне збільшення швидкості потоку всередині пристрою.

Ремонтопридатність. При виході з ладу деяких труб кожухотрубних теплообмінників їх завжди можна відключити, що дозволяє продовжувати роботу пристрою в штатному режимі без істотних перебоїв.

Безпека експлуатації. Своєю назву кожухотрубний теплообмінник отримав завдяки двом ключовим компонентам конструкції - корпусу і зібраним в пучок трубам. Завдяки наявності корпусу даний пристрій можна використовувати для роботи з агресивними або шкідливими середовищами. Така конструкція ефективно запобігає викиду шкідливих речовин у навколишнє середовище та знижує ризик виникнення небезпечних ситуацій на виробництві.

Стійкість до перепадів тиску. На відміну від інших типів теплообмінного обладнання, кожухотрубні теплообмінники досить стійкі до зміни та перепадів тиску коштом своєї конструкції. Цей факт значно підвищує надійність апарату і знижує ймовірність виходу з ладу.

Технічне обслуговування. На кресленнях кожухотрубного теплообмінника відразу помітно, що доступ до трубного пучка і міжтрубного простору зручний і легкий. Це дуже важливо, коли необхідно провести технічне обслуговування, сервісні роботи або перевірку обладнання.

До недоліків відносять:

Великі габарити апаратів.

Високу вартість.

Висновок

Аналізуючі літературні джерела, можемо зазначити, що чотирихлористий вуглець є найважливішою областю застосування хімічних виробництв.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

Основним методом отримання чотирихлористого вуглецю, для магістерської роботи, метод з використанням сірковуглецю. На основі цього далі в пояснювальній записці розроблена і наведена відповідна інформація.

Основним розроблювальним апаратом обраний - кожухотрубний теплообмінний апарат з нерухомими трубками (типу ТН). З подальшим вибором, розробкою, обґрунтування вибору і модернізації.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						24
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2 Технологічна частина

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Ректифікаційна установка являє собою комплекс технологічного обладнання, призначеного для розділення рідких сумішей на складові частини, які мають різні температури кипіння. Її основне призначення — проведення процесу ректифікації, що базується на послідовному випаровуванні та конденсації компонентів суміші з метою отримання чистих фракцій.

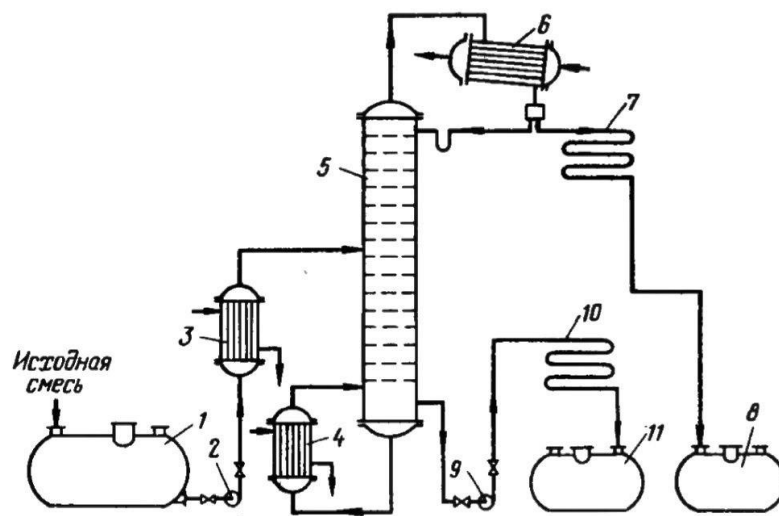


Рисунок 2.1 – Схема ректифікаційної установки

1 – ємність для вихідної суміші; 2, 9 – насоси; 3 – теплообмінник-підігрівач; 4 – випарник; 5 – ректифікаційна колона; 6 – дефлегматор; 7 – холодильник дистиляту; 8 – ємність для збору дистиляту; 10 – холодильник кубової рідини; 11 – ємність для кубової рідини.

Установка працює наступним чином:

Вихідна суміш з проміжної ємності (1) за допомогою відцентрового насоса (2) подається в теплообмінник (3), де нагрівається до температури кипіння. Підігріту суміш спрямовують у ректифікаційну колону (5) на тарілку, склад рідини на якій відповідає складу вихідної суміші. Спускаючись вниз по колоні, рідина контактує з паром, який піднімається вгору. Цей пар утворюється внаслідок кипіння кубової рідини у випарнику (4). Початковий склад пари близький до складу кубового залишку, який збіднений на

легколетючий компонент. У процесі масообміну між рідиною та паром останній поступово збагачується легколетючим компонентом. Для досягнення більшого збагачення верхню частину колони зрошують флегмою, склад якої визначається флегмовим числом. Флегма отримується шляхом конденсації пари, що виходить із колони, в дефлегматорі (6). Частина конденсату відводиться як готовий продукт розділення — дистилат, який охолоджується в теплообміннику (7) і направляється в проміжну ємність (8). Кубова рідина, збагачена важколетючим компонентом, безперервно відводиться з нижньої частини колони насосом (9). Вона охолоджується у теплообміннику (10) і транспортується до ємності (11) як побічний продукт.

Таблиця 2.1 – Характеристики основного обладнання

	Обладнання	Основні характеристики
1.	Ємність	D=4730мм., Н=7000мм.
2.	Насоси (Х45/31)	$Q=1,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, Н=25 м, $\eta_{\text{н}}=0,6$.
3.	Теплообмінник-підігрівач	D=600мм., Н=4300.
4.	Випарник	D=800мм., Н=4200мм.
5.	Ректифікаційна колона	D=1000мм., Н=17800мм.
6.	Дефлегматор	D=600мм., Н=4300.
7.	Холодильник дистилату	D=600мм., Н=4300.
8.	Холодильник кубової рідини	D=600мм., Н=4300.

Основні компоненти ректифікаційної установки за даною схемою (рис. 2.1) включають:

- Ємність для вихідної суміші: В цій ємності розміщується початкова суміш.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Насоси: Використовуються для перекачування суміші та регулювання тиску у системі.

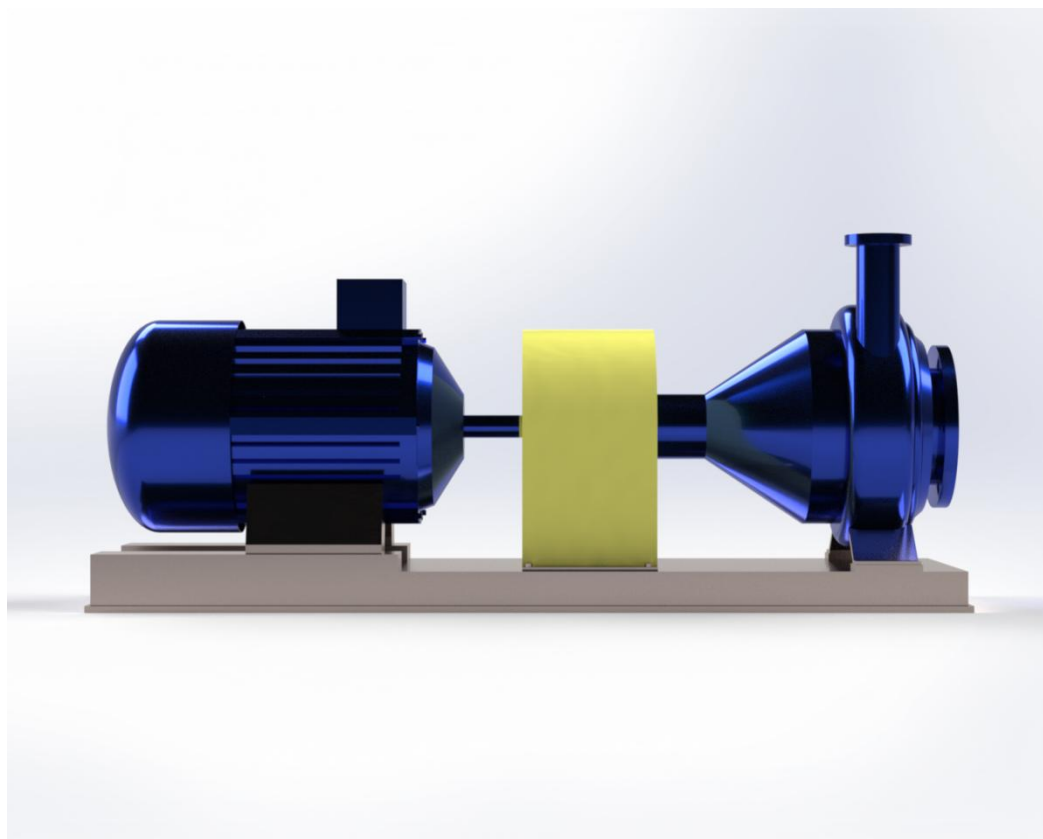


Рисунок 2.3 – Зображення насосної установки

- Теплообмінник-підігрівач - Використовується для підігріву суміші перед введенням у випарник.
- Випарник - Це місце, де суміш піддається кипінню, та відбувається парова фракціяція компонентів.
- Ректифікаційна колона - Головний елемент установки, де відбувається процес ректифікації. У колоні встановлені плати або упаковка для забезпечення ефективного контакту між паром та рідиною, що дозволяє розділити компоненти за їх різною леткістю.

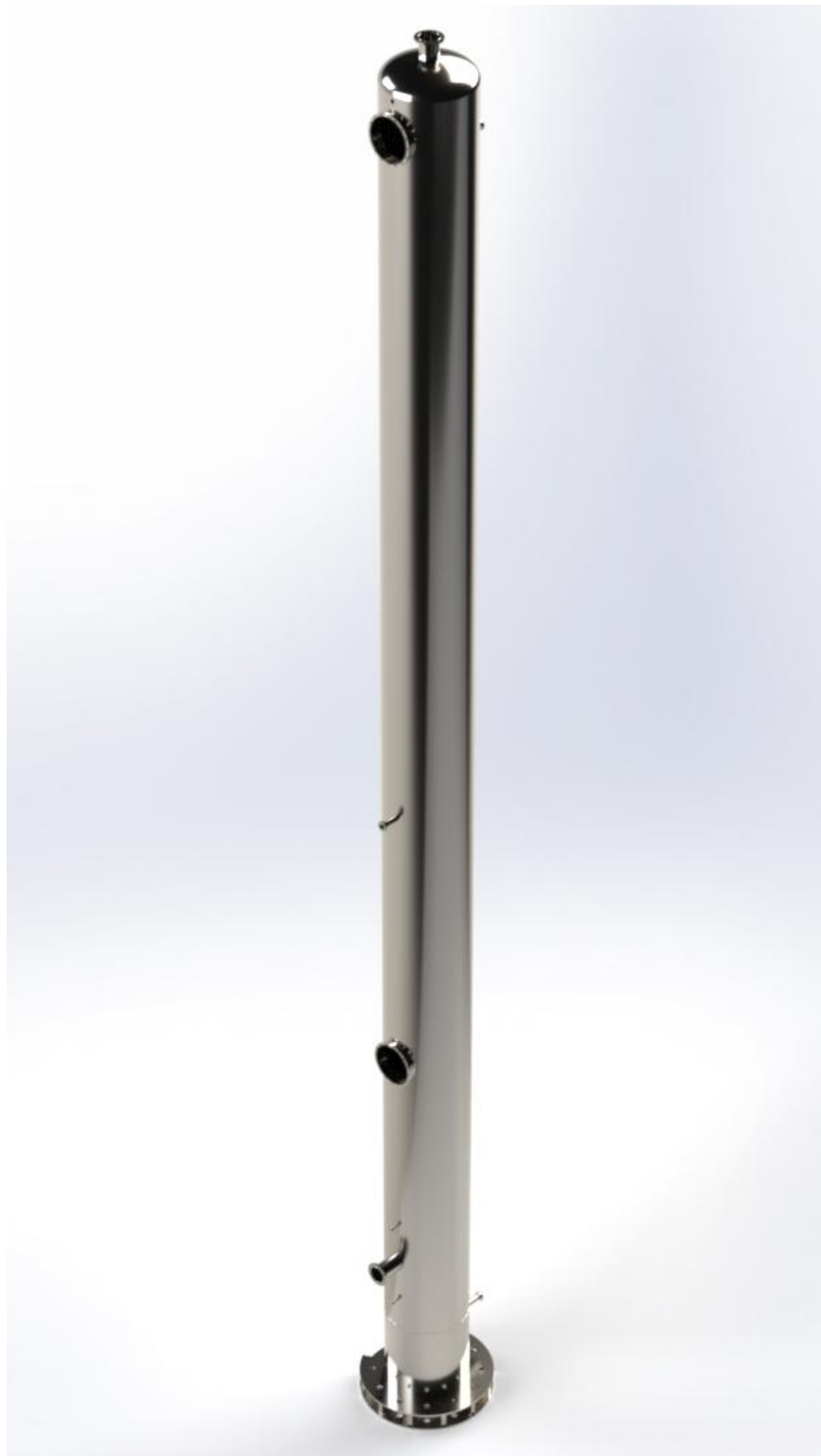


Рисунок 2.4 – Зображення ректифікаційної колони

- Дефлегматор - Використовується для охолодження та конденсації парової фракції, що випаровується знизу колони. Це дозволяє повернути частину утвореного дистиляту назад у колону для подальшої ректифікації

- Холодильник дистилляту - Використовується для охолодження та конденсації чистої фракції дистилляту, яка випаровується у верхній частині ректифікаційної колони. Цей дистиллят збирається у відповідній ємності.



Рисунок 2.5 – Зображення холодильного апарату

- Ємність для збору дистилляту - Тут збирається очищений дистиллят, який буде використовуватись для подальшої переробки або реалізації.
- Холодильник кубової рідини - Використовується для охолодження та конденсації непотрібних фракцій або кубової рідини, які зібралися у нижній частині ректифікаційної колони.
- Ємність для кубової рідини - Тут збирається відокремлена кубова рідина, яка може бути подальше використана або оброблена в інших процесах.

2.2 Теоретичні основи процесу

В цьому розділі основ процесу ректифікації висвітлюється статика і кінетика процесу, основні закони і закономірності та вплив різних фізико-хімічних факторів на проведення процесу.

Статика й кінетика процесу:

Статику та кінетику процесу можна описати наступним чином:

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

Статика процесу ректифікації описує рівноважні співвідношення між складовими парової та рідкої фаз у колоні. Ці співвідношення описуються законом розподілу, який визначає, як розподіляється кожен компонент між парою та рідиною. Найпростішим законом розподілу є закон Рауля.

Кінетика процесу ректифікації описує швидкість, з якою встановлюється рівновага між парою та рідиною. Ця швидкість визначається масоперенесенням компонентів між фазами. Масоперенесення відбувається завдяки дифузії та конвекції. Дифузія - це процес, при якому молекули компонента переміщуються з області з високою концентрацією в область з низькою концентрацією. Конвекція - це процес, при якому частинки рідини або пари переносяться потоком.

Основні закони й закономірності:

Закон Рауля встановлює, що частковий паровий тиск компонента в розчині прямо пропорційний його мольній частці в цьому розчині. Ця закономірність є основою для опису поведінки парової фази в ректифікаційній колоні, де відбувається процес випаровування та конденсації компонентів, забезпечуючи їх розділення на фракції.

Закон Дальтона стверджує, що загальний паровий тиск суміші рідин, які не взаємодіють одна з одною, є сумою парових тисків кожного компонента, взятого окремо. Ця закономірність дозволяє визначати паровий тиск кожної фракції в ректифікаційній колоні, забезпечуючи точне розуміння розподілу компонентів між рідкою і паровою фазами.

Закон Генрі визначає, що концентрація компонента в газовій фазі пропорційна його розчинності в рідкій фазі за заданої температури. Ця залежність є ключовою для аналізу масопереносу та формування концентраційного профілю у ректифікаційній колоні, оскільки вона враховує рівновагу між фазами під час процесу розділення.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

Вплив різних фізико-хімічних факторів на проведення процесу.

Ректифікаційний процес залежить від ряду фізико-хімічних факторів, таких як розмір частинок, розчинність, теплопровідність і в'язкість компонентів суміші.

Швидкість ректифікації залежить від трьох основних факторів:

- Різниця температур між фракціями: Чим більша різниця температур між фракціями, тим швидше буде відбуватися їх розділення.
- Різниця концентрацій між фракціями: Чим більша різниця концентрацій між фракціями, тим швидше буде відбуватися їх розділення.
- Ефективність контакту між парою та рідиною: Чим ефективніше пар контактує з рідиною, тим швидше буде відбуватися їх масообмін, а значить, і розділення фракцій.

Ефективність контакту між парою та рідиною, в свою чергу, залежить від конструкції ректифікаційної колони та умов роботи. Фактори, які впливають на ефективність контакту, включають:

- Тип колони: Існує багато різних типів ректифікаційних колон, кожна з яких має свої переваги та недоліки.
- Розмір насадки: Розмір насадки в колоні впливає на площу поверхні контакту між парою та рідиною.
- Швидкість потоку: Швидкість потоку рідини та газу в колоні впливає на час контакту між ними.
- Тиск: Тиск в колоні впливає на летючість компонентів суміші.

Виходячі з того, що основним проектувальним апаратом є теплообмінник, важливо навести відомості до процесів, які стосуються теплообміна:

Теплообмін — це процес передачі теплової енергії між двома тілами або системами з різними температурами. Він здійснюється завдяки їхньому контакту або близькому розташуванню і залежить від температурного перепаду між об'єктами.

Розрізняють плівкову і краплинну конденсацію пари на охолоджуваній поверхності. Коефіцієнти тепловіддачі при краплинній конденсації вище, ніж при пленічній. Однак у промислових апаратах краплинна конденсація практично не спостерігається. При плівковій конденсації утворюється безперервна плівка рідини. Коефіцієнти тепловіддачі залежать від товщини плівки конденсату і швидкості її руху. При конденсації пари всередині горизонтальних труб коефіцієнти тепловіддачі істотно залежать від структури двофазного потоку. Розрізняють плівкову і краплинну конденсацію пари на охолоджуваній поверхності. Коефіцієнти тепловіддачі при краплинній конденсації вище, ніж при пленічній. Однак у промислових апаратах краплинна конденсація практично не спостерігається. При плівковій конденсації утворюється безперервна плівка рідини. Коефіцієнти тепловіддачі залежать від товщини плівки конденсату і швидкості її руху. При конденсації пари всередині горизонтальних труб коефіцієнти тепловіддачі істотно залежить від структури двофазного потоку.

Для випадку конденсації пари на вертикальній поверхні та безхвильової течії плівки конденсату Нуссельт отримав наступне вираз середнього коефіцієнта тепловіддачі по висоті H :

$$\alpha = 0,943 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_{ж}^3 \rho_{ж} (\rho_{ж} - \rho_{п}) g \cdot r}{\mu_{ж} (t_{конд} - t_{ст}) \cdot H}} \quad (2.1)$$

Теоретична формула Нуссельта з поправкою на хвилеутворення у плівці (при $\rho_{ж} \gg \rho_{п}$) має вид:

$$\alpha = 1,15 \sqrt[4]{\frac{\lambda_{ж}^3 \cdot \rho_{ж}^3 \cdot r \cdot g}{\mu_{ж} \cdot (t_{конд} - t_{ст}) \cdot H}} \quad (2.2)$$

де $t_{конд}$, $t_{ст}$ - температури насиченої пари та стінки; r - прихована теплота конденсації пари.

Фізичні властивості конденсату беруться за середньої температури плівки рідини

$$t_{\text{ІНІ}} = \frac{(t_{\text{конд}} + t_{\text{ст}})}{2} \quad (2.3)$$

Витрату конденсату Γ можливо виразити із теплового балансу як:

$$\Gamma = \alpha(t_{\text{конд}} - t_{\text{ст}}) \cdot \frac{H}{r} = q \cdot \frac{H}{r} \quad (2.4)$$

Шляхом спільного вирішення рівнянь (2.2) (2.4) отримують:

$$\frac{\alpha}{\lambda_{\text{ж}}} \left[\frac{\mu_{\text{ж}}^2}{\rho_{\text{ж}}(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}) \cdot g} \right]^{0,33} = 1,47 Re^{-0,33} \quad (2.5)$$

Число Рейнольдса розраховують на відстані H від верха поверхні:

$$Re = \frac{4\Gamma}{\mu_{\text{ж}}} \quad (2.6)$$

Число Прандтля враховує фізичні властивості конденсату при середній температурі плівки:

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

Швидкість теплопередачі в апараті визначається коефіцієнтом теплопередачі, що відображає кількість тепла, яке передається за одиницю часу від гарячого теплоносія до холодного через 1 м^2 поверхні теплообміну при середній температурній різниці між теплоносіями в 1 градус.

Залежність коефіцієнта теплопередачі від окремих коефіцієнтів тепловіддачі при передачі тепла через одношарову (чисту) стінку описується наступним рівнянням:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{конд}}} + R_B + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + R_{\text{чхв}} + \frac{1}{\alpha_{\text{кип}}} \right)} \quad (2.8)$$

де $\delta_{ст}$ – товщина стінки теплообмінних труб, $\delta_{ст} = 0,002$ м; $\lambda_{ст}$ – теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі $\lambda_{ст} = 17,5$ Вт/(м·К).

Для нагрівання середовищ використовують різні теплоносії, такі як водяна пара, гаряча вода, нагріте повітря, димові гази, електричний струм тощо. Найбільш поширеним промисловим теплоносієм є насичена водяна пара, яка має кілька переваг порівняно з іншими теплоносіями:

1. низькі витрати завдяки високій питомій теплоті конденсації,
2. високий коефіцієнт тепловіддачі,
3. легкість транспортування трубопроводами до теплообмінника,
4. простота автоматизованого регулювання температури нагрівання,
5. рівномірність нагріву матеріалу, оскільки конденсація пари відбувається за постійної температури.

Існує кілька методів нагрівання:

1. глухою парою,
2. насиченою парою,
3. перегрітою парою,
4. гарячою водою,
5. димовими газами,
6. високотемпературними теплоносіями,
7. електричним струмом.

При нагріванні насиченою парою перегріту водяну пару рідко застосовують як тепловий агент. Для запобігання виходу неконденсованої пари із зони конденсації використовують спеціальні пристрої — конденсатовідвідники. Наявність повітря або інших газів, таких як N_2 , O_2 , CO_2 , у парі знижує коефіцієнт тепловіддачі.

- Теплового навантаження апарата. Розраховують за формулою:

$$Q = G_{чхв} \cdot r_{чхв} \quad (2.9)$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де $G_{\text{чхв}}$ - витрата холодного теплоносія (кг/год), $c_{\text{чхв}}$ - питома теплоємність холодного теплоносія (Дж/(кг·К)).

- Середня рушійна сила процесу; - залежить від початкових та кінцевих температур кожного теплоносія, а також від схеми взаємного руху теплоносіїв.

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{конд}} - t_{\text{кип}} \quad (2.10)$$

2.3 Опис конструкції проектованого апарата

Об'єкт який розробляється є: «Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник для випарення чотирихлористого вуглецю».

Випарник – це теплообмінник, в якому відбувається обмін теплової енергії між рідиною і парами газу. Відбувається фізичний принцип передачі теплової енергії: від більш нагрітого тіла до більш холодного.

Кожухотрубні теплообмінники є одним із найпоширеніших видів теплообмінного обладнання в світі.

Випарник показаний на схемі ректифікаційної установки (рисунок 2.1) під номером – 4.

Принципова схема вертикального одноходового кожухотрубного теплообмінника:

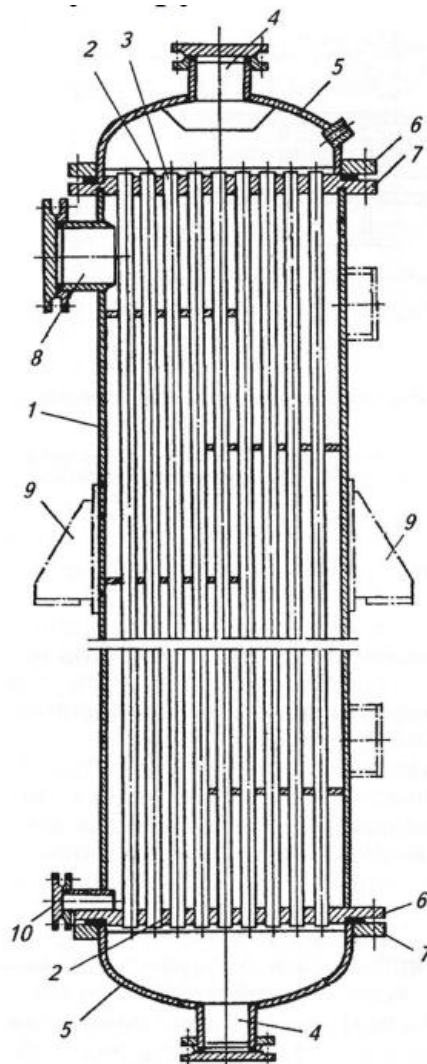


Рисунок 2.6– Схема теплообмінника

Апарат має металевий циліндричний корпус в якому розташовані дві трубні решітки 2 з паралельними нагрівальними трубками 3, кінці яких завальцьовані в решітках. Рідина, яка нагрівається підводиться і відводиться через штуцери 4, а гріюча пара подається через штуцер 8. З обох торців корпус закритий кришками 5 з фланцями 7.

Ущільнення між трубними решітками і фланцями кришок досягається прокладками 6. Корпус для кріплення має опорні лапи 9. Конденсат зливають зі штуцера 10.

Для покращення процесу теплообміну в міжтрубному просторі встановлені перегородки, які сповільнюють рух теплоносі.

У кожухотрубних теплообмінниках використовуються труби з латуні, міді або сталі діаметром від 20 до 90 мм. Труби з більшим діаметром застосовують для в'язких або забруднених рідин.

Під час встановлення теплообмінників слід враховувати напрямок руху робочих середовищ. Гаряча рідина, яку потрібно охолодити, повинна подаватися зверху і рухатися вниз, тоді як холодна рідина повинна підніматися вгору, подаючись знизу. Пар подається у верхній патрубок міжтрубного простору, а конденсат відводиться з нижньої частини.

Принцип роботи

Принцип роботи теплообмінників досить простий: один із теплоносіїв протікає всередині трубок, утворюючи так званий трубний простір, тоді як інший теплоносій циркулює зовні трубок у міжтрубному просторі.

Під час цього процесу тепла енергія від гарячого теплоносія передається через стінки трубок до холоднішого теплоносія.

Варто зауважити, що максимальна ефективність теплообміну досягається, коли теплоносії рухаються в протилежних напрямках. Такий протитечійний рух сприяє кращому використанню поверхні трубок, що дозволяє максимально ефективно та швидко передавати теплову енергію між теплоносіями.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37



Рисунок 2.7 –Зображення проєктованого теплообмінника

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Вхідні данні:

Витрата чотирихлористого вуглецю 72000 кг/год під атмосферним тиском. Гарячий теплоносій – насичена водяна пара під тиском 2 ат.

Властивості теплоносіїв.

Розрахунок технологічних параметрів теплообмінника-випарника не може бути проведений без визначення основних теплофізичних характеристик теплоносіїв.

Для чотирихлористого вуглецю при температурі кипіння 77°C [1] визначають:

- Питома теплота $r_{\text{чхв}} = 197800$ Дж/кг
- Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{\text{чхв}} = 0,093$ Вт/(м · К)
- Динамічна в'язкість $\mu_{\text{чхв}} = 0,49 \cdot 10^{-3}$ Па · с
- Густина рідини $\rho_{\text{чхв}} = 1478$ кг/м³
- Критичний тиск $P_{\text{кр}} = 45$ ата
- Кінематична в'язкість рідини $\nu_{\text{чхв}} = \frac{\mu_{\text{чхв}}}{\rho_{\text{чхв}}} = 0,33 \cdot 10^{-6}$ м² /с
- $\sigma_{\text{чхв}} = 0,02$ Н/м
- Густина в пароподібному стані $\rho_{\text{пчхв}} = 5,3$ кг/м² (Розраховано за законом газового стану)

Для насиченої водяної пари під тиском 2 ат [1].

- Температура конденсації $t_{\text{конд}} = 120$ °С
- Питома теплоємність $c_{\text{вп}} = 4230$ Дж/(кг · К)
- Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{\text{вп}} = 0,686$ Вт/(м · К)
- Динамічна в'язкість $\mu_{\text{вп}} = 0,231 \cdot 10^{-3}$ Па · с
- Густина конденсату $\rho_{\text{г}} = 943$ кг/м³
- Питома теплота $r_{\text{вп}} = 2203940$ Дж/кг
- Густина водяної пари $\rho_{\text{пв}} = 1,12$ кг/м³

Температурний режим апарата. Температурна схема процесу:

Водяна пара 120 → 120;

Чотирихлористий вуглець 77 ← 77.

Теплове навантаження випарника, згідно формули (2.9)

$$Q = G_{\text{чхв}} \cdot r_{\text{чхв}} = \frac{72000}{3600} \cdot 197800 = 3956000 \text{ Вт.}$$

Середня рушійна сила процесу, згідно формули (2.10):

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{конд}} - t_{\text{кип}} = 120 - 77 = 43$$

За таблицею 2.2 [1] приймаємо орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі: $K_{\text{оп}} = 1000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Орієнтовне значення поверхні теплообміну

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{3956000}{1000 \cdot 43} = 92 \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

З додатку 33 [1] обираємо випарник с поверхнею теплообміну $F = 109 \text{ м}^2$, діаметром $D=0,8 \text{ м}$, труби розміром $25 \times 2 \text{ мм}$, число ходів $n_x = 1$, число труб $n_{\text{тр}} = 465$, довжина труб $l_{\text{тр}} = 3 \text{ м}$, та прохідним перерізом одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,161 \text{ м}^2$

Питоме теплове навантаження

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{3956000}{109} = 36290 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (2.12)$$

Критичне теплове навантаження

$$\begin{aligned} q_{\text{кр}} &= 23660 \cdot \left(\frac{d_{\text{вн}}^2}{d_{\text{тр}}} \right)^{0,35} \cdot P_{\text{кр}}^{0,61} \cdot \left(\frac{P}{P_{\text{кр}}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{1-P}{P_{\text{кр}}} \right) = \quad (2.13) \\ &= 23660 \cdot \left(\frac{0,021^2}{3} \right)^{0,35} \cdot 4500^{0,61} \cdot \left(\frac{100}{4500} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{1-100}{4500} \right) = 69530 \text{ Вт/м}^2 \end{aligned}$$

Можемо зробити висновок, що теплове навантаження менше критичного.

Витрата конденсату за формулою (2.4):

$$\Gamma = \frac{q \cdot H}{r} = \frac{36290 \cdot 3}{2203940} = 0,049 \text{ кг/м} \cdot \text{с}$$

Число Рейнольдса розраховують на відстані Н від верху поверхні:
Згідно формули (2.6):

$$Re = 4\Gamma/\mu_B = 4 \cdot 0,049/0,231 \cdot 10^{-3} = 848.$$

Справедливе рівняння:

При числах $Re \approx 30$ хвилі на поверхні починають істотно впливати на коефіцієнт тепловіддачі, а при $Re > 1600$ настає турбулентний режим течії плівки.

В області хвильової ламінарної течії ($30 < Re < 1600$) справедливе рівняння:

$$\frac{\alpha}{\lambda_B} \left[\frac{\mu_{ВП}^2}{\rho_{ВП}(\rho_{ВП} - \rho_{ПВ})g} \right]^{\rho_{9S}} = 0,756 Re^{-0,22}, \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{конд}} &= 0,756 \cdot Re^{-0,22} \cdot \lambda_B \cdot \left[\frac{\mu_{ВП}^2}{\rho_{ВП} \cdot (\rho_{ВП} - \rho_{ПВ})g} \right]^{-0,33} = \quad (2.15) \\ &= 0,756 \cdot 848^{-0,22} \cdot 0,686 \cdot \left[\frac{(0,231 \cdot 10^{-3})^2}{943 \cdot (943 - 1,12) \cdot 9,81} \right]^{-0,33} = 5756 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \end{aligned}$$

$$\alpha_{\text{кип}} = b \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{чхв}}^2}{v_{\text{чхв}} \sigma T_{\text{кип}}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}} = \quad (2.16)$$

$$= 0,093 \cdot \left(\frac{0,093^2}{0,33 \cdot 10^{-6} \cdot 0,02 \cdot 350} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 36290^{\frac{2}{3}} = 1583 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$b = 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{чхв}}}{\rho_{\text{пчхв}}} - 1 \right)^{-\frac{2}{3}} \right] = 0,075 \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{1478}{5,3} - 1 \right)^{-\frac{2}{3}} \right] = \quad (2.17)$$

$$= 0,093$$

Термічний опір стінки із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т:

$$\frac{\delta_{СТ}}{\lambda_{СТ}} = \frac{0,002}{17,5} = 0,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (2.18)$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Термічний опір забруднень зі сторони пару $R_{\text{вп}} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$,
зі сторони киплячої рідини $R_{\text{чхв}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Коефіцієнт теплопередачі згідно формули (2.8):

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{конд}}} + R_B + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + R_{\text{чхв}} + \frac{1}{\alpha_{\text{кип}}}\right)} =$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{5756} + 0,5 \cdot 10^{-4} + 0,14 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1583}\right)} = 913 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Необхідна поверхня нагріву

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{3956000}{913} \cdot 43 = 101 \text{ м}^2 \quad (2.19)$$

Отже залишаємо випарник с поверхнею теплообміну $F = 109 \text{ м}^2$,
діаметром $D=0,8 \text{ м}$, труби розміром $25 \times 2 \text{ мм}$, число ходів $n_x = 1$, число труб $n_{\text{тр}} = 465$, довжина труб $l_{\text{тр}} = 3 \text{ м}$, та прохідним перерізом одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,161 \text{ м}^2$

Запас поверхні нагріву

$$\frac{109 - 101}{101} \cdot 100 = 7,9\% \approx 8\% \quad (2.20)$$

Розрахунок штуцерів:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho}} \quad (2.21)$$

де G – масова витрата теплоносія, кг/с ; ρ – густина теплоносія, кг/м^3 ;

ω – швидкість руху теплоносія, м/с .

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Діаметр вхідного штуцера для водяної пари

Масова витрата водяної пари $G_{вп} = Q/r_v = 3956000/2203940 = 1,79$
кг/с.

$$d = \sqrt{\frac{1,79}{0,785 \cdot 15 \cdot 1,121}} = 0,368 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 400 мм.[2]

Діаметр вихідного штуцера для водного конденсату

$$d = \sqrt{\frac{1,79}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 943}} = 0,04 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 40 мм.[2]

Розрахуємо вхідний та вихідний штуцер для чотирьохлористого вуглецю:

$$d = \sqrt{\frac{20}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 1478}} = 0,1 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 100 мм.[2]

$$d = \sqrt{\frac{20}{0,785 \cdot 5 \cdot 5,3}} = 0,49 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 500 мм.[2]

2.5 Гідравлічні розрахунки

Втрати тиску на тертя у трубах теплообмінника:

де λ тр коефіцієнт тертя; l - Довжина труби, м; d - внутрішній діаметр труби, м; ρ_n - щільність рідини, кг/м³ тр ω - швидкість рідини в трубах, що розраховується за площею вільного перерізу одного ходу, м/с.

Коефіцієнт тертя λ тр залежить як від режиму течії потоку, так і від шорсткості стінок труб або каналів.

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega_n^2 \cdot \rho_n}{2} \quad (2.22)$$

$$\omega_{пчхв} = \frac{G_{пчхв}}{\rho_{пчхв} \cdot f_{тр}} = \frac{20}{5,3 \cdot 0,161} = 23,4 \frac{м}{с} \quad (2.23)$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega_{пчхв} d \rho_{пчхв}}{\mu_{пчхв}} = \frac{23,4 \cdot 0,021 \cdot 5,3}{(1,15 \cdot 10^{-5})} = 22647$$

де в'язкість визначається за номограмою, додаток 5 [1]:

$$\mu_{пчхв} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с.}$$

При турбулентному режимі течії:

$$\begin{aligned} \lambda_{тр} &= 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = \\ &= 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{226471} \right)^{0,25} = 0,162 \end{aligned} \quad (2.24)$$

Для сталних нових труб приймають абсолютну шорсткість труб $\Delta=0,06-0,1$ мм.

Втрата тиску на тертя

$$\Delta P_{тр} = 0,162 \cdot \frac{3}{0,021} \cdot \frac{23,4^2 \cdot 5,3}{2} = 33581 \text{ Па} \quad (2.25)$$

Коефіцієнти лінійних опорів:

Вхідна та вихідна камери (штуцера) $\xi_1 = 1,5$,

Вхід в труби та вихід з них $\xi_2 = 1$.

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta P_M = \sum \xi \cdot \frac{\omega_{пчхв}^2 \cdot \rho_{пчхв}}{2} \quad (2.26)$$

$$\Delta P_M = (2 \cdot 1,5 + 1) \cdot \frac{23,4^2 \cdot 5,3}{2} = 5804 \text{ Па.} \quad (2.27)$$

Загальна втрата тиску в трубному просторі

$$\Delta P_M = \Delta P_{тр} + \Delta P_M = 33581 + 5804 = 39385 \text{ Па.} \quad (2.28)$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Вибір трубопроводу

При перекачуванні насосом в всмоктувальній лінії трубопроводу, обираємо швидкість рідини з 0,8-2,0 м/с. Беремо найбільше число - 2 м/с, для забезпечення більшої міцності.

Діаметр труби:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0135}{\pi \cdot 2}} = 0,092 \text{ м.} \quad (2.29)$$

де V – витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{20}{1478} = 0,0135 \quad (2.30)$$

Обираємо сталеву трубу зі стандартних значень – 100 мм.

Фактична швидкість у трубі:

$$\omega = \frac{4V}{(\pi d^2)} = \frac{4 \cdot 0,0135}{(\pi \cdot 0,1^2)} = 1,71 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.31)$$

Приймаємо, те що корозія трубопроводу незначна.

Визначення втрат на тертя та місцеві опори:

$$\text{Re} = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{1,71 \cdot 0,1 \cdot 1478}{(0,49 \cdot 10^{-3})} = 515791 \quad (2.32)$$

де ρ чотирихлористого вуглецю = 1478 кг/м^3 .

Режим течії – турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість = $\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$. Тоді:

$$e = \Delta/d = 2 \cdot 10^{-4}/0,1 = 0,002. \quad (2.33)$$

Отримуємо:

$$\frac{1}{e} = 500; \frac{560}{e} = 280000; \frac{10}{e} = 5000 \quad (2.34; 2.35; 2.36)$$

$$\text{Re} > 280000$$

Визначаємо суму коеф. місцевих опорів:

Для всмоктувальній лінії

1) Вхід в трубу – $\zeta_1=0,5$;

2) Прямоточний вентиль – 2 шт.- якщо $d=0,05 = \zeta=0,79$ та $d=0,065 = \zeta=0,65$ тоді використовуємо рівняння отримуємо значення для $d=0,058$ м., $\zeta=0,63 \rightarrow$ помножуємо на поправ.коэф. $k=0,925$; отримуємо $\zeta_2 = 0,58$.

3) Відвід під кутом $90^\circ \zeta_3=0,09$ – 2 шт.

4) Відвід – $\zeta_4=0,09$.

Сума коэф. місцевих опорів в всмоктувальній лінії:

$$\Sigma \zeta = \zeta_1 + (2 \cdot \zeta_2) + (2 \cdot \zeta_3) + \zeta_4 = 0,5 + 1,16 + 0,18 + 0,09 = 1,93 \quad (2.37)$$

Втрачений тиск в всмоктувальній лінії:

$$h_{п.вс.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.38)$$

$$h_{п.вс.} = \left(0,093 \cdot \frac{10}{0,1} + 1,93 \right) \cdot \frac{1,71}{2 \cdot 9,81} = 0,97 \text{ м.}$$

Для нагнітальної лінії

1) Прямоточний вентиль - якщо $d=0,05 = \zeta=0,79$ та $d=0,065 = \zeta=0,65$ тоді використовуємо рівняння отримуємо значення для $d=0,058$ м., $\zeta=0,63 \rightarrow$ помножуємо на поправ.коэф. $k=0,925$; отримуємо $\zeta_1 = 0,58$.

2) вихід з труби $\zeta_2=1$.

Втрачений тиск в нагнітальній лінії:

$$h_{п.наг.} = \left(0,093 \cdot \frac{20}{0,1} + 1,58 \right) \cdot \frac{1,71}{2 \cdot 9,81} = 1,75 \text{ м.} \quad (2.39)$$

Загальні втрати напору:

$$h_{п} = h_{п.вс.} + h_{п.наг.} = 0,97 + 1,75 = 2,72 \text{ м.} \quad (2.40)$$

Вибір насосу

Необхідний напір насосу:

$$H = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho \cdot g} + H_r + h_{п}; \quad (2.41)$$

$$H = \frac{0,1 - 0,1}{1478 \cdot 9,81} + 10 + 2,72 = 12,72 \text{ м.}$$

Корисна потужність насосу:

$$N_{п} = 1478 \cdot 9,81 \cdot 0,0135 \cdot 12,72 = 2489 \text{ Вт} = 2,489 \text{ кВт.} \quad (2.42)$$

Приймаємо $\eta_{\text{пер}}=1$ та $\eta_{\text{н}}=0,6$ (для відцентрового насосу середньої продуктивності), знаходимо потужність на валу двигуна:

$$N = \frac{2,489}{0,6} \cdot 1 = 4,14 \text{ кВт.} \quad (2.43)$$

За [1] додаток 1.1 табл.1 вибираємо відцентровий насос марки Х45/31, у якого оптимальні умови роботи $Q=1,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$, $\eta_{\text{н}}=0,6$. Електродвигун АО2-52-2 номінальною потужністю $N_{\text{н}} = 13 \text{ кВт}$, $\eta_{\text{дв}}=0,89$. Частота обертання валу $n=48,3 \text{ с}^{-1}$.

Вибір Ємності

Ємність для зберігання вхідної рідини розраховують виходячи з 6-8 часового резерву робочого часу, та з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$.

Приймаємо значення $\psi = 0,85$, $\tau = 6$.

Розрахунковий об'єм потрібної ємності:

$$V_{\epsilon} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho} = \frac{72000 \cdot 8}{0,85 \cdot 1478} = 458,5 \text{ м}^3. \quad (2.44)$$

Беремо розмір діаметру ємності з ДСТУ Б В.2.6-183:2011 стандартні 4,73м., тоді висота (враховуємо, що для забезпечення потрібного об'єму будемо використовувати 5 ємностей):

$$H = \frac{V_{\epsilon}}{0,785 \cdot D^2} = \frac{458,5}{0,785 \cdot 4,73^2} = \frac{27,64}{5} = 6,91 \text{ м.} \quad (2.45)$$

Приймаємо висоту ємності 7 м.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

3 Проектно-конструкторська частина

3.1 Вибір конструкційних матеріалів

Вибір конструкційного матеріалу для проєктованого елемента, вузла або пристрою повинен ґрунтуватися на таких умовах експлуатації, як температура, тиск, навантаження, агресивність навколишнього середовища та вимоги до якості продукту, що переробляється. Матеріал слід підбирати таким чином, щоб він не тільки відповідав технічним вимогам, але мав невисоку вартість, був доступним і дозволяв реалізувати ефективну технологію виготовлення виробу.

Враховуючі запропоноване завдання та представлену рекомендовану літературу, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято вуглецеву конструкційну сталь, марки Сталь 20, стандарту ДСТУ 8548:2014.

Сталь 20 широко використовується в різних галузях машинобудування, включаючи виробництво теплообмінних апаратів, таких як випарники. Її вибирають завдяки її гарній механічній міцності, зварюваності та оброблюваності.

Таблиця 3.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20 ДСТУ 7809:2015

C,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	P,%	Cr,%	Cu,%	As,%
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	До 0,3	До 0,04	До 0,035	До 0,25	До 0,3	До 0,08

Механічні властивості: Міцність на розтяг: 410-510 МПа, Межа текучості: 280-330 МПа, Відносне видовження: 20-25%, Ударна в'язкість: 8-10 Дж/см²

Переваги використання Сталі 20 для виготовлення теплообмінних випарників:

- Низька вартість: Сталь 20 - це один з найдешевших типів сталі, що робить її економічно вигідним вибором для виробництва випарників.

- **Добра міцність:** Сталь 20 має достатню міцність, щоб витримувати тиск та температуру, які зазвичай зустрічаються в теплообмінних випарниках.

- **Легка обробка:** Сталь 20 легко обробляється тиском і різанням, що робить її простою у виготовленні та складанні.

- **Хороша зварюваність:** Сталь 20 добре зварюється, що важливо для створення міцних та герметичних з'єднань у випарнику.

До недоліків використання Сталі 20 для виготовлення теплообмінних випарників можна віднести:

- **Нестійка до корозії:** Сталь 20 нестійка до корозії в атмосферних умовах, тому для її захисту від корозії потрібне фарбування або інші покриття.

- **Низька теплопровідність:** Сталь 20 має низьку теплопровідність, що може трохи знизити ефективність теплообміну у випарнику.

Виходячи з недоліків, умов роботи та задач, які стоять перед проектувальним апаратом, приймаємо матеріал для трубного пучка сталь 12X18H10T

Така конструкція апарату має наступне обґрунтування:

- **Економічність:** Сталь, як правило, дешевше, ніж нержавіюча сталь.

- **Міцність:** Корпус теплообмінника із сталі може забезпечити необхідну міцність та жорсткість конструкції.

- **Стійкість до корозії:** Труби з нержавіючої сталі стійкі до корозії та дії агресивних середовищ, що збільшує термін служби теплообмінника.

- **Теплопровідність:** Нержавіюча сталь має гарну теплопровідність, що підвищує ефективність теплообміну.

Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256° С до + 525° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре обробляється усіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 2.2

Таблиця 3.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12X18H10T ДСТУ 5632-72

C,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	P,%	Cr,%	Cu,%	Ti,%	Fe
До 0,12	До 0,8	До 2	9-11	До 0,02	До 0,035	17-19	До 0,3	0,4-1	~67

Таблиця 3.3 – Фізичні властивості сталі 12X18H10T

T (°C)	$E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	$\alpha \cdot 10^6$ (1/°C)	λ (Вт/(м·°C))	C (Дж/(кг·°C))	$R \cdot 10^9$ (Ом·м)
20	1,98	–	15	–	725
100	1,94	16,6	16	462	792
200	1,89	17	18	496	861
300	1,81	17,2	19	517	920
400	1,74	17,5	21	538	976
500	1,66	17,9	23	550	1028
600	1,57	18,2	25	563	1075
700	1,47	18,6	27	575	1115

Для забезпечення довговічності та надійності обладнання з конструкційної сталі 20 та нержавіючої сталі 12X18H10T в умовах хімічного виробництва необхідно застосовувати ефективні методи захисту від корозії. Це особливо важливо, оскільки в процесі виробництва можуть утворюватися як основні, так і побічні продукти, а також домішки, що погіршують корозійні властивості матеріалів

Сталь 20, будучи низьковуглецевою конструкційною сталлю, має обмежену корозійну стійкість в агресивних середовищах, тому захист цієї сталі є обов'язковим. Одним із найпоширеніших методів захисту сталі 20 є нанесення антикорозійних покриттів. Фарбування антикорозійними емалями дозволяє створити бар'єрний шар, який захищає сталь від контакту з

агресивними речовинами. Для більш стійкого захисту, особливо в умовах підвищеної агресивності, застосовуються епоксидні та полімерні покриття. Вони утворюють стійкий захисний бар'єр, який ефективно захищає сталь від кислот, лугів та забруднень, таких як хлориди.

Металізація також є дієвим методом захисту сталі 20, оскільки на поверхню металу наносяться спеціальні захисні шари з цинку або алюмінію. Цинкове покриття, наприклад, забезпечує подвійний захист: механічний бар'єр і електрохімічний захист, діючи як анодний протектор. Термодифузійне алюмініювання підвищує корозійну стійкість в умовах підвищених температур і кислотних середовищ.

Катодний захист сталі 20 застосовується в ґрунтах та водних середовищах і базується на зменшенні електрохімічного потенціалу сталі. Використання анодних протекторів з магнію, алюмінію або цинку дозволяє захищати сталь навіть за наявності агресивних домішок. Інший спосіб катодного захисту – це подача зовнішнього струму, який створює електричне поле навколо металу і перешкоджає окисленню. Цей метод широко застосовується для захисту трубопроводів і резервуарів.

Якщо розглядати сталь 12Х18Н10Т, яка є нержавіючою сталлю з високим вмістом хрому і нікелю, то її корозійна стійкість значно вища, але все ж потребує додаткового захисту в умовах високих температур або за наявності домішок, таких як хлориди. Одним з ефективних методів є пасивація, яка сприяє утворенню захисного оксидного шару на поверхні сталі. Хімічна пасивація передбачає обробку сталі розчинами азотної кислоти, що видаляє вільне залізо і дозволяє утворити пасивний шар. Електрохімічна пасивація, у свою чергу, проводиться з використанням струму в кислотному розчині і прискорює формування захисного шару.

Термообробка також підвищує стійкість сталі 12Х18Н10Т до корозії. Аустенітизація запобігає утворенню карбідів хрому, які є основною причиною міжкристалічної корозії. Таким чином, сталь зберігає свою структуру навіть під впливом високих температур.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Хоча сталь 12Х18Н10Т має високу природну корозійну стійкість, додаткові захисні покриття можуть бути корисними для захисту від агресивних забруднень. Полімерні або фторполімерні покриття створюють додатковий захисний бар'єр, особливо корисний у середовищах з високим вмістом хлоридів.

У деяких випадках застосовується також додаткове легування для підвищення стійкості до специфічних середовищ. Наприклад, додавання молібдену забезпечує додатковий захист від корозії в кислотних середовищах, зокрема запобігає питтинговій корозії, що робить сталь придатною для експлуатації в умовах з високою концентрацією хлоридів.

3.2 Розрахунки на міцність та стійкість

3.2.1 Розрахунок товщини стінки кожуха

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі сталь 20 при $t = 120^\circ\text{C}$

$$\sigma = 140 \text{ МПа.}$$

Тиск парів в міжтрубному просторі

$$p = 2at = 0,2 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 140 = 140 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при дозволяється за напрузі

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_m}{1,1} = \frac{220}{1,1} = 200 \text{ МПа,}$$

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]} \quad (3.2)(3.3)(3.4)$$

$$p_n = 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{200}{140} = 0,35 \text{ МПа.}$$

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 2.1

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

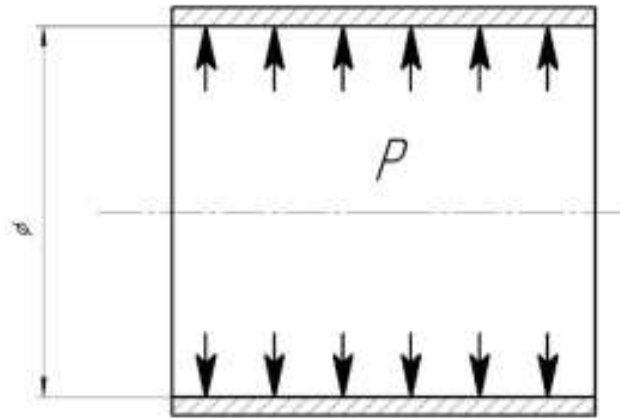


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$S_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - p} \quad (3.5)$$

$$S_p = \frac{0,2 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 140 - 0,2} = 0,63 \text{ мм.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха при гідравлічних випробуваннях:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_n - p} \quad (3.6)$$

$$S_p = \frac{0,35 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 200 - 0,35} = 0,77 \text{ мм.}$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщині за весь термін служби (10 років) апарату $c = 2,0$ мм, тоді виконавча товщина стінки кожуха

$$s = s_p + c = 0,77 + 2 = 2,77 \text{ мм.} \quad (3.7)$$

З запасом приймаемо стандартне значення товщини стінки кожуха $s = 4,0$ мм.

3.2.2 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища та кришки

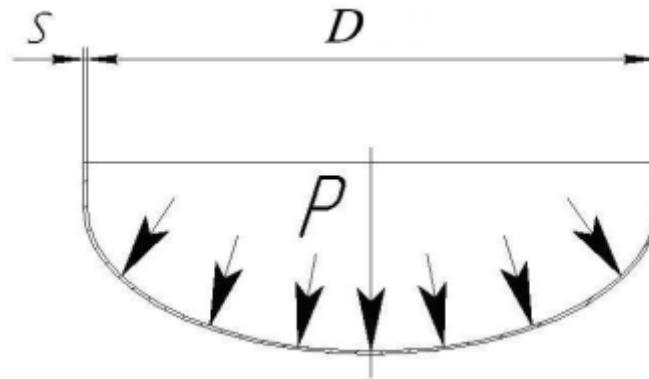


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема днища еліптичного

Тиск пара під кришкою

$$p_n = 2 \text{ ат} = 0,2 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_n \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n} \quad (3.8)$$

$$s_p = \frac{0,35 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 200 - 0,5 \cdot 0,35} = 0,77 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 0,77 + 2,0 = 2,77 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Приймаємо $s_{кр} = 4,0$ мм.

3.2.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Товщину втулки фланця приймаємо $s_0 = 4$ мм.

Діаметр болтового кола визначуваний по формулі або відповідно до табл. [1, табл.13,7, с. 234]:

$$D_b \geq D + 2 \cdot (2 \cdot s + d_b + u); \quad (3.11)$$

де: d_b – зовнішній діаметр болта, при $D = 800$ мм і $p_n = 0,35$ МПа $d_b = 23$ мм;

u – нормативний зазор між гайкою і втулкою, $u = 4 \div 6$ мм.

$$D_{\phi} = 800 + 2 \cdot (2 \cdot 4 + 23 + 6) = 874 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_{\phi} = 880 \text{ мм}$.

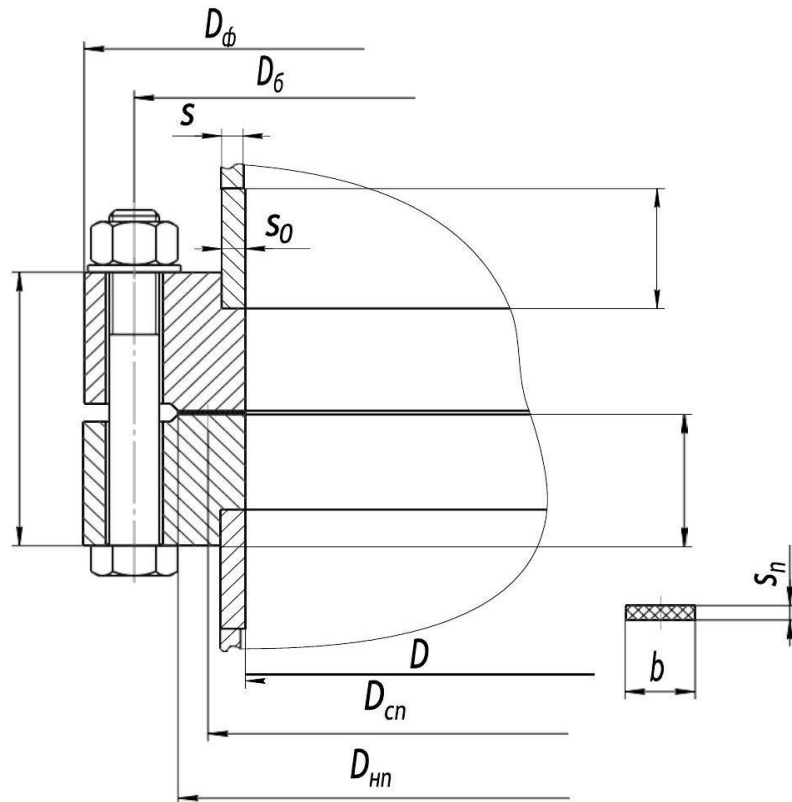


Рисунок 3.3 - Фланцеве з'єднання.

Зовнішній діаметр фланця визначується по формулі і відповідно до табл. 13.7 [2, табл 13.7, с.233]:

$$D_{\phi} \geq D_6 + a; \quad (3.12)$$

де: a – конструктивна добавка для розміщення гайок по діаметру фланця, приймаємо $a = 40 \text{ мм}$ [2, табл. 13.27, с.264].

$$D_{\phi} = 880 + 40 = 920 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_{\phi} = 920 \text{ мм}$.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{nn} = D_6 - e; \quad (3.13)$$

де: e – нормативний параметр, залежний від товщини прокладки, $e = 30 \text{ мм}$ [2, табл. 13.27, с.264].

$$D_{нн} = 880 - 30 = 850 \text{ мм};$$

Середній діаметр прокладки визначається по формулі:

$$D_{сн} = D_{нн} - b; \quad (3.14)$$

де: b – ширина прокладки, що приймається згідно таблиці [2, табл. 13.25, с. 262], $b = 20$ мм.

$$D_{сн} = 850 - 20 = 830 \text{ мм};$$

Приймаємо матеріал прокладки параніт по ГОСТ 481 – 80 з товщиною $s_{п} = 2$ мм.

Кількість болтів, необхідна для забезпечення герметичності з'єднання визначуваній по формулі:

$$n_{\sigma} \geq \frac{\pi \cdot D_{\sigma}}{t_u} \quad (3.15)$$

де: $t_{ш}$ – крок розташування болтів, що рекомендується, рекомендується для болтів M20 і $P_n = 0,35$ МПа,

$$t_{ш} = (3,8 \div 4,8) \cdot d_{\sigma} = 87 \div 94, [2, \text{табл.13,29, с.266}].$$

$$n_{\sigma} = \frac{3,14 \cdot 880}{87 \div 94} = 31 \div 29 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість болтів $n_{\sigma} = 30$.

Висоту фланця h_{ϕ} визначаємо по формулі:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\phi}}; \quad (3.16)$$

де: λ_{ϕ} – коефіцієнт, визначуваній по графіку [2, мал. 13,14]

$$\lambda_{\phi} = 0,40;$$

S_{ϕ} – еквівалентна товщина втулки фланця, оскільки фланець плоский, то

$$\beta_1 = S_1/S_0 = 1, \text{ приймаємо } S_{\phi} = S_0 = 4 \text{ мм.}$$

$$h_{\phi} = 0,4 \cdot \sqrt{800 \cdot 4} = 22,6 \text{ мм};$$

Приймаємо висоту фланця $h_{\phi} = 25$ мм.

Розрахункова довжина болта визначається по формулі:

$$l_{\sigma} = l_{\sigma 0} + 0,28 \cdot d_{\sigma};$$

де: l_{60} – відстань між опорними поверхнями головки болта і гайки при товщині прокладки $S_{п} = 2$ мм;

$$l_{60} = 2 \cdot h_{\phi} + s_{II};$$

$$l_{60} = 2 \cdot 25 + 2 = 52 \text{ мм};$$

$$l_{\phi} = 52 + 0,28 \cdot 23 = 58,44 \text{ мм}.$$

Приймаємо розрахункову довжину болтів $l_{\phi} = 60$ мм. Визначення навантажень що діють на фланець

Рівнодіючу внутрішнього тиску визначуваний по формулі:

$$F_{\partial} = \frac{\pi \cdot D_{cn}^2}{4} \cdot p_n \quad (3.17)$$

$$F_{\partial} = \frac{3,14 \cdot 0,83^2}{4} \cdot 0,35 = 0,19 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки визначається по формулі:

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot k_{np} \cdot p_n; \quad (3.18)$$

де: k_{np} – коефіцієнт, залежний від матеріалу і конструкції прокладки, $k_{np} = 2,5$;

$b_{п}$ – еквівалентна ширина прокладки, при $b_{II} = 20$ мм:

$$b_0 = 0,6 \cdot \sqrt{b_n};$$

$$b_0 = 0,6 \cdot \sqrt{20 \cdot 10^{-3}} = 0,085 \text{ м};$$

$$R_n = 3,14 \cdot 0,83 \cdot 0,085 \cdot 2,5 \cdot 0,35 = 0,194 \text{ МН};$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій, визначається по формулі:

$$F_t = \frac{y_{\sigma} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot E_{\sigma} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\sigma} \cdot t_{\sigma})}{y_n + y_{\sigma} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\sigma} - D_{cn})^2} \quad (3.19)$$

де: α_{ϕ} – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця

$$\alpha_{\phi} = 12,410^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1};$$

α_{σ} – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болта (приймаємо для болта сталь 20), $\alpha_{\sigma} = 12,410^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$,

y_{σ} – лінійна податливість болтів, що визначається по формулі:

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

$$y_{\sigma} = \frac{l_{\sigma}}{E_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot n_{\sigma}} \quad (3.20)$$

де: E_{σ} – модуль подовжньої пружності матеріалу болта $E_{\sigma} = 2,0 \cdot 10^5$ МПа.

f_{σ} – розрахункова площа поперечного перетину болта по внутрішньому діаметру, згідно таблиці [2, табл. 13.27, с.264]

$$f_{\sigma} = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot \text{м}^2;$$

$$y_{\sigma} = \frac{0,05}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 30} = 3,54 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

y_{Π} – лінійна податливість неметалічної прокладки, що визначається по формулі:

$$y_{\Pi} = \frac{K_{\Pi} \cdot h_{\Pi}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b} \quad (3.21)$$

де: K_{Π} – коефіцієнт обтискання прокладки, для прокладок з параніта $K_{\Pi} = 1,0$ [2];

E_{Π} – модуль подовжньої пружності для матеріалу прокладки $E_{\Pi} = 2000$ МПа [1].

h_{Π} – висота прокладки, $h_{\Pi} = S_{\Pi} = 2$ мм.

$$y_{\Pi} = \frac{1,0 \cdot 0,002}{2000 \cdot 3,14 \cdot 0,83 \cdot 0,02} = 1,91 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

y_{ϕ} – кутова податливість фланця, що визначається по формулі:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda'_{\phi})] \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}} \quad (3.22)$$

де: ν , λ'_{ϕ} – безрозмірні параметри, що визначаються по формулах:

$$\lambda'_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.23)$$

$$\lambda_{\phi} = \frac{0,02}{\sqrt{0,8 \cdot 0,004}} = 0,35$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \psi_1 + \frac{h_{\phi}^2}{s^2})} \quad (3.24)$$

де: ψ_1 – коефіцієнт, визначуваний по формулі

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{D_\phi}{D}; \quad (3.25)$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{920}{800} = 0,077$$

$$v = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,35 \cdot (1 + 0,077 + \frac{0,02^2}{0,004^2})} = 0,108$$

ψ_2 – коефіцієнт, визначуваний по формулі:

$$\psi_2 = \frac{D_\phi + D}{D_\phi - D}; \quad (3.26)$$

$$\psi_2 = \frac{920 + 800}{920 - 800} = 14,3$$

E_ϕ – модуль подовжньої пружності для матеріалу фланця $E_\phi = 2,0 \cdot 10^5$ МПа.

$$y_\phi = \frac{[1 - 0,108 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,35)] \cdot 14,3}{0,03^3 \cdot 2,0 \cdot 10^5} = 3,1 \frac{\text{м}}{\text{МН}};$$

$$F_t = \frac{3,54 \cdot 10^{-5} \cdot 30 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot (12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 84,5 - 12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 83,6)}{1,91 \cdot 10^{-5} + 3,54 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 3,1 \cdot (0,88 - 0,85)^2} =$$

$$= 0,00038 \text{ МН.}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання визначуваний по формулі:

$$K_{\text{ж}} = \frac{y_\sigma + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\sigma - D - S_{\text{ЭК}}) \cdot (D_\sigma - D_{\text{сн}})}{y_n + y_\sigma + y_\phi \cdot (D_\sigma - D_{\text{сн}})^2}; \quad (3.27)$$

$$K_{\text{ж}} = \frac{3,54 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 3,1 \cdot (0,88 - 0,8 - 0,004) \cdot (0,88 - 0,85)}{1,91 \cdot 10^{-5} + 3,54 \cdot 10^{-5} + 3,1 \cdot (0,88 - 0,85)^2} = 1,25.$$

Болтове навантаження в умовах монтажу (до подачі внутрішнього тиску) визначаємо по формулі:

$$F_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} K_w \cdot F_d + R_n \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_0 \cdot P_{n.p} \end{array} \right\} \quad (3.31)$$

де: $R_{п.р}$ – тиск віджимання прокладки, для параніта $R_{п.р} = 20$ МПа.

$$F_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,19 + 0,194 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,85 \cdot 0,085 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,4315 \\ 2,26 \end{array} \right\} = 2,26 \text{ МН}$$

Болтове навантаження в робочих умовах визначаємо по формулі:

$$F_{62} = F_{61} + (1 - K_{ж}) \cdot F_{\partial} + F_t; \quad (3.32)$$

$$F_{62} = 2,26 + (1 - 1,25) \cdot 0,19 + 0,00038 = 2,21 \text{ МН};$$

Приведений момент, що вигинає, обчислюваний за формулою:

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_{\sigma} - D_{cn}) \cdot F_{61} \\ 0,5 \cdot [(D_{\sigma} - D_{cn}) \cdot F_{62} + (D_{cn} - D - s_3) \cdot F_{\partial}] \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \end{array} \right\}$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,88 - 0,85) \cdot 2,26 \\ 0,5 \cdot [(0,88 - 0,85) \cdot 2,21 + (0,88 - 0,8 - 0,004) \cdot 0,19] \cdot \frac{220}{140} \end{array} \right\} \quad (3.33)$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,034 \\ 0,063 \end{array} \right\} = 0,063 \text{ МН} \cdot \text{М}.$$

3.2.4 Розрахунок опори апарата

Маса обичайки кожуха

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho \quad (3.34)$$

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7860 = 238 \text{ кг}.$$

де $\rho = 7860$ кг/м³ - щільність сталі.

Маса кришки і днища

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.35)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7860 = 24,9 \text{ кг}.$$

маса труб

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho \quad (3.36)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 3 \cdot 465 \cdot 7860 = 1584,5 \text{ кг.}$$

Маса фланця з ґратами

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho \quad (3.37)$$

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,92^2}{4} \cdot 0,03 \cdot 7860 = 157 \text{ кг.}$$

де D_{ϕ} - зовнішній діаметр фланця, h_{ϕ} - висота фланця.

Обсяг міжтрубного простору

$$V_M = f_{mtp} \cdot l \quad (3.38)$$

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

При коефіцієнті заповнення $\phi = 0,9$

$$m_m = V_M \cdot \rho_m \cdot \phi \quad (3.39)$$

$$m_m = 0,9 \cdot 1478 \cdot 0,9 = 1197,2 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані

$$G = g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{kp} + m_{mp} + 2 \cdot m_{\phi} + m_m) \quad (3.40)$$

$$G = 9,81 \cdot (238 + 2 \cdot 24,9 + 1584,5 + 2 \cdot 157 + 1197,2) = 33189 \text{ Н} = 33,2 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 3$ шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} \quad (3.41)$$

$$Q = \frac{33,2}{3} = 11,06 \text{ кН.}$$

Вибираємо опору з допустимим навантаженням $Q = 16 \text{ кН.}$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

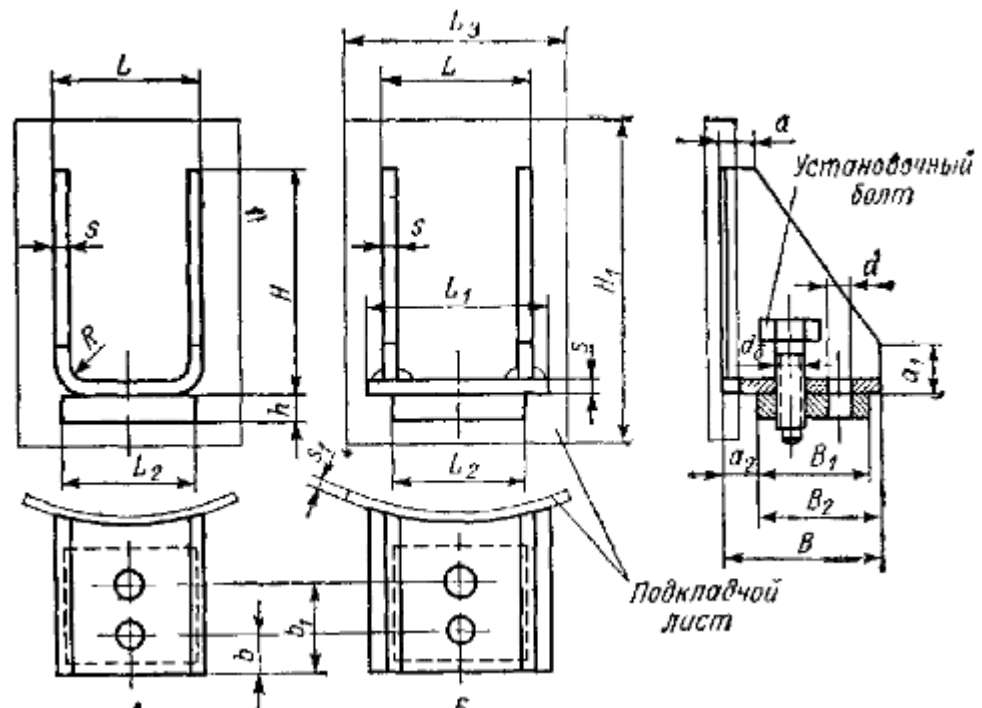


Рисунок 3.4 – Умовне обозначения опоры вертикального аппарата, типу А «ОВ-І-А-1000 ОН 26-01-69-68»

4 Будівельно-Монтажна частина

4.1 Обґрунтування компанування основного та допоміжного обладнання

Загальний вигляд установки показаний на рисунку 4.1

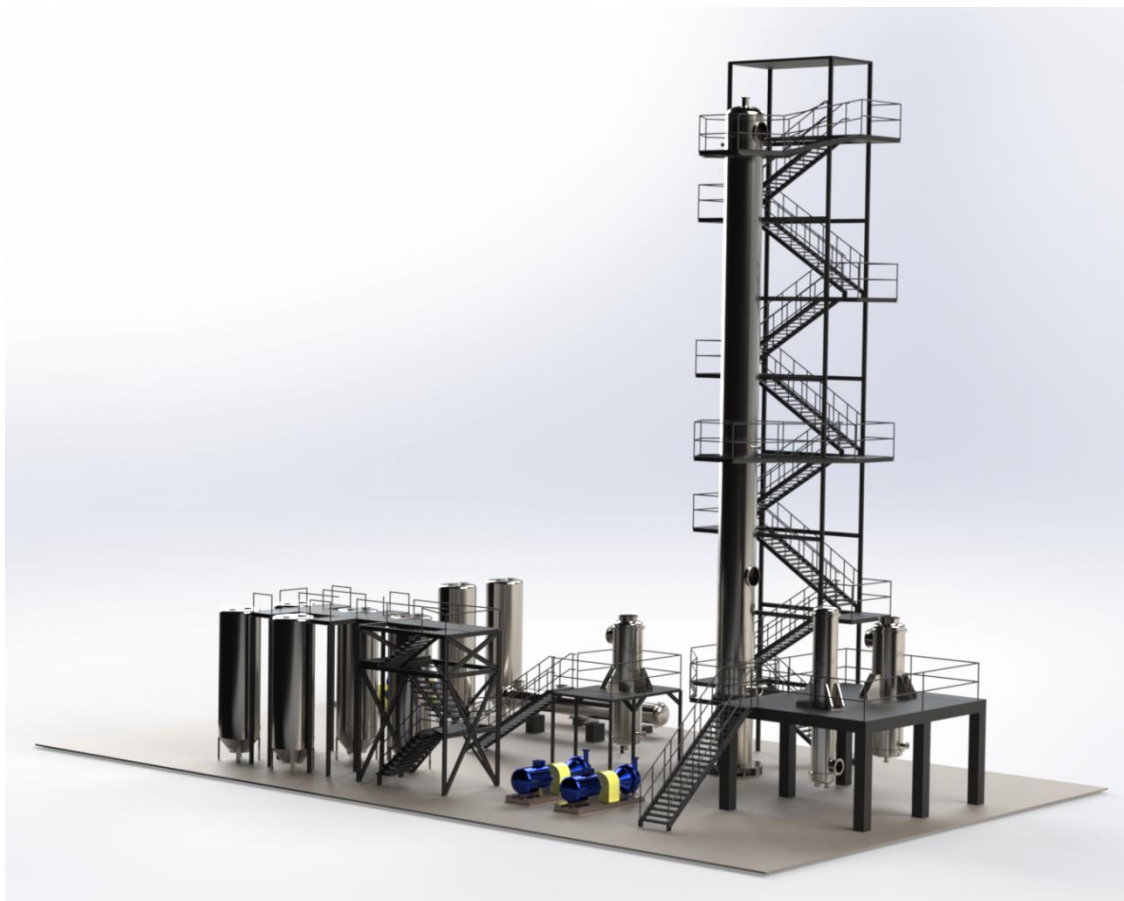


Рисунок 4.1 – Зображення загального вигляду компанування обладнання установки

В ході виконання курсово проектування було опрацьовано комплекс об'ємно-планувальних рішень щодо компонування основного технологічного обладнання для ректифікаційної установки, яка використовується для розділення суміші сірковуглець-чотирихлористий вуглець.

При вирішенні завдання з компонування обладнання враховувалась необхідність забезпечення умов для транспортування матеріальних потоків, а також для монтажу, обслуговування та ремонту обладнання. Це досягалося шляхом застосування відкритої схеми розташування.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

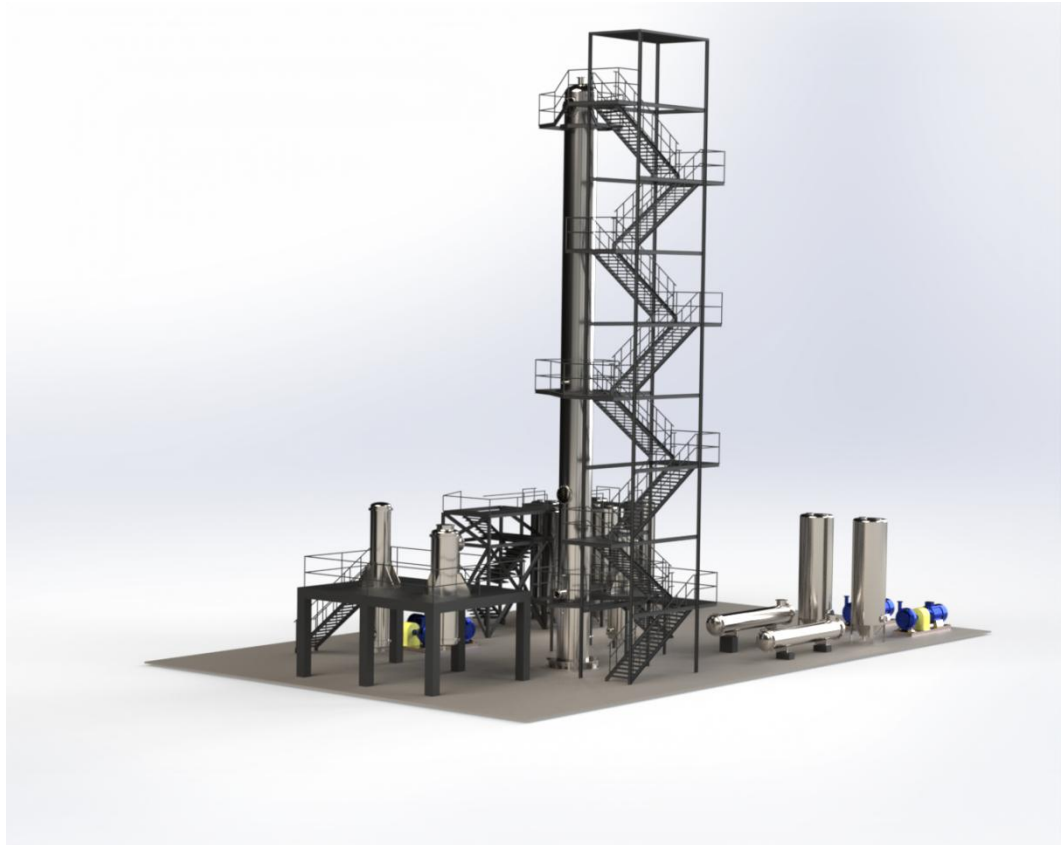


Рисунок 4.2 – Зображення загального вигляду компанування обладнання установки тильна частина

Основне технологічне обладнання та помірні кліматичні умови дозволяють встановлювати його на відкритих майданчиках без необхідності захисту.

При проектуванні розташування технологічного обладнання на відкритих майданчиках, крім економічних аспектів і полегшення монтажу, важливо також враховувати питання безпеки, зокрема, стійкість конструкцій до впливу зовнішніх факторів, таких як вітрові навантаження, температурні коливання, а також можливість виникнення корозії через атмосферні умови.

Для ефективного функціонування відкритих схем компонування необхідно передбачити зручний доступ до всіх вузлів обладнання. Це забезпечує швидке проведення технічного обслуговування, діагностики та ремонту. Також варто розглянути можливість використання модульних конструкцій, які спрощують заміну окремих елементів без потреби зупинки всього технологічного процесу.

Окрему увагу слід приділити системам контролю та моніторингу параметрів роботи обладнання. В умовах відкритого розташування важливо забезпечити надійність сенсорних систем, які можуть бути вразливі впливу погодних умов. Використання захищених від вологи та пилу датчиків і кабельних систем забезпечить безперервність моніторингу та підвищить загальну ефективність експлуатації обладнання.

Що стосується фундаментів, варто враховувати різні типи ґрунтів і їхні властивості, такі як несуча здатність, вологість, схильність до промерзання та осідання. У випадках, коли ґрунт має низьку несучу здатність, можуть бути застосовані додаткові заходи для його зміцнення, наприклад, армування або використання спеціальних підкладок.

Також варто передбачити систему дренажу для відведення ґрунтових і поверхневих вод, щоб уникнути підмивання фундаменту, що може призвести до його деформації. У регіонах з агресивними ґрунтами або високим рівнем ґрунтових вод необхідно використовувати антикорозійні покриття та гідроізоляцію для захисту фундаментів.

Окремою складовою проектування є вибір матеріалів для виготовлення фундаменту та конструкцій. У відкритих схемах використовують матеріали з високою стійкістю до корозії та впливу агресивних середовищ, що забезпечує довговічність споруд і зменшує потребу в частому ремонті.

Установка обладнання на відкритих майданчиках також дозволяє здійснювати монтаж крупними блоками. Вибір конструктивного розміру фундаментів проводиться відповідно до навантажень, габаритів і необхідної висоти обладнання. Фундамент має передавати навантаження від обладнання на ґрунт, забезпечуючи жорсткість і стійкість конструкції. Він складається з двох частин: подушки та самого фундаменту, виготовленого з матеріалів, які не піддаються деформації.

При наявності ґрунтових вод або агресивних розчинів фундамент ізолюють спеціальними матеріалами, такими як бітум або рубероїд.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

Зрештою, оптимізація планування відкритих майданчиків дозволяє не тільки зменшити витрати на будівництво та експлуатацію, а й підвищити продуктивність роботи за рахунок більшої гнучкості та доступності технологічного обладнання.

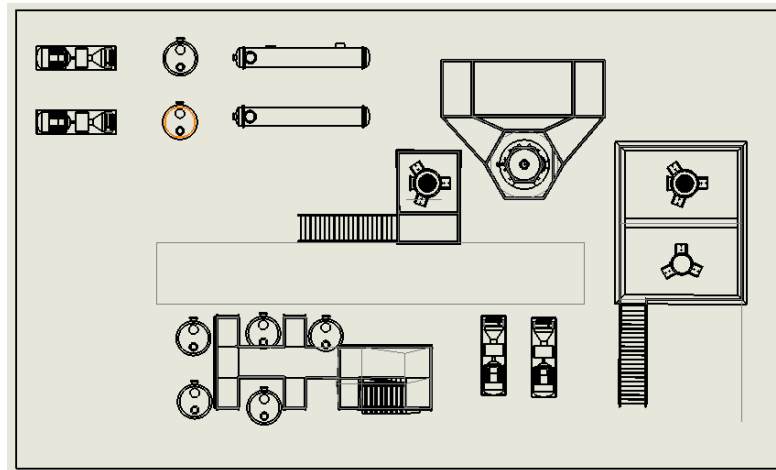


Рисунок 4.3 – Схема розташування обладнання на ділянці



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд компанування технологічного обладнання з трубопроводами

Під час проектування компонування основного технологічного обладнання установки необхідно враховувати кілька ключових вимог:

1. Оптимізація площі: Усе обладнання і споруди повинні бути розташовані на мінімальних виробничих площах, дотримуючись чинних норм безпеки, охорони праці та санітарії. Важливо ефективно використовувати кожен квадратний метр приміщення, забезпечуючи при цьому достатні розміри проходів, безпечний доступ до обладнання для його обслуговування та ремонту, а також організацію захисту персоналу від виробничих шкідливостей.

При проектуванні слід забезпечити максимальну зручність для працівників під час експлуатації та обслуговування обладнання. Це включає розташування робочих зон на зручній висоті, мінімізацію небезпечних ділянок, а також організацію достатнього освітлення та захисних бар'єрів. Ергономічне розміщення обладнання зменшує ризик травматизму та підвищує продуктивність праці

2. Виробнича програма: Необхідно вибрати найбільш прогресивне обладнання, що забезпечує реалізацію виробничої програми. Важливо забезпечити оптимальне трасування трубопроводів, можливість розширення та модернізації виробництва, а також максимальну механізацію та автоматизацію процесів.

3. Ефективність і безпека: При компонуванні обладнання необхідно створити умови для належної вентиляції, передбачити підведення допоміжних систем, а також організувати захист від виробничих шкідливостей, що можуть перевищувати допустимі концентрації.

4. Будівельні норми: У процесі проектування слід дотримуватися чинних будівельних норм та використовувати уніфіковані конструкції й індустріальні методи монтажу.

5. Можливість модернізації

Компонування обладнання повинно враховувати потенційні потреби у модернізації або розширенні виробництва. Це передбачає не лише фізичний

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

простір для встановлення додаткових пристроїв, а й наявність резервів для підключення до електричних, газових або інших систем. Гнучкість у плануванні дозволяє підприємствам швидко адаптуватися до нових технологій або змін ринку

6. Пожежна безпека та евакуація

Проектуючи компонування, важливо враховувати вимоги пожежної безпеки. Пожежні виходи, аварійні сходи та системи пожежогасіння повинні бути легко доступними з будь-якої частини приміщення. Всі евакуаційні шляхи повинні бути чітко позначені, і їх розміщення має відповідати нормам безпеки.

7. Звукова та вібраційна ізоляція

Під час роботи технологічного обладнання можуть виникати значні шуми та вібрації, що можуть негативно впливати на здоров'я працівників і роботу інших механізмів. Тому компонування повинно передбачати встановлення засобів звукоізоляції та антивібраційних матеріалів, особливо у випадках, коли обладнання генерує значний рівень шуму або вібрацій.

8. Вплив на навколишнє середовище

Проектування та компонування повинні враховувати екологічні вимоги та мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Важливо передбачити заходи з утилізації відходів, очищення викидів та запобігання забрудненню. Рациональне використання ресурсів та впровадження енергоефективних рішень сприяють зниженню негативного впливу виробництва на природу

При проектуванні трасування трубопроводів слід враховувати їхню категорію. Оскільки установка використовує вуглецеві водневі гази, які є вогне- та вибухонебезпечними, неагресивними, але токсичними речовинами, трубопроводи належать до I категорії.

Трубопроводи, призначені для транспортування вибухонебезпечних, токсичних або радіоактивних речовин, повинні відповідати підвищеним вимогам щодо безпеки, герметичності та міцності корпусних деталей. Це

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

забезпечує їх стійкість до впливу зовнішнього середовища та довговічність в експлуатації.

Незалежно від температури робочих середовищ, під час транспортування під вакуумом або під тиском, при діаметрі труб до 400 мм мають застосовуватися безшовні сталеві труби. Зварні труби допускаються лише за умови їх виготовлення відповідно до спеціальних технічних умов. З'єднання трубопроводів для зріджених газів має виконуватися переважно зварюванням. У місцях встановлення арматури, для її приєднання до трубопроводу, можуть бути використані фланцеві з'єднання, особливо якщо трубопроводи потребують періодичного розбирання для очищення або заміни ділянок.

Зварювання є найбільш надійним методом з'єднання сталевих трубопроводів та арматури і широко використовується в системах трубопроводів різного призначення. Однак фланцеві з'єднання також застосовуються завдяки своїм перевагам як роз'ємні з'єднання, особливо у випадках, де необхідне часте технічне обслуговування. Для трубопроводів із невеликими діаметрами часто використовуються різьбові з'єднання.

Прокладка основних та допоміжних трубопроводів проводиться з урахуванням мінімізації гідравлічного опору та забезпечення зручності й безпеки експлуатації. Трубопроводи розміщуються паралельно будівельним осям, що робить систему більш організованою та впорядкованою. Навантаження від розширення трубопроводів передається на конструкцію обладнання. На всіх об'язувальних трубопроводах передбачена можливість компенсації температурних деформацій.

Трубопроводи можуть бути виконані як надземними, так і підземними з урахуванням потреб у технічному обслуговуванні. Зовнішні трубопроводи монтуються укрупненими блоками або секціями, а монтаж окремих труб допускається лише в обмежених умовах, де укрупнене збирання неможливе.

Під час проектування трубопроводів необхідно враховувати можливі теплові розширення та деформації, які виникають внаслідок зміни

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

температури робочого середовища. Щоб запобігти пошкодженням труб та обладнання, слід використовувати компенсатори (П - подібні, лінзові, сальникові тощо), що дозволяють компенсувати деформації труб при нагріванні або охолодженні. Правильно обрані компенсатори знижують напруження у з'єднаннях трубопроводів і підвищують їхню довговічність.

Для трубопроводів, що вимагають регулярного технічного обслуговування, заміни або очищення, слід передбачити можливість легкого доступу до них. Це може бути реалізовано через використання знімних елементів (наприклад, фланцеві з'єднання) або шляхом правильного розміщення трубопроводів у доступних місцях, з урахуванням висоти та місць кріплення. При цьому важливо дотримуватися норм безпеки, що стосуються ширини проходів та безпечного робочого простору.

Трубопроводи, що транспортують агресивні середовища або працюють у складних умовах навколишнього середовища, повинні мати надійний антикорозійний захист. Це може включати застосування спеціальних захисних покриттів, фарб, а також використання нержавіючих або легованих сталей, які мають підвищену стійкість до корозії. Крім того, підземні трубопроводи повинні бути захищені від ґрунтової корозії шляхом нанесення ізоляційних матеріалів або використання катодного захисту.

У процесі прокладання трубопроводів важливо враховувати умови експлуатації, включаючи кліматичні фактори. Для зовнішніх трубопроводів необхідно передбачити захист від перепадів температур, дощу, вітру та інших погодних умов. Це може включати утеплення трубопроводів, щоб запобігти замерзанню рідких середовищ, або встановлення захисних кожухів для захисту від механічних пошкоджень.

Окрім технічних аспектів, важливо враховувати й економічну доцільність проекту трубопроводів. Використання стандартизованих елементів (уніфіковані з'єднання, опори, компенсатори) знижує витрати на монтаж і обслуговування. Крім того, раціональне планування трубопровідної

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

системи дозволяє мінімізувати довжину трубопроводів, що скорочує витрати на матеріали та енергоресурси для транспортування робочих середовищ.



Рисунок 4.5 – Зображення установки

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт

Монтаж обладнання

Існують різні методи встановлення та ремонту теплообмінників, які залежать від їх конструкції, просторового розташування та взаємного розміщення з іншими елементами технологічної установки, а також від умов експлуатації.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

Монтаж кожухотрубних теплообмінників визначається головним чином їхньою вагою, габаритами та розташуванням у просторі.

Сучасні кожухотрубні теплообмінники зазвичай мають таку масу та розміри, що їх можна доставити до місця встановлення вже у зібраному вигляді з заводу-виробника. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомобілі, сані та інші засоби перевезення.

Для монтажу таких апаратів необхідно виконати такі кроки:

1. Підготовка робочої зони. Переконайтеся, що робоча зона, де буде встановлюватися теплообмінник, відповідає всім вимогам безпеки та забезпечує зручний доступ. Простір повинен бути достатньо просторим для монтажу обладнання та комфортної роботи персоналу.

2. Підготовка фундаменту. Перевірка, чи має фундамент або основа достатню міцність і стійкість для підтримки ваги теплообмінника, щоб уникнути можливих пошкоджень.

3. Монтаж кожухотрубного теплообмінника. Використовуючи підйомні механізми або крани, встановіть теплообмінник на підготовлений фундамент або основу. Переконайтеся, що він надійно закріплений і точно вирівняний. Для вертикального апарата опорна конструкція складається з балок висотних металоконструкцій.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72

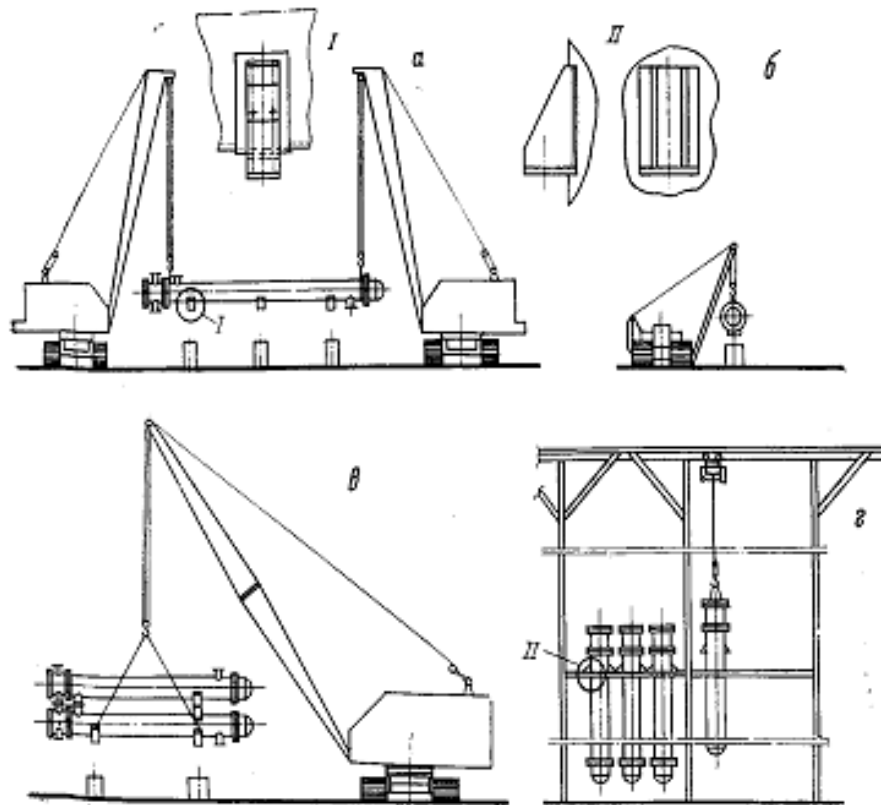


Рисунок 4.6 – Способи монтажу теплообмінних апаратів

а – за допомогою двох кранів; б - трубоукладачем; в – блок теплообмінників краном; г – вертикальних теплообмінників монобалкою; I – опора горизонтальних теплообмінників; II- опора вертикальних теплообмінників

На рисунку 4.6 під літерою «г» зображено саме ту схему монтажу вертикального апарата, яка підходить для нашого випадку.

4. З'єднання трубопроводів. Підключіть труби для подачі гарячого та холодного середовища до відповідних входів і виходів теплообмінника. Для забезпечення герметичності використовуйте такі з'єднувальні елементи, як фланці, муфти або затискачі.

5. Електричні підключення. Якщо потрібно, підключіть електричні розетки для живлення обладнання, яке керує роботою теплообмінника, наприклад насосів або регуляторів.

6. Перевірка на герметичність. Перед запуском системи перевірте всі з'єднання на герметичність. Виконайте тест на міцність або використовуйте методи неруйнівного контролю для виявлення можливих витоків.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

7. Пусконаладжувальні роботи. Після монтажу системи проведіть перевірку роботи теплообмінника. Контролюйте такі параметри, як температура, тиск і витрата, щоб переконатися в його належному функціонуванні.

Теплообмінники, які пройшли заводське випробування на пробний тиск, не потребують окремого опресування на монтажному майданчику. У цьому випадку перевіряється вже змонтована система теплообміну разом із трубопровідним обладнанням після завершення всіх монтажних робіт. Якщо відсутній акт заводських випробувань, або якщо теплообмінник тривалий час зберігався на складі чи монтажному майданчику, його слід перевірити перед монтажем. За потреби виконується ремонт для забезпечення належної роботи обладнання.

В рамках модернізації обладнання на етапах монтажу проводиться ізоляція корпусу теплообмінника. Це є важливим аспектом, який може кратно підвищити енергоефективність. За рахунок зменшення теплових втрат і підвищення ефективності теплообміну, що в свою чергу підвищить коефіцієнт корисної дії. Захистити теплообмінник від зовнішніх впливів, і захистити працівників виробництва, у випадках аварійних викидів теплоносія, від теплових опіків.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74



Рисунок 4.7 – Ізоляція для теплообмінника

Пінополіуретанова піна (ППУ) є ефективним ізоляційним матеріалом, що часто використовується для теплоізоляції завдяки своїм високим теплоізоляційним властивостям, легкості і довговічності. Має один із найнижчих коефіцієнтів теплопровідності серед ізоляційних матеріалів, що дозволяє ефективно зберігати тепло навіть при тонкому шарі ізоляції. Є стійким до вологи, оскільки не вбирає воду завдяки замкнутій комірчастій структурі. Це дозволяє уникнути впливу конденсації та підходить для застосування у вологих середовищах. Не піддається гниттю, цвілі або корозії, що дозволяє підтримувати теплоізоляційні властивості протягом тривалого часу без погіршення якості.

Ремонт обладнання

Кожухотрубний теплообмінник — це обладнання з тривалим терміном служби та відмінними експлуатаційними характеристиками. Проте, для забезпечення стабільної та довговічної роботи йому необхідне регулярне

планове обслуговування. Через те, що в більшості випадків теплообмінники працюють із рідиною без попереднього очищення, з часом трубки засмічуються. На їхній внутрішній поверхні накопичуються осади, які створюють перешкоди для вільного потоку робочої рідини.

Для запобігання зниженню ефективності роботи обладнання та уникнення поломки кожухотрубного теплообмінника необхідно регулярно проводити його очищення та промивання. Це забезпечить стабільну та якісну роботу агрегату протягом усього терміну експлуатації. Після завершення строку служби приладу рекомендується замінити його на новий.

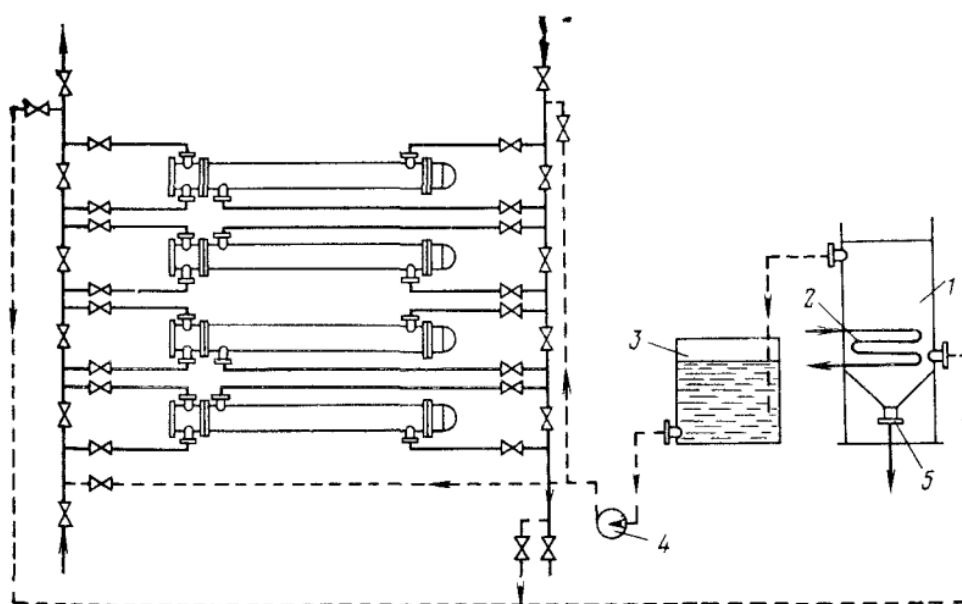


Рисунок 4.8 – Схема хімічної чистки теплообмінників

Якщо виникла необхідність у ремонті трубчастого теплообмінника, перш за все слід провести його діагностику. Це допоможе виявити основні несправності та оцінити обсяг робіт. Найбільш уразливою частиною теплообмінника є трубки, і саме їх пошкодження найчастіше стає причиною ремонту.

Для перевірки стану кожухотрубного теплообмінника зазвичай застосовують метод гідравлічних випробувань. У разі виявлення пошкоджень може знадобитися заміна трубок, що є досить трудомістким процесом. Непридатні трубки необхідно заглушити, що, однак, зменшує загальну площу теплообмінної поверхні. Під час виконання ремонтних робіт важливо

враховувати, що навіть мінімальні втручання можуть негативно вплинути на ефективність теплообміну.

Технологія ремонту теплообмінних апаратів полягає у встановленні всередину пошкоджених труб тонкостінних металевих вставок необхідної довжини, які перекривають дефектні ділянки. Такі захисні вставки можуть бути встановлені на будь-якому сегменті теплообмінної труби, включаючи повне покриття її довжини. Для забезпечення щільного контакту зі стінками основної труби вставки розвальцьовують з обох кінців. У разі потреби виконують гідравлічне розширення вставки по всій її довжині.

Захисні трубні вставки зазвичай виготовляються з корозійно-стійких матеріалів, таких як спеціальні марки нержавіючої сталі, титан, цирконій, нікелеві або мідні сплави, які перевершують метал основних теплообмінних трубок за стійкістю до агресивних середовищ.

Застосування цієї технології дозволяє оновити і зміцнити теплообмінні труби, усунути пошкодження і уникнути необхідності їх повної заміни або встановлення нового теплообмінника.

Такий підхід дозволяє значно продовжити термін служби теплообмінних апаратів і скоротити витрати до 90% у порівнянні з повною заміною трубного пучка або всього теплообмінника.

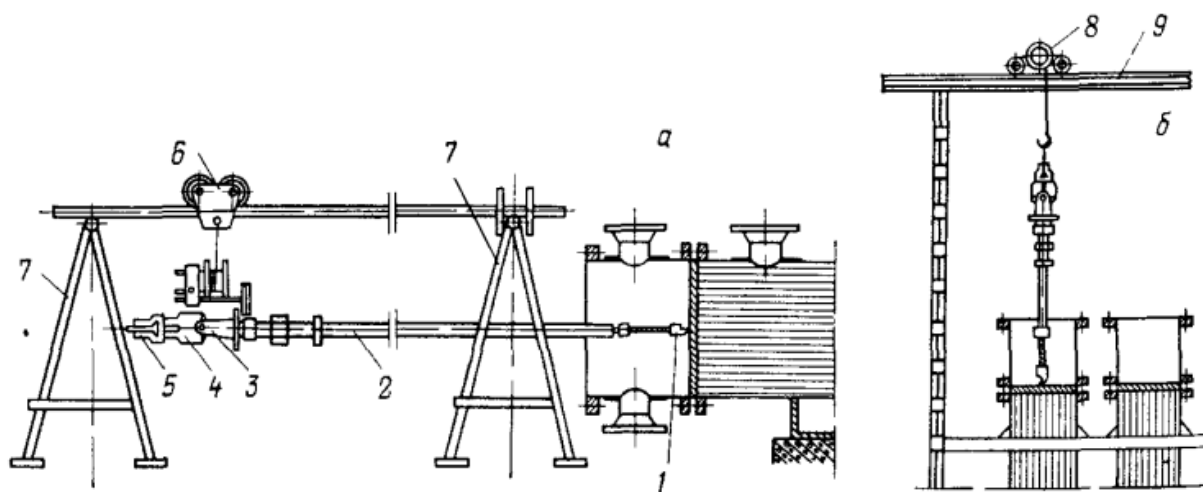


Рисунок 4.9 – Приспособа для механічної чистки горизонтальних (а) і вертикальних (б) теплообмінників:

1 – бур; 2 – полий вал; 3 – розподільчий золотник; 4 – привод; 5 – упор; 6 – підйомний пристрій; 7 – триноги; 8 – лебідка; 9 – направляючі.

Термін служби вертикального кожухотрубного теплообмінника залежить від кількох факторів, зокрема якості матеріалів, умов експлуатації, регулярності та правильності обслуговування, а також інших характеристик. Загалом ці теплообмінники мають довговічну конструкцію і можуть ефективно працювати протягом багатьох років.

Однак у процесі тривалої експлуатації теплообмінні апарати поступово забруднюються і зношуються. На їх поверхнях накопичуються масло, солі, смоли, а також утворюються оксидні нашарування. Ці відкладення збільшують термічний опір стінки, що призводить до зниження ефективності процесу теплообміну.

Ознаки зношування теплообмінного апарата включають:

- **Зменшення товщини стінок корпусу, днищ та трубних ґрат** це може бути наслідком тривалої експлуатації та дії агресивних середовищ.
- **Поява опуклостей і вм'ятин на корпусі та днищах** виникає через надмірне навантаження або механічні пошкодження під час експлуатації.
- **Утворення свищів, тріщин і прогарів** характерно для корпусу, трубок і фланців, що зазвичай спричиняється корозією, високими температурами чи неправильним обслуговуванням.
- **Збільшення діаметра отворів для труб у трубних ґратах** це результат механічного зношування або хімічного впливу на матеріал.
- **Деформація трубних ґрат і трубок** пошкодження й прогини можуть виникати через високі температури, тиск або механічні навантаження.
- **Заклинювання плаваючих головок і пошкодження їхніх струбцин** виникає внаслідок неправильної експлуатації або механічних дефектів.
- **Ушкодження лінзових компенсаторів** спричиняється термічними розширеннями або помилками під час монтажу.

- Пошкодження чепцевих пристроїв, каткових і пружинних опор, що може бути результатом вібрацій, перевантажень або зовнішніх ударів.
- Порушення гідро- і термоізоляції, яке може спричинити втрату тепла або витік робочого середовища.

Заходи з підготовки до ремонту теплообмінного апарата:

- **Скидання тиску та очищення**, спершу знижується надлишковий тиск до атмосферного рівня, після чого апарат очищається від залишків продукту, забезпечуючи безпечні умови для виконання ремонтних робіт.
- **Установлення заглушок**, демонтується арматура, а на підвідних і відвідних трубопроводах встановлюються заглушки, щоб уникнути непередбачених витоків робочого середовища.
- **Промивання та продування**, апарат промивається азотом або водяною парою, після чого здійснюється промивання водою та продування повітрям для повного видалення забруднень і залишків продукту.
- **Аналіз на токсичність і вибухонебезпечність**, проводиться перевірка на наявність отруйних і вибухонебезпечних речовин, що гарантує безпечне проведення ремонтних робіт.
- **Організація вогневих робіт**, у разі потреби ремонту із застосуванням вогневих методів розробляється відповідний план і видається дозвіл, що забезпечує дотримання правил безпеки.
- **Документування стану апарата**, складається акт передачі обладнання в ремонт, який фіксує його технічний стан перед початком робіт.

Ремонтні роботи виконуються в такій послідовності:

- Виконується демонтаж кришок апарата, люків, обв'язки та арматури. Це включає знімання зовнішніх елементів, що дає доступ до внутрішніх компонентів теплообмінного апарата.
- Здійснюється огляд для виявлення дефектів вальцювання, зварювання та цілісності трубок. Проводяться гідравлічні та пневматичні

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		79

випробування на робочий тиск для виявлення можливих проблем.

- Частково замінюються або відключаються дефектні трубки, а також здійснюється їх кріплення вальцюванням або зварюванням.
- Здійснюється ремонт футерівки та антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною.
- Проводиться ремонт або заміна зношеної арматури, трубопроводів та регулювання запобіжних клапанів.
- Здійснюється заміна ущільнень розбірних з'єднань для забезпечення герметичності системи.
- Здійснюється витягування трубок, очищення внутрішньої поверхні корпусу апарата та теплообмінних трубок, а також очищення отворів у трубних решітках та кінців трубок.
- Проводиться заміна пошкодженої частини корпусу, днищ (кришок) та зношених деталей.
- Виготовляються нові трубки, за необхідності.
- Здійснюється монтаж трубного пучка та вальцювання труб у решітках для забезпечення правильної розташованості і функціонування системи.
- Здійснюється ремонт плаваючих голівок для забезпечення їхньої правильної роботи.
- Здійснюється монтаж нарізних з'єднань для забезпечення герметичності трубопроводів.
- Проводиться гідравлічне випробування міжтрубної і трубної частин апарата пробним тиском для перевірки їхньої міцності та герметичності.
- Виконується пневматичне випробування апарата для перевірки його роботи під дією повітряного тиску.

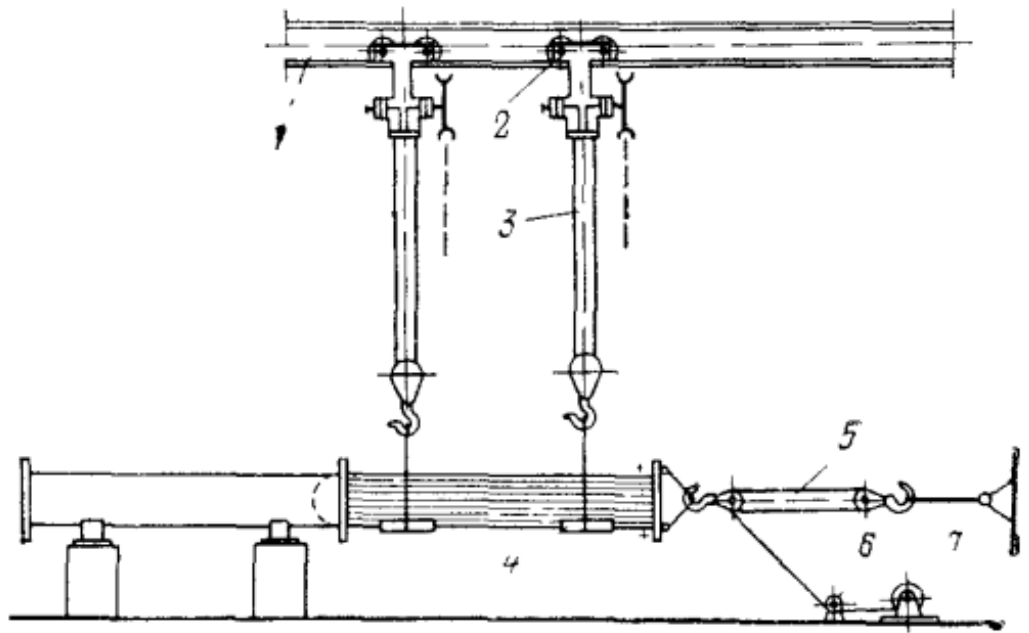


Рисунок 4.10 – Приспособа для заміни пучка труб теплообмінників
 1 – направляюча балка; 2 – утримуючий пристрій; 3 – галь; 4 – підкладка під пучок; 6 – відвідний блок; 7 – підйомний пристрій.

Основними недоліками конструкції теплообмінних апаратів є такі:

- Процес розбирання та збирання апарата під час очищення або заміни трубного пучка є трудомістким і потребує значних витрат часу та зусиль.
- Вальцювальні з'єднання між трубками та трубною дошкою мають обмежену стійкість, що може спричиняти проблеми з герметичністю та довговічністю.
- Забезпечення ефективного ущільнення між кришкою трубної дошки та плаваючою голівкою є технічно складним завданням, яке вимагає спеціальних рішень для запобігання витокам і підвищення надійності.

Причинами відмов теплообмінників можуть бути:

- **Порушення герметичності вальцювальних з'єднань.** Пропуск продукту через нещільні з'єднання знижує ефективність теплообміну. Такі проблеми можуть виникати через механічні пошкодження, знос або недостатній ступінь ущільнення під час монтажу.

- **Недоліки в ущільненні кришки.** Ненадійне ущільнення призводить до витоків і зниження ефективності роботи теплообмінника. Причиною можуть бути деформація ущільнювальних елементів, їх зношення або некоректна робота механізму ущільнення.
- **Корозійні пошкодження трубок трубного пучка.** Корозія викликає руйнування матеріалу, що веде до зниження теплопередачі та появи витоків. Основними причинами корозії є вплив агресивних середовищ, хімічні реакції або недостатній захист поверхонь трубок.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

5 Автоматика та автоматизація технологічного процесу

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу

В рамках розробленої технологічної схеми поєднаної зі схемою автоматизації (рис. 5.1) на її основі можна провести опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу.

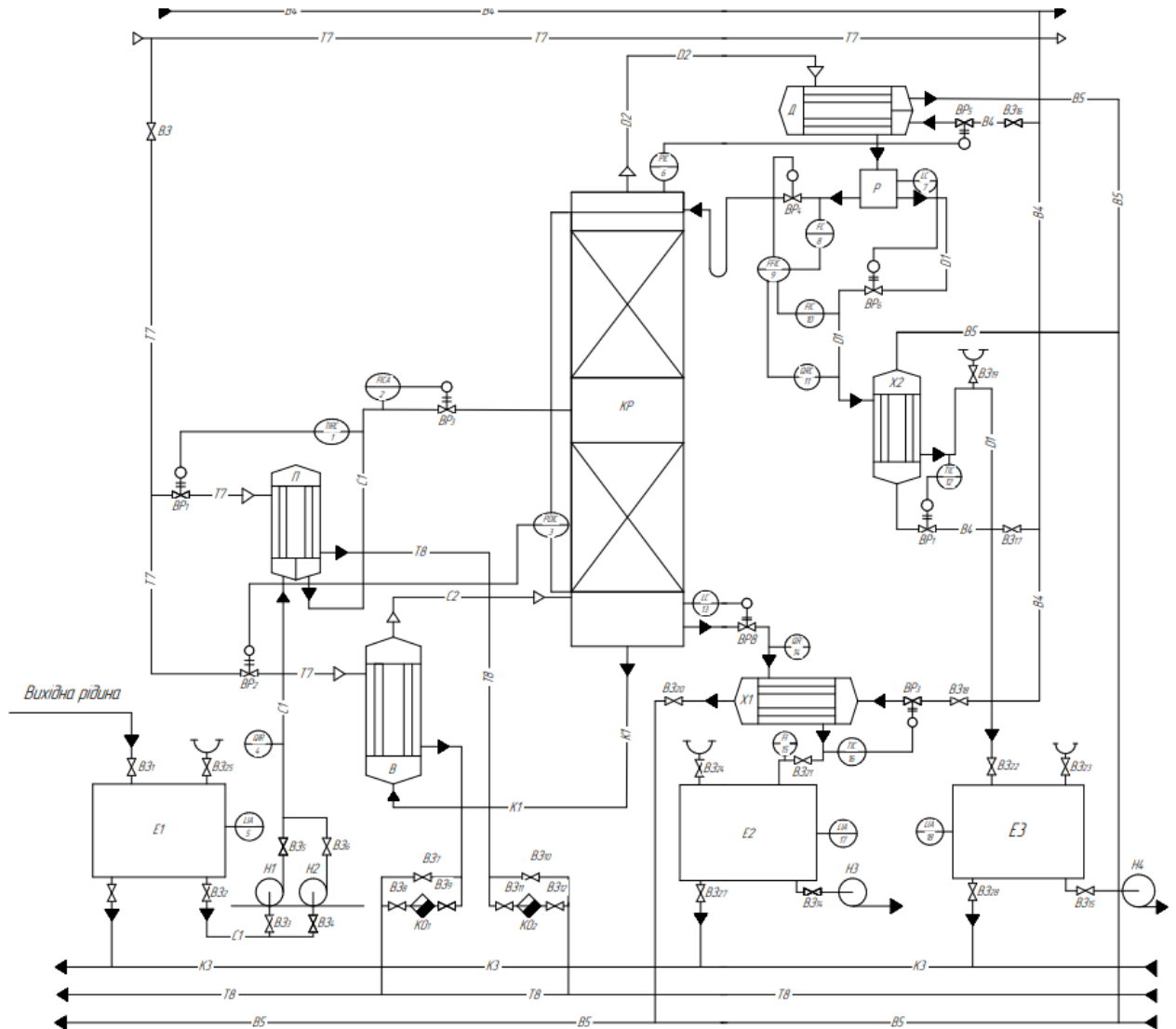


Рисунок 5.1 – Технологічна схема поєднана зі схемою автоматизації

Для розуміння процесу ректифікації в установці для розділення суміші «сірковуглець - чотирихлористий вуглець» наведено короткий опис основних етапів:

Подача вхідної суміші в ємність з відповідною контрольно-запірною апаратурою.

Підігрів вхідної суміші в теплообміннику перед випарником.

Випаровування суміші у випарнику, підтримання стабільного режиму температури і тиску для подальшої ректифікації.

Основна стадія ректифікації, під час якої контролюються і регулюються температурні градієнти і концентрація продукту.

Конденсація та охолодження за допомогою дефлегматора та охолоджуючих пристроїв.

Перевантаження готової продукції в спеціальні контейнери, обладнані пунктами контролю якості.

Для кожного етапу впроваджено автоматизоване обладнання, що забезпечує точний контроль і підтримку параметрів:

Перекачування суміші та рідини: Насоси контролюються на основі рівня рідини у вхідній суміші та резервуарах для готового продукту. Це дозволяє автоматично вмикати подачу рідини, коли рівень падає, і припиняти, коли він підвищується.

Контроль температури в теплообмінниках (нагрівач і випарник): автоматичні терморегулятори разом з датчиками підтримують оптимальний температурний режим, необхідний для переходу компонентів в парову фазу.

Ректифікаційна колона: автоматичний контроль температури на різних тарілках колони забезпечує ефективне розділення компонентів. Також встановлено датчики тиску та рівня для моніторингу умов усередині колони.

Конденсація та охолодження: для зворотних конденсаторів і охолоджуючих пристроїв використовуються регулятори температури і тиску, що забезпечують стабільний процес конденсації. Додатково встановлюються пристрої регулювання потоку.

Під час аналізу важливо звернути увагу на обладнання, яке забезпечує автоматизацію процесу:

Датчики рівня, тиску, температури і потоку постійно контролюють параметри і передають інформацію в систему управління.

Контролери регулюють параметри, що впливають на стабільність і ефективність процесу.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		84

Клапани та вентиляційні отвори, включаючи запірну, регулюючу та розподільну арматуру, автоматично регулюють потік рідин і парів.

Сигналізатори реагують на такі критичні показники, як зміна тиску і температури.

Для контролю та регулювання використовуються такі засоби. Для підтримки температури використовуються регулятори, які гарантують стабільне дотримання необхідних температур на різних етапах процесу. Регулятори тиску забезпечують підтримку необхідного тиску в колоні і допомагають контролювати конденсацію в дефлегматорі. Програмований контролер дозволяє об'єднати всі контрольно-вимірювальні прилади в єдину систему керування, яка забезпечує автоматичну роботу установки за заданими параметрами.

Важливою складовою установки є система контролю якості, яка оснащена пристроями для вимірювання параметрів продукції, які можуть зберігати дані та сигналізувати про невідповідності. Також важлива система безпеки, яка включає датчики та сигналізацію критичних параметрів, таких як тиск, температура та рівень рідини. Крім того, ці системи забезпечують автоматичне відключення установки в разі аварійних ситуацій.

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання

Сучасні промислові процеси, такі як дистиляція, вимагають високого рівня автоматизації для забезпечення стабільності, економічності та безпеки виробництва. Автоматизація дозволяє не тільки контролювати та регулювати такі важливі параметри, як температура, тиск і рівні компонентів у режимі реального часу, але й оптимізувати енергоспоживання, покращити якість продукції та знизити ризики для персоналу. Вітчизняними та зарубіжними фахівцями розроблено багато рекомендацій з автоматизації технологічних процесів, адаптованих до різних умов і типів виробництв. У цьому розділі представлено систему автоматизації процесу дистиляції, яка включає

найкращі практики та методи, які можна використовувати для ефективного управління процесом розділення сірковуглецю та чотирихлористого вуглецю.

Розглянемо рішення автоматизації процесу ректифікації. Як об'єкт використаємо установку, що складається з тарілчастої ректифікаційної колони, виносного кип'ятильника, дефлегматора та теплообмінника для підігріву вихідної суміші (рис. 5.2).

Ректифікація є одним із ключових процесів хімічної технології, ефективність якого залежить від складу одержуваного продукту. Залежно від вимог технології цільовим продуктом може бути як дистилят, так і залишки. Основним завданням контролю є забезпечення стабільності складу цільового продукту.

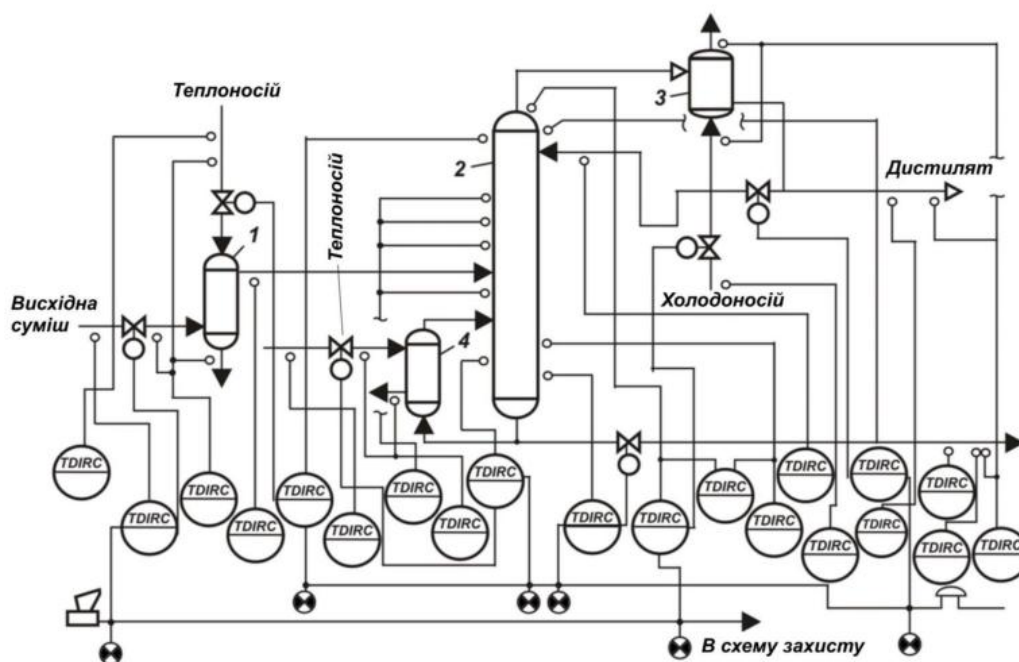


Рисунок 5.2 – Схема автоматизації процесу ректифікації:

- 1 – теплообмінник вихідної суміші; 2 – ректифікаційна колона; 3 – дефлегматор; 4 – кип'ятильник.

Ректифікаційна установка є складним об'єктом керування, який характеризується значною затримкою часу. Наприклад, у деяких випадках зміни початкових параметрів процесу стають помітними лише через 1-3 години після корекції параметрів сировини. Крім того, об'єкт має велику

кількість взаємозалежних параметрів, які розподілені в просторі, а також ряд інших специфічних ознак.

Керування процесом ускладнюється частими і значними порушеннями. На роботу установки впливають такі фактори, як зміна параметрів вихідної суміші, тепло- і теплоносії, погіршення характеристик теплообмінних поверхонь, утворення відкладень на стінках обладнання та ін. Крім того, технологічні на режим роботи ректифікаційних колон, розташованих на відкритому повітрі, впливають коливання температури атмосферного повітря.

Вираз, що описує зв'язок показника ефективності з параметрами процесу (отримано з рівнянь матеріального балансу) має наступний вигляд:

$$C_{\partial} = \frac{C_0 G_C - C_0 G_0}{G_C - G_0}, \quad (5.1)$$

де C_{∂} , C_C , C_0 - концентрація шуканого компонента відповідно в дистилляті, вихідній суміші, залишку; G_C , G_0 - витрати відповідно вихідної суміші і залишку.

Аналіз рівняння показує, що концентрація G_{∂} рідко залежить від початкових характеристик вихідної суміші. Зміна цих параметрів може викликати значне горіння, особливо якщо змінюється склад вихідної суміші, утвореної на попередньому етапі технологічного процесу.

Швидкість G_C потоку можна стабілізувати за допомогою регулятора потоку. Для забезпечення правильної роботи діафрагми та приводу цей регулятор слід розташувати перед теплообмінником. Це пов'язано з тим, що після нагрівання суміші до температури кипіння в ній може утворюватися парова фаза, яка може стати причиною некоректної роботи автоматики.

Максимальна суміш істотно впливає на ефективність процесу ректифікації. Якщо змішувати в колоні з температурою нижче температури кипіння, її нагрівання відбувається за рахунок пари, що піднімається знизу колони. Це збільшує збільшення концентрації парової фази, що порушує стабільність роботи всієї установки. Для усунення цього горіння температуру вихідної суміші стабілізують шляхом регулювання витрати теплоносія, що подається в теплообмінник.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		87

Розглянемо методи регулювання режимних параметрів у верхній (зміцнювальній) частині ректифікаційної колони, де формується склад дистиляту. Зв'язок між складом пари, що виходить зі зміцнювальної частини колони (а отже, і складом дистиляту), та іншими параметрами процесу можна прослідкувати на діаграмі (рис. 5.3).

Аналіз діаграми показує, що концентрація Y (показник ефективності) визначається концентрацією X , температурою кипіння t рідини і тиском пари P над рідиною. Для одержання визначеної концентрації, наприклад, Y_3 відповідно до правила фаз варто підтримувати на визначеному значенні тільки два з перерахованих параметрів, наприклад, тиск P і концентрацію X_3 .

Тиск P пари легко стабілізувати, змінюючи витрату пари з колони. При цьому виконавчий механізм встановлюють не на трубопроводі, що з'єднує верхню частину ректифікаційної колони з дефлегматором, а на лінії подачі холодоагенту в дефлегматор. Це пов'язано, зокрема, з тим, що при дроселюванні пари в трубопроводі дефлегматор починає працювати в режимі змінного тиску, що негативно впливає на процес конденсації.

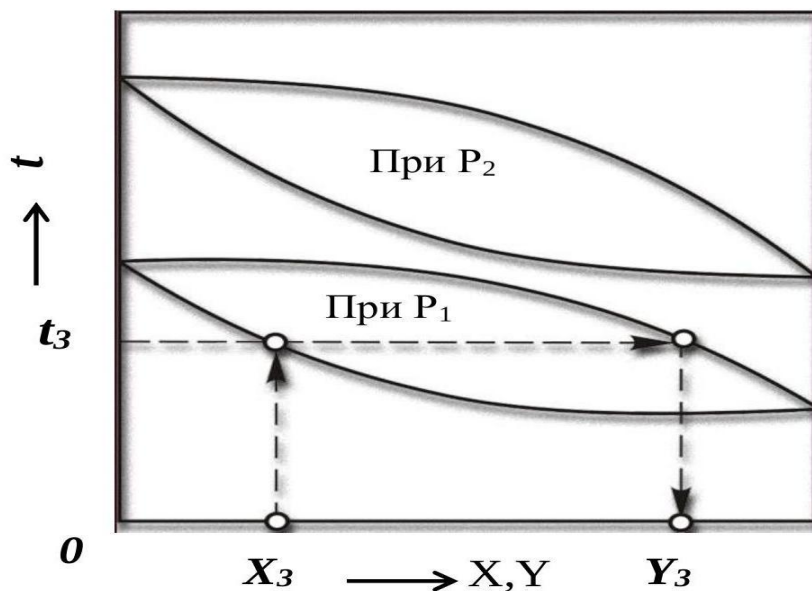


Рис. 5.3 Діаграма температура (t) - кониентрація низькокиплячого компонента в рідині (x) і парах (y)

Підтримка стабільного тиску у верхній частині колони важлива не лише для отримання цільового продукту заданого складу, а й для забезпечення

ефективної роботи колони. Зниження тиску може призвести до порушення гідродинамічного режиму - "захлинання" колони (висхідний потік пари перешкоджає нормальному стіканню рідини по тарілках), а його підвищення спричиняє зменшення швидкості парового потоку, що знижує продуктивність установки

Порівняно просто регулювати також і концентрацію X зміною витрати флегми: чим вище ця витрата, тим більше низькокиплячого компонента буде в рідині, і навпаки.

На практиці для регулювання складу пари (а іноді й безпосередньо складу дистиляту) часто змінюють витрату флегми. Регулюючий пристрій встановлюють на лінії флегми або на лінії дистиляту - обидва варіанти є рівнозначними. Для вимірювання складу в промисловості застосовують хроматографи та газоаналізатори.

Таким чином, для досягнення мети керування потрібно підтримувати сталий тиск та склад рідини у верхній частині колони, регулюючи витрату холодоагенту, що подається в дефлегматор, та витрату флегми. Ефективність регулювання цих параметрів залежить від складу та швидкості пари, яка піднімається з нижньої (вичерпної) частини колони, і визначається технологічним режимом цієї частини - в першу чергу тиском, температурою та складом рідини в кубі колони

Стабілізація тиску пари в кубі колони не є обов'язковою, оскільки ректифікаційна колона має властивість саморегулювання за цим параметром. Регулювання тиску у верхній частині колони автоматично призведе до встановлення стабільного тиску в кубі через короткий проміжок часу (тиск в кубі буде трохи вищим, ніж у верхній частині).

Дещо інша ситуація з температурою (або складом) рідини в кубі. Як і у верхній частині колонки, в кубі достатньо контролювати один параметр - або тиск, або температуру (склад). Однак коригування складу шляхом зміни швидкості флегми супроводжується значною затримкою, яка може тривати кілька годин. Тому для стабільної роботи куба необхідно окремо

контролювати один із цих параметрів. Контроль температури найчастіше обирають тому, що датчики температури простіші та надійніші порівняно з аналізаторами складу. Крім того, якщо основним продуктом є дистилят, вимоги до режиму роботи нижньої частини колони менш суворі, ніж до верхньої частини.

Тому необхідно контролювати температуру в нижній частині колони.

На роботу нижньої частини можна впливати, враховуючи витрату донного залишку або витрату теплоносія, що подається в котел. Однак після витрати донного залишку його доцільно використовувати для забезпечення матеріального балансу, тобто для стабілізації рівня рідини в кубі залишається єдиний варіант регулювання температури - регулювання витрати теплоносія.

Отже, для одержання дистиляту необхідного складу необхідно регулювати такі параметри: витрата і температура вихідної суміші, тиск у верхній частині колони, склад рідини у верхній зоні колони, тиск у верхній частині колони, склад рідини у верхній зоні колони. тиск у верхній частині колони, склад рідини у верхній зоні колони. а також температуру та рівень рідини в кубі. Крім того, необхідно забезпечити контроль наступних показників: витрати вихідної суміші, дистиляту, флегми, кубових залишків, теплоносія і холодоагенту; склад і температура кінцевих продуктів; температура вихідної суміші, теплоносія і холодоагенту; рівень рідини в кубі; температура по висоті стовпа; тиск у верхній і нижній частинах колони, а також різниця тисків між цими зонами.

Система сигналізації повинна бути налаштована на реагування при значних відхиленнях складу цільового продукту, рівня рідини або тиску стовпа від заданих параметрів. У разі перевищення допустимого тиску колони або припинення подачі вихідної суміші автомати захисту повинні припинити роботу ректифікаційної установки. У цьому випадку теплоносій, куби і дистиляційні лінії перекриті, а холодоагент і рефлюксні лінії повністю відкриті.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90

5.3 Модернізація процесу автоматизованого керування установкою

Впровадження штучного інтелекту в процес автоматизації виробництва відіграє ключову роль у підвищенні ефективності, надійності та адаптивності виробничих процесів. Традиційні автоматизовані системи мають обмеження, оскільки їхні алгоритми зазвичай програмуються статично і не можуть швидко реагувати на зміни умов. Використання штучного інтелекту дозволяє усунути ці недоліки.

Штучний інтелект забезпечує швидке реагування на непередбачені ситуації та автоматичне налаштування параметрів процесу без необхідності втручання оператора. Це досягається завдяки його здатності аналізувати великі масиви даних і виявляти приховані закономірності, які можуть залишатися непоміченими для людей. Використання ШІ дозволяє не тільки автоматизувати рутинні завдання, але й прогнозувати потенційні проблеми, що підвищує надійність системи та мінімізує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Використання штучного інтелекту в модернізації автоматизації дозволяє значно скоротити експлуатаційні витрати. Система ефективно оптимізує витрати енергії, матеріалів і часу, що позитивно впливає на загальну продуктивність виробництва. Крім того, зменшується навантаження на операторів, які можуть приділяти більше уваги більш складним завданням, а рутинні операції виконуються автоматично.

Інтеграція штучного інтелекту значною мірою забезпечує гнучкість виробничих процесів. Завдяки ШІ компанія може швидко адаптуватися до змін вимог ринку, умов використання чи характеристик сировини. Це забезпечує стабільну якість продукції при зниженні витрат, що дає компанії значну конкурентну перевагу.

Загалом, впровадження штучного інтелекту в автоматизацію заводів є важливим етапом у розвитку сучасного виробництва. Це забезпечує вищий

рівень контролю, підвищену надійність і економічну ефективність навіть в умовах постійних змін.

Інтеграція

Інтеграція інтелектуальної системи управління з існуючими автоматизованими системами здійснюється поетапно, щоб забезпечити плавний перехід і забезпечити повну сумісність обладнання.

Спочатку проводиться детальний аналіз поточної системи автоматизації, включаючи пристрої керування, датчики, виконавчі механізми та програмне забезпечення. Особливу увагу приділено використанню сучасних пристроїв, здатних точно розпізнавати та передавати дані про стан процесу, що є основою для навчання моделей штучного інтелекту.

На етапі впровадження нова система управління працює паралельно зі старою протягом тестового періоду. Це дозволяє оцінити ефективність інтелектуального управління порівняно з традиційними методами. При необхідності вносяться коригування алгоритму для усунення виявлених недоліків або адаптації до конкретних умов.

Після успішного тестування нова система бере на себе основні функції управління, а стара залишається в резерві для екстрених ситуацій. Такий підхід забезпечує високу надійність установки і дозволяє поступово переходити до повністю автоматизованого управління на основі штучного інтелекту.

Як це працює

Використання штучного інтелекту для управління та моніторингу дозволяє ефективно контролювати виробничі процеси в режимі реального часу, адаптуватися до змін і покращувати параметри технологічного обладнання. Це забезпечується постійним збором та аналізом даних за допомогою моделей ШІ.

Моніторинг здійснюється за допомогою мережі сучасних датчиків, які фіксують основні параметри, такі як температура, тиск, рівень рідини та концентрація компонентів. Отримані дані передаються в центральну систему,

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		92

де обробляються алгоритмами машинного навчання. Такі алгоритми здатні виявляти нестандартні ситуації, прогнозувати можливі збої та аналізувати зміни параметрів.

Управління процесом здійснюється автоматично, на основі аналізу зібраних даних. ШІ визначає оптимальні параметри для підтримки стабільності технологічного процесу. Наприклад, система може регулювати температуру в теплообміннику або змінювати подачу теплоносія для забезпечення необхідних умов випаровування. Це зводить до мінімуму потребу в ручному втручанні, що зменшує ризик людської помилки.

Система працює за принципом зворотного зв'язку: параметри автоматично налаштовуються в залежності від поточного стану процесу. Це дозволяє швидко адаптуватися до змін, таких як коливання якості сировини або зміни навантаження. Такий підхід забезпечує підвищену точність, стабільність і ефективність роботи обладнання.

Інтеграція штучного інтелекту в моніторинг також відкриває можливості для аналізу історичних даних, що допомагає визначити довгострокові тенденції та покращити алгоритми контролю на основі накопиченого досвіду. Це дозволяє більш ефективно прогнозувати відмови, оптимізувати використання ресурсів і підвищити продуктивність установки. Загалом інтелектуальне керування та моніторинг за допомогою штучного інтелекту сприяють покращенню якості продукції, зниженню експлуатаційних витрат і гарантованій безпеці процесу.

Сомодіагностика та ремонт

Виявлення проблемних місць у роботі обладнання та розробка рекомендацій щодо ремонту здійснюється шляхом аналізу експлуатаційних даних установки. Штучний інтелект обробляє ці дані, щоб виявити потенційні вразливості та передбачити можливі несправності.

Система контролює ключові робочі параметри, включаючи вібрацію, температуру, тиск, енергоспоживання та інші показники, які можуть сигналізувати про знос компонентів. Відхилення цих параметрів від

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		93

нормальних значень свідчать про можливі несправності або погіршення технічного стану. Алгоритми аналізують історичну інформацію та порівнюють її з поточними даними, що дозволяє виявити відхилення, які можуть бути першими ознаками проблем.

На основі отриманих результатів штучний інтелект формулює конкретні рекомендації щодо ремонту або заміни окремих деталей. Наприклад, при фіксації підвищеної вібрації насосів система може запропонувати перевірити підшипники або відновити балансування. Якщо виявлено зниження теплової ефективності теплообмінника, ШІ може порекомендувати очистити або перевірити труби, щоб усунути засмічення.

Крім того, система оптимізує графік технічного обслуговування, орієнтуючись не тільки на фіксовані проміжки часу, але й на фактичний стан обладнання. Це дозволяє уникнути непотрібних перевірок і технічного обслуговування, зосереджуючи зусилля виключно на компонентах, які потребують уваги.

Таким чином, інтелектуальна система допомагає завчасно виявляти несправності, запобігати аваріям і раціоналізувати обслуговування, забезпечуючи ефективність і надійність установки.

Інші напрями і переваги використання штучного інтелекту у процесі модернізації

Машинне навчання

ШІ можна використовувати для розробки навчальних програм і тренажерів для операторів. Віртуальні симулятори на основі ШІ дозволяють моделювати різні надзвичайні ситуації, забезпечуючи навчання персоналу в режимі реального часу.

Імітаційне моделювання та моделювання процесів

ШІ використовується для створення віртуальних моделей технологічних процесів, що дозволяє моделювати різні сценарії. Це дає можливість прогнозувати наслідки зміни параметрів, тестувати нові режими

роботи та оцінювати ризики перед тим, як вносити зміни в реальне обладнання.

Розширене управління обслуговуванням і ремонтом

ШІ використовується для більш детальної діагностики стану обладнання, в тому числі за допомогою інфрачервоного сканування, акустичного аналізу та огляду дроном. Це дозволяє оцінити важкодоступні місця установки і заздалегідь виявити приховані дефекти.

Інтелектуальне управління запасами

ШІ допомагає ефективно управляти матеріальними ресурсами, прогнозуючи потребу в сировині, витратних матеріалах і запчастинах. Це допомагає підтримувати оптимальний рівень запасів, зменшити витрати на зберігання та уникнути затримок у виробничому процесі.

Оптимізація енергії

Штучний інтелект може аналізувати енергоспоживання системи та визначати способи його зменшення. Алгоритми машинного навчання визначають неефективність використання енергії та пропонують коригування, щоб зменшити витрати на тепло та електроенергію, не впливаючи на якість продукції.

Прогнозування попиту та планування виробництва

ШІ аналізує ринок і прогнозує попит, що дозволяє краще планувати виробничі процеси. Це допомагає зменшити рівень запасів і швидше реагувати на зміни ринкових умов, підвищуючи гнучкість виробництва.

6 Охорона праці та довкілля

6.1 Аналіз небезпечних та шкдливих факторів виробництва

Вертикальний кожухотрубний теплообмінник, який використовується для випаровування чотирихлористого вуглецю в дистиляційній установці, має ряд потенційних ризиків і небезпек. Це пов'язано з агресивними властивостями чотирихлористого вуглецю, високими робочими температурами і тиском в системі, а також конструктивними особливостями теплообмінника.

Потенційні небезпеки та шкідливі фактори

Хімічна небезпека:

- Токсичність: чотирихлористий вуглець є високотоксичною речовиною, яка може викликати гостре або хронічне отруєння при вдиханні, контакті зі шкірою або проковтуванні.
- Корозійна активність: ця речовина бурхливо реагує з багатьма матеріалами, включаючи метали, потенційно спричиняючи корозію обладнання та вивільнення шкідливих сполук.
- Канцерогенність: існують наукові докази того, що чотирихлористий вуглець може бути канцерогенним.

Небезпека пожежі та вибуху

- Займистість: пари чотирихлористого вуглецю та повітря можуть утворювати вибухонебезпечні суміші.
- Небезпека високої температури: Підвищені температури в зоні випаровування можуть призвести до перегріву металевих елементів теплообмінника, створюючи ризик пошкодження.

Фізичні небезпеки:

- Високий тиск: високий робочий тиск у теплообмінниках призводить до зниження тиску в системі та ризику витоків небезпечних матеріалів.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96

- Гарячі поверхні: Під час роботи поверхні теплообмінника можуть сильно нагріватися, що створює ризик опіків при дотику.
- Шум: робота насосів та іншого обладнання може викликати підвищений шум, що може негативно вплинути на здоров'я працівників.

Екологічні ризики:

- Забруднення навколишнього середовища: У разі витоку чотирихлористого вуглецю можливе забруднення ґрунту, поверхневих і підземних вод, що становить значну екологічну небезпеку.

Фактори, що визначають ступінь небезпеки:

- Конструктивні особливості теплообмінника: Матеріал труби, товщина стінки, тип ущільнень.
- Режим роботи: Робочі параметри, такі як температура, тиск і швидкість потоку середовища.
- Стан обладнання: Наявність корозійних пошкоджень, тріщин та інших дефектів.
- Кваліфікація персоналу: Рівень знань та дотримання правил експлуатації та техніки безпеки.
- Системи безпеки: наявність та ефективність запобіжних клапанів, датчиків тиску та температури, систем аварійної зупинки.

Заходи безпеки є ключовим аспектом експлуатації будь-якого обладнання, особливо такого, що працює з агресивними речовинами.

Інженерні заходи безпеки:

- Матеріали: Вибір матеріалів, стійких до корозії та високих температур (наприклад, спеціальні нержавіючі сталі).
- Товщина стінок: Забезпечення достатньої міцності для витримання робочого тиску.
- Зварні шви: Якісне виконання зварних швів та їхній контроль.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		97

- Ущільнення: Використання хімічно стійких ущільнень.

Системи захисту:

- Системи аварійного скидання тиску: Захисні клапани, мембранні розривні диски.
- Системи пожежогасіння: Автоматичні системи пожежогасіння, пожежні крани.
- Системи вентиляції: Примусова вентиляція для відведення шкідливих парів.
- Системи контролю та управління: Датчики тиску, температури, рівня, системи автоматичного управління.
- Заземлення: Для запобігання статичної електрики та виникнення іскри.

Організаційні заходи безпеки:

- Інструктажі: Регулярні інструктажі персоналу з питань безпеки роботи.
- Доступ: Обмеження доступу до обладнання сторонніх осіб.
- Медичні огляди: Періодичні медичні огляди персоналу.
- Спецодяг та засоби захисту: Надання персоналу спецодягу, рукавичок, захисних окулярів, респіраторів.
- Аварійні плани: Розробка та регулярне оновлення планів реагування на аварійні ситуації.
- Екологічний моніторинг: Регулярний контроль за станом довкілля навколо обладнання.

Процедури безпечної експлуатації:

- Пуск і зупинка обладнання: Чіткі інструкції та процедури.
- Обслуговування: Регулярне технічне обслуговування та ремонт.
- Контроль параметрів: Постійний контроль за тиском, температурою, рівнем рідини.
- Огляд на корозію: Регулярний огляд обладнання на наявність корозії.
- Проба на герметичність: Перед пуском та після ремонту.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>		98

Спеціальні заходи для роботи з чотирихлористим вуглецем:

- Зберігання: Чотирихлористий вуглець повинен зберігатися в спеціальних ємностях у прохолодному, добре вентильованому місці.
- Перевезення: Дотримання правил перевезення небезпечних речовин.
- Утилізація: Організація безпечної утилізації відходів, що містять чотирихлористий вуглець.

Моніторинг та аналіз:

- Аналіз повітря робочої зони: Регулярно контролювати концентрацію шкідливих речовин у повітрі.
- Аналіз рідин: Аналіз якості робочих рідин на наявність домішок.
- Аналіз матеріалів: Аналіз матеріалів обладнання на корозію.
- Важливо розуміти, що безпека при використанні таких пристроїв є складним завданням, яке потребує поєднання технічних, організаційних та персональних заходів.

6.2 Охорона довкілля

У розділі "Охорона довкілля" розглядається питання **аналізу небезпеки ураження людини в існуючих електричних мережах.**

Електричні мережі є важливою частиною сучасної інфраструктури, але вони несуть потенційні ризики для людей, які з ними взаємодіють. Основною метою цього дослідження було виявлення можливих небезпечних ситуацій і розробка рекомендацій щодо зниження ризику ураження електричним струмом.

Аналіз ризиків травмування людей проводився шляхом вивчення літературних джерел та статистичних даних про нещасні випадки, пов'язані з електричним струмом. Основними небезпечними факторами в електричних мережах є доторкання до струмоведучих елементів, торкання електричних проводів або обладнання, замикання фаз між собою або на землю, а також небезпека травмування під час ремонтних або профілактичних робіт.

Основними ризиками, пов'язаними з ураженням людини в існуючих електричних мережах є:

Основна небезпека електричних мереж полягає в можливості проходження електричного струму через тіло людини. Тяжкість ураження залежить від сили струму, тривалості його дії та шляху його проходження по організму. Наслідки пошкодження можуть бути різними: від серйозних травм і опіків до зупинки серця або навіть смерті.

Відхилення напруги або збої в електричній мережі можуть стати причиною короткого замикання, яке може викликати значний струм. Це, у свою чергу, створює ризик пожежі, вибуху та інших небезпечних ситуацій.

Також причиною пожежі можуть бути збої в електромережі або неправильна експлуатація електроприладів. Такі пожежі можуть швидко поширюватися, завдаючи значних матеріальних збитків, травмованих та створюючи загрозу життю людей.

Відсутність регулярного технічного обслуговування, незатверджені зміни в електричних системах та використання низькопоясного обладнання можуть привести до виникнення небезпечних ситуацій. Несправне обладнання може створити ризик ураження струмом, короткого замикання або пожежі.

Неправильна ізоляція електричних проводів або несанкціоновані зміни в системі можуть призвести до витoku струму та збільшення ризику ураження людини.

Виконання ремонтних або монтажних робіт у неправильних умовах або без належного навчання і захисту може призвести до ураження струмом. Недостатня організація робочих місць і незнання правил безпеки можуть створити небезпечну ситуацію.

Недостатня свідомість та неповага до правил безпеки при роботі з електроустаткуванням можуть збільшити ризик ураження людини. Неправильне підключення, використання непридатних розеток або несанкціоновані зміни в електричних мережах можуть мати серйозні наслідки.

Щоб запобігти небезпеці ураження людини в електричних

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>100</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

мережах, треба виконувати заходи по безпеці:

Пожежі також можуть виникнути через відключення електроенергії або неправильне використання електроприладів. Вони можуть швидко поширюватися, спричиняючи значні матеріальні збитки, тілесні ушкодження та загибель людей.

Відсутність регулярного технічного обслуговування, несанкціоновані зміни електричних систем і використання неякісного обладнання часто призводять до небезпечних ситуацій. Несправне обладнання може спричинити ураження електричним струмом, коротке замикання або пожежу.

Неналежна ізоляція електричних проводів або несанкціоноване втручання в систему може спричинити витік струму, що значно підвищує ризик травмування людей.

Ремонтні або монтажні роботи, що виконуються без відповідних умов, належної підготовки або захисного обладнання, також можуть призвести до ураження електричним струмом. Неправильна організація робочого місця та ігнорування правил безпеки створюють додаткові ризики.

Недотримання правил техніки безпеки при роботі з електрообладнанням, недостатня обізнаність, неправильне використання приладів, наприклад, невідповідні розетки або самовільні зміни в електромережах, можуть мати тяжкі наслідки.

Ознайомлення з правилами безпеки при роботі з електроустановками та приладами є важливим етапом захисту. Це включає правильні методи підключення, експлуатації та зберігання електричного обладнання.

Дотримання національних і місцевих стандартів і правил електробезпеки є необхідною умовою для мінімізації ризиків

Застосування цих рекомендацій і заходів дозволяє значно знизити ймовірність ураження електричним струмом в діючих електричних мережах. Однак, працюючи з електрообладнанням, ви завжди повинні залишатися уважними, обережними та уникати потенційно небезпечних ситуацій.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>101</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Також доцільним є встановлення ефективних систем з фільтрами, здатними вловлювати та нейтралізувати випаровування чотирихлористого вуглецю, що значно знизить його концентрацію в повітрі та мінімізує вплив на довкілля. Важливим заходом є використання сенсорів і детекторів для автоматичного виявлення витоків та автоматичне блокування системи при виявленні підвищеної концентрації токсичних речовин. Це дозволяє своєчасно реагувати на небезпечні ситуації та усувати загрозу.

Підтримка оптимального температурного режиму є ще одним ключовим заходом, оскільки контроль температури всередині теплообмінника запобігає перевищенню допустимих теплових викидів, що сприяє зниженню ризику перегріву. Для забезпечення екологічної безпеки важливо облаштувати систему збору та утилізації відходів. Це можуть бути резервуари для збору потенційних витоків або аварійних розливів чотирихлористого вуглецю, які згодом транспортуються до спеціалізованих підприємств для безпечної утилізації.

Додатково, організація зон екологічного захисту навколо обладнання, обладнання їх сигналізаційними засобами для попередження персоналу про можливі ризики є важливим профілактичним заходом, який знижує небезпечний вплив на довкілля в разі аварійних ситуацій.

Таким чином, впровадження цих заходів дозволить значно зменшити негативний вплив теплообмінного обладнання на навколишнє середовище, створюючи безпечніші умови для екосистем та людей у зоні його експлуатації.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						102
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Висновки

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Ректифікаційна установка для розділення суміші сірковуглець – чотирихлористий вуглець. Розробити та модернізувати вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник для випарення чотирихлористого вуглецю» були проведені наступні дії:

У розділі «Аналіз літературних джерел» виконаний огляд на отримання основної речовини - чотирихлористий вуглець. Розібрані альтернативні технології отримання речовини. Проведений аналіз існуючих теплообмінних апаратів зі зазначенням переваг та недоліків. Та сформовані висновки до подальшої розробки апарату в наступних пунктах.

Розділ «Технологічна частина» включає обширні відомості що до процесів ректифікації і теплообміну, з доокладними описами використаної установки (Проведена характеристика основного технологічного обладнання установки, а саме: Ємність (D=4000мм., H=1000мм.), Насоси (X45/31)($Q=1,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, H=25 м, $\eta_{\text{н}}=0,6$), Теплообмінник-підігрівач (D=600мм., H=4300.), Випарник (D=800мм., H=4200мм.), Ректифікаційна колона (D=1000мм., H=17800мм.), Дефлегматор (D=600мм., H=4300.), Холодильник дистилляту (D=600мм., H=4300.), Холодильник кубової рідини (D=600мм., H=4300)). і проектного апарату (вертикальний теплообмінний апарат – випарник.). Проведеними технологічними розрахунками для визначення конструктивних розмірів апарата (випарник с поверхнею теплообміну $F = 109 \text{ м}^2$, діаметром D=0,8 м, труби розміром 25x2 мм, число ходів $n_x = 1$, число труб $n_{\text{тр}} = 465$, довжина труб $l_{\text{тр}} = 3 \text{ м}$, та прохідним перерізом одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,161 \text{ м}^2$). Гідравлічні розрахунки. Розрахунок і вибір допоміжного обладнання.

Розділ «Проектно-конструкторська частина». Містить в собі відомості по вибору конструкційних матеріалів. З докладними розборами характеристик сталей, умовами використання, і сильними та слабкими сторонами вибору. Важливою частиною розділу є наведені рекомендації в рамках модернізації

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		103

обладнання, для захисту конструкційних матеріалів, на основі їх недоліків, від внутрішніх подразників, у використанні проектного апарату в ректифікаційні установці. Та проведені розрахунки на міцність і стійкість основних елементів апарату: кожуху, кришки, днища, фланцевого з'єднання, опор.

«Будівельно-монтажна частина» включає в себе обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання на відкритому майданчику. Відомості, що до трасування трубопроводів на установці. Графічні зображення вигляду установки розроблені за допомогою спеціального інженерного програмного забезпечення. Інформація до проведення монтажних та ремонтних робіт, з рекомендаціями до модернізації апарату за рахунок обладнання захисною ізоляцією виготовленою для апарату, для підвищення енергоефективності, безпеки, і захисту від зовнішніх впливів.

Розділ «Автоматика та автоматизація технологічного процесу» включає в себе опис контрольованих параметрів під час проходження технологічного процесу установки. З розробленням систем автоматизованого керування роботою обладнання. І рекомендаціями з модернізації процесу автоматизованого керування за рахунок штучного інтелекту, з наведенням переваг впровадження, і інформації для інтегрування моделей штучного інтелекту в існуючі схеми автоматизації виробництва.

«Охорона праці та довкілля» включає в свій розділ аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть бути в рамках ректифікаційної установки і теплообмінного апарату. Охорона довкілля, включає в себе розкриття питання «аналізу небезпеки ураження людини в існуючих електричних мережах» і рекомендації по захисту довкілля.

Графічна частина представлена в такому вигляді: Технологічна схема, Складальне креслення апарату, Монтажне креслення, Складальне креслення корпусу апарату, Складальне креслення кришки апарату, Складальне креслення опори апарату, Плакат технологічної установки, Плакат теплообмінного апарату.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>104</i>

Список літератури

1. Методичні рекомендації до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 8.090220 "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"/Укл.: А.П. Врагов, Л.Г. Кірний. - Суми: Вид-во СумДУ, 2000. - 26с.
2. 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 : Сумський державний університет, 2021. – 391 с.
3. Відкритий електронний ресурс структурований лекцій, та навчальних матеріалів дисциплін. URL: <https://ocw.sumdu.edu.ua/>.
4. Приклади та задачі за курсом «Процеси та апарати хімічної технології» : навч. посіб. / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, В. О. Лещенко, А.П. Готлінська та ін.; за ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Харків: НТУ «ХП».– 480 с.
5. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучёв В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. А: 2006 г. – 743 с.
6. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів: – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2006. – 208 с.
7. Правила безпеки з чотирихлористим вуглецем / Вараниця А.О. м.Суми 2012. – 233 с.
8. Нержавіючі сталі та сплави корозійно-стійкі, жаростійкі та жароміцні ГОСТ 5632-2014
9. Кожухар В.Я. Автоматизовані системи керування хіміко-технологічними процесами : навчальний посібник / В.Я. Кожухар, В.В. Брем, О.В. Макаров. Одеса: ОП, 2021. 223 с.
10. Методичні вказівки і контрольні завдання до вивчення дисципліни "Монтаж, діагностика та ремонт обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв " для студентів денної і заочної форм навчання за фахом 7.090220 "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів" / Укл.

С.М.Яхненко. - Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 50 с.

11. Шкідливі хімічні речовини: Вуглеводні, галогенпохідні вуглеводнів/під загальною ред. В.А. Філова. - Л.: Хімія, 1990. - 734 с.

12. Автоматизація виробничих процесів. - Кіровоград: Видавець - Лисенко В.Ф., 2016 - 352 с.

13. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Текст] : навч. посіб. для студ.вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КП», 2012. – 336 с. : іл. – Біблігр.:с. 328–330. – 300 пр.

14. Онищук О.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / О.О. Онищук, Ж.О. Кормош. – Луцьк : Вежа-Друк, 2020. – 155 с

15. Курта С.А. Монографія. Хімія і технологія хлорорганічних сполук. ЦІТ ПНУ «Плай», Івано-Франківськ, -2009 р.-264с.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		106