

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 виділення бензолу і толуолу. Розробити та модернізувати кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування бензолу.

Виконав:

студент групи ХМ.м-31

Покидченко Єгор Володимирович

підпис

Залікова книжка

№23510288

Кваліфікаційна робота магістра

захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Керівник:

канд.техн.наук, доцент

Скиданенко М.С.

підпис, дата

Підпис голови

(заступника голови) комісії

СУМИ 2024

Зміст

Вступ

1.	Аналіз літературних джерел.....	6
1.1	Аналіз на альтернативні технології отримання речовини	6
1.2	Типи теплообмінних апаратів.....	11
2.	Технологічна частина.....	16
2.1	Опис технологічної схеми виробництва.....	16
2.2	Теоритичні основи процесу.....	17
2.3	Опис конструкції апарата.....	29
2.4	Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата.....	33
2.5	Гідравлічні розрахунки.....	37
2.6	Вибір допоможного обладнання.....	38
3.	Проектно-конструкторська частина.....	42
3.1	Вибір конструкційних матеріалів.....	42
3.2	Розрахунки на міцність та стійкість.....	44
3.2.1	Розрахунок товщини стінки кожуха.....	44
3.2.2	Розрахунок товщини стінки еліптичні днища та кришки.....	46
3.2.3	Розрахунок фланцевого з'єднання.....	47
3.2.4	Розрахунок опори апарата.....	53
4.	Будівельно-монтажна частина.....	56
4.1	Обґрунтування компанування основного обладнання та допоміжного обладнання.....	56
4.2	Проведення монтажних та ремонтних робіт.....	59
5.	Автоматика та автоматизація технологічного процесу.....	67

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Кожухотрубний теплообмінник з паровим простором <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Покидченко</i>					3	78
<i>Провер.</i>		<i>Скиданенко</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утв.</i>								
						ХМ.м-31		

5.1	Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу.....	67
5.2	Розроблення систем автоматизованого керування роботою обладнання	68
6.	Охорона праці.....	72
6.1	Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва.....	72
6.2	Охорона довкілля.....	73

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

Вступ

У сучасній хімічній промисловості велику увагу приділяють питанням оптимізації та підвищення продуктивності виробничих процесів. Важливою частиною цих зусиль є розробка та застосування енергоефективного обладнання, яке може значно знизити енергетичні витрати і вплив на довкілля. Особливо це стосується процесів, таких як випаровування бензолу, які відіграють критичну роль у багатьох хімічних виробництвах.

Завдяки цій роботі планується не тільки створення ефективного технологічного обладнання, але й значний внесок у збереження довкілля через оптимізацію використання енергетичних ресурсів та зменшення шкідливих викидів.

Основним завданням є розробка та модернізація. Підвищення ефективності дозволить покращити енергоефективність процесу, знизити витрати енергії та збільшити ступінь поділу компонентів.

Перспективи розвитку ректифікаційних технологій пов'язані з удосконаленням теплообміну та застосуванням нових конструкцій теплообмінників, що забезпечить вищу продуктивність та зменшить вплив на екологію.

Бензол (C_6H_6) - це найпростіший ароматичний вуглеводень, безбарвна рідина з характерним запахом. Він є важливим промисловим розчинником та сировиною для виробництва багатьох органічних сполук, таких як стирол, кумол та циклогексан. Бензол має високу токсичність та канцерогенність, тому його використання обмежене та регулюється. Толуол (C_7H_8), також відомий як метилбензол, є похідним бензолу, в якому один атом водню заміщений метильною групою. Він також є важливим розчинником та використовується у виробництві вибухівки (тротил), фарб, лаків та інших продуктів. Хоча толуол менш токсичний, ніж бензол, він все одно може мати негативний вплив на здоров'я людини при тривалому впливі.

1. Аналіз літературних

1.1 Аналіз на альтернативні технології отримання речовини

Толуол у природі трапляється в невеликих кількостях у сирій нафті та утворюється як побічний продукт на установках каталітичного риформінгу бензину або етиленового крекінгу. Також він є побічним продуктом коксування вугілля. Для остаточного розділення та очищення толуолу використовуються процеси перегонки або сольвентної екстракції, що застосовуються для ароматичних вуглеводнів, таких як бензол, толуол і ксилоли. Основна частина толуолу, що виробляється, має нафтохімічне походження. У США, наприклад, установки каталітичного риформінгу забезпечують 76,3% споживаного толуолу, установки піролізу нафтопродуктів — 14,4%, а виробництво з кам'яного вугілля становить лише 1,2%.

Основними процесами отримання ароматичних вуглеводнів, зокрема бензолу і толуолу, з нафтопродуктів є каталітичний крекінг і риформінг нафти. Ці методи широко застосовуються в хімічній промисловості завдяки високій ефективності і відносно стабільному забезпеченню сировиною.

Каталітичний крекінг заснований на розщепленні довголанцюгових вуглеводнів у нафтових фракціях на більш дрібні молекули при підвищених температурах і в присутності каталізаторів. Процес протікає в кілька стадій, основними з яких є дегідрування, ізомеризація та розрив вуглець-вуглецевих зв'язків. В результаті утворюються газоподібні і рідкі продукти, збагачені ненасиченими і ароматичними вуглеводнями. Крім бензолу і толуолу, побічними продуктами є етилен, пропілен, бутани і більш важкі фракції, які використовуються як компоненти палива.

Основним каталізатором у цьому процесі є цеоліти, які забезпечують високу селективність і стабільність при роботі. Процес відбувається при температурах 450–550 °С і тиску 1,5–3 МПа. Ефективність

					<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

каталітичного крекінгу залежить від якості вихідної сировини та умов реакції.

Каталітичний риформінг - це процес перетворення нафтових фракцій з низьким вмістом ароматичних вуглеводнів у фракції з високим вмістом бензолу, толуолу і ксилолів. Основною реакцією риформінгу є дегідроциклізація, яка перетворює парафіни і нафтени в ароматичні вуглеводні. Паралельно відбувається ізомеризація і частковий крекінг-фрагментація молекул.

Процес риформінгу здійснюють на платиновмісних каталізаторах, нанесених на оксидну основу (найчастіше $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$). Реакція відбувається при температурах 480–520 °С і тиску 1–5 МПа з додаванням водню для зменшення утворення вуглецевих відкладень. Отримані продукти, такі як бензол, толуол і ксилоли (ВТХ), виділяють методами дистиляції та сорбції.

Основними перевагами каталітичного риформінгу є висока селективність процесу і можливість отримання чистих ароматичних вуглеводнів, придатних для використання в подальшому хімічному синтезі. До недоліків можна віднести високу залежність процесу від вартості нафти і високу енергоємність.

Обидва способи є ключовими у виробництві ароматичних сполук. Каталітичний крекінг дає широкий спектр продуктів, а риформінг дозволяє отримувати специфічні ароматичні вуглеводні високої чистоти.

Піроліз нафтопродуктів є одним із важливих методів отримання ароматичних вуглеводнів, зокрема бензолу і толуолу, які широко застосовуються в хімічній промисловості. Цей процес полягає в термічному розкладанні вуглеводнів при високих температурах (800–1100 °С) і низькому парціальному тиску з утворенням ненасичених і ароматичних сполук.

Вихідними матеріалами для піролізу зазвичай є нафтові фракції, включаючи етан, пропан, бутан, n-алкани, або рідкі нафтові фракції, такі як бензин або газойль. Кінцевий вихід продукту залежить від вибору вихідних матеріалів. Для отримання ароматичних вуглеводнів зазвичай

					<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>		7

використовують більш важкі фракції, що містять n-алкани і нафтени.

Основні хімічні реакції піролізу включають дегідрування, циклізацію та ароматизацію. У процесі дегідрування насичені вуглеводні втрачають водень, перетворюючись на ненасичені сполуки. Циклізація відбувається за участю олефінів, які утворюють циклічні структури, а ароматизація завершує перетворення циклічних сполук у бензол, толуол і ксилоли. Високі температури сприяють досягненню рівноваги в напрямку утворення ароматичних сполук.

Для селективного формування ароматичних продуктів використовуються спеціалізовані піролізні установки. У таких установках контроль температури, часу перебування сировини в реакційній зоні та співвідношення сировина-пар забезпечує оптимальні умови для отримання цільових сполук. Відведення тепла із зони реакції та швидке охолодження продуктів після завершення піролізу важливі для запобігання подальшого розкладання ароматичних вуглеводнів.

Продукти піролізу містять широкий спектр речовин, серед яких переважають етилен, пропілен, ацетилен, бензол, толуол і більш важкі ароматичні вуглеводні. Бензол і толуол виділяють за допомогою фракційної дистиляції та сорбційних технологій. Високі виходи ароматичних сполук забезпечуються підбором відповідної сировини та оптимізацією технологічних параметрів.

Однією з переваг піролізу є можливість одержання різноманітних продуктів, що робить цей процес багатофункціональним у хімічній промисловості. Однак він є енергоємним через високі температури та потребує складного обладнання для зменшення утворення побічних продуктів, таких як сажа та поліциклічні ароматичні вуглеводні. Інтеграція сучасних каталітичних технологій у піролізні установки дозволяє підвищити селективність процесу та знизити енерговитрати, що робить піроліз нафтопродуктів одним із ключових процесів у виробництві ароматичних вуглеводнів.

Коксування вугілля — процес термічної переробки кам'яного або бурого вугілля при високих температурах (900-1100 °С) без доступу повітря, в результаті чого утворюються кокс, кам'яновугільна смола, коксовий газ і аміачна вода. Цей метод має історичне значення як один з перших методів отримання ароматичних вуглеводнів, таких як бензол і толуол.

Процес коксування відбувається в коксових печах, які являють собою закриті вертикальні або горизонтальні камери, де вугілля піддається термохімічним перетворенням. На першому етапі нагріву вугілля виділяється волога, а потім відбувається дегазація з виділенням летких сполук, які конденсуються у вигляді кам'яновугільної смоли. Гудрон містить ароматичні вуглеводні, зокрема бензол, толуол, ксилоли, а також феноли та інші органічні сполуки.

Отриманий дьоготь додатково переробляють перегонкою для виділення окремих компонентів. Бензол, толуол і ксилоли є одними з основних цільових продуктів цього процесу, оскільки вони використовуються у виробництві пластмас, синтетичних волокон, фармацевтичних препаратів та інших хімічних продуктів.

Коксовий газ, що утворюється під час коксування, містить значну кількість водню, метану, оксиду вуглецю та невелику кількість вуглеводнів. Його можна використовувати як паливо або як сировину для синтезу хімічних продуктів.

Основним продуктом процесу залишається кокс, який використовується в основному в металургії для відновлення заліза в доменних печах. Кокс має високий вміст вуглецю, низький вміст сірки та відносно стабільні фізико-механічні властивості, що робить його важливим для процесів високотемпературного відновлення.

Перевагою коксування є можливість переробки низькосортного вугілля, яке не придатне для безпосереднього використання в якості енергоносія. Проте суттєвими недоліками є висока енергоємність процесу та утворення значної кількості викидів забруднюючих речовин, у тому числі

					<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

поліциклічних ароматичних вуглеводнів, які є токсичними для навколишнього середовища.

Для зменшення негативного впливу коксування на навколишнє середовище активно впроваджуються методи утилізації побічних продуктів і модернізація технологій газоочистки. Незважаючи на розвиток альтернативних джерел ароматичних вуглеводнів, коксування залишається актуальним для регіонів з великими запасами вугілля.

Потреба в толуолі значно зменшилася за останні десятиліття. Це пов'язано зі змінами стандартів у розвинених країнах, які вимагають зниження вмісту ароматичних вуглеводнів, зокрема бензолу, у товарних бензинах. У 1999 році лише 38% світового виробництва толуолу використовували для підвищення октанового числа бензину, а в найближчі роки очікується подальше зниження цієї частки.

Сировиною для виробництва ароматичних вуглеводнів у процесі каталітичного риформінгу є бензинові фракції прямої перегонки нафти з різними діапазонами температур кипіння:

- для отримання бензолу — 62–85°C;
- для толуолу — 85–105°C;
- для ксилолів — 105–140°C.

Одним із методів отримання бензолу та толуолу є ректифікація суміші бензол-толуол. Бензол (С₆H₆), як ароматичний вуглеводень, входить до складу бензину та широко використовується в промисловості, зокрема у виробництві ліків, пластмас, синтетичного каучуку, барвників. Ароматичні вуглеводні, до яких належить бензол, становлять близько 30% маси пластмас, 66% у синтетичному каучуку та гумі, і до 80% у синтетичних волокнах. Хоча бензол трапляється в сирій нафті, його зазвичай отримують шляхом синтезу з інших компонентів нафти.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						10
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Ректифікаційні колони забезпечують чистоту бензолу та толуолу на рівні 99,9%, а вміст толуолу в ксилольних фракціях не перевищує 1,5%. Ректифікація також застосовується для розділення нафтової сировини на окремі фракції або індивідуальні вуглеводні, що знаходиться застосування в нафтопереробній, нафтохімічній та хіміко-фармацевтичній промисловості.

1.2 Типи теплообмінних апаратів

Кожухотрубний теплообмінний апарат для випарення з паровим простором є одним із найпоширеніших видів обладнання, що використовується для передачі тепла в промислових процесах. Його конструкція забезпечує ефективну теплопередачу між двома середовищами — робочою рідиною та паром, яка утворюється внаслідок випарення. Основною особливістю такого апарата є наявність парового простору, де відбувається фазовий перехід рідини в пару.

Класичний кожухотрубний теплообмінник складається з циліндричного кожуха, всередині якого розташовано пакет труб, що можуть бути прямими або вигнутими залежно від конструкції. Робоча рідина протікає через трубний простір, а теплоносій циркулює в міжтрубному просторі. Для забезпечення рівномірного розподілу потоків та ефективного тепловідведення часто використовуються перегородки, що спрямовують рух середовищ.

Існує кілька варіантів конструкцій кожухотрубних теплообмінників, які адаптуються до різних умов роботи:

Теплообмінники з нерухомими трубними решітками є одними з найбільш поширених конструкцій кожухотрубних апаратів. У таких теплообмінниках трубний пучок жорстко закріплений з обох кінців у нерухомих трубних решітках, які, у свою чергу, приварені до кожуха. Така конструкція забезпечує високу механічну міцність і простоту виготовлення, що робить їх економічно вигідним вибором для багатьох технологічних процесів.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Основною особливістю є те, що трубний і міжтрубний простори розділені, що дозволяє працювати з середовищами, які не можуть змішуватися. Водночас нерухомість решіток обмежує компенсацію термічних напружень, які виникають при значних перепадах температур між середовищами. Через це такі теплообмінники зазвичай застосовують у процесах із відносно невеликими температурними перепадами.

Перевагами цієї конструкції є компактність, простота в обслуговуванні та висока герметичність. Проте основним недоліком є ускладнене очищення міжтрубного простору, що обмежує застосування апарата в умовах із високою ймовірністю забруднення теплоносія.

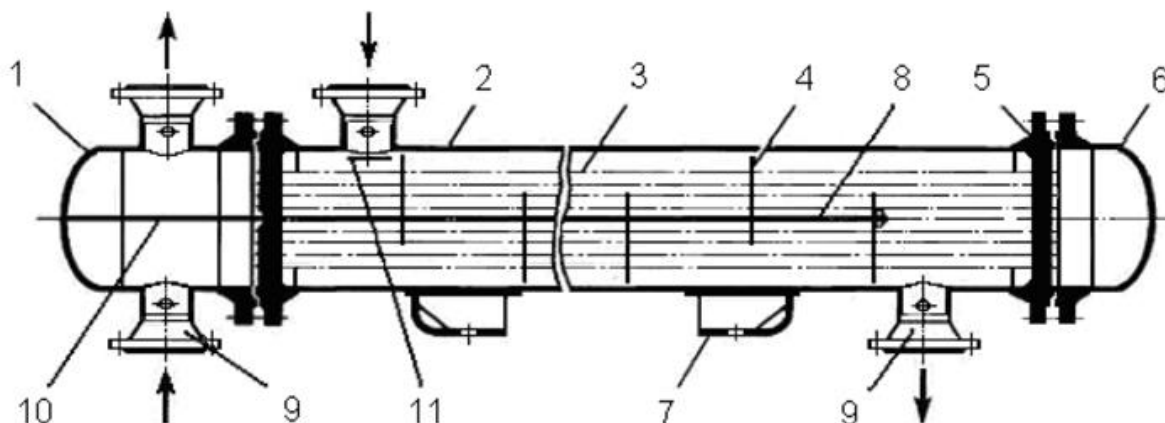


Рис. 1.1 Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками:

1-розподільна камера; 2-кожух; 3-теплообмінна труба; 4-поперечна перегородка; 5-трубні ґрати; 6 – задня кришка кожуха; 7-опора; 8- дистанційна трубка; 9-штуцери; 10-перегородка у розподільчій камері; 11 – відбійник

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

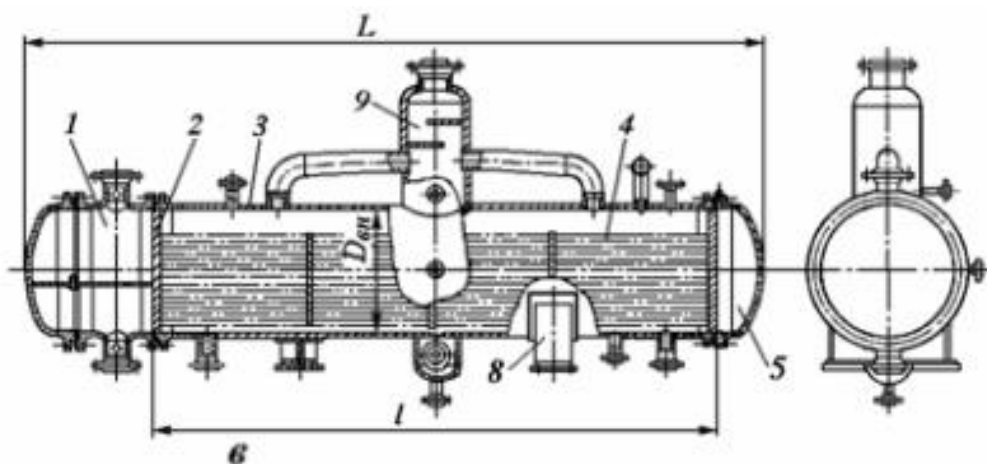


Рисунок 1.2 Теплообмінник кожухотрубний з сухопарником - 1 - розподільна камера; 2 - трубна решітка; 3 - корпус; 4 - трубчатка; 5 - кришка еліптична; 6 - переливна планка; 7 - днище; 8 - опора; 9 - сухопарник.

Теплообмінники з плаваючою головкою вирізняються тим, що один кінець трубного пучка жорстко закріплений у нерухомій трубній решітці, а інший – вільно розташований у плаваючій головці. Така конструкція забезпечує компенсацію теплових деформацій трубного пучка, які виникають при великих перепадах температур між робочими середовищами. Завдяки цьому апарати широко застосовуються в умовах високих температур або значних змін температурного режиму.

Плаваюча головка дозволяє зняти трубний пучок для очищення або ремонту, що спрощує обслуговування апарата. Вона також забезпечує зменшення напружень у з'єднаннях і підвищує довговічність конструкції. Однак така система потребує більш складного виготовлення, що може підвищувати її вартість у порівнянні з теплообмінниками з нерухомими решітками.

Ці апарати зазвичай використовуються у високотемпературних або агресивних середовищах, де потрібна гнучкість конструкції та надійність. Їх застосовують у нафтохімічній, енергетичній та хімічній промисловості, де ефективність теплопередачі та можливість регулярного технічного обслуговування є критично важливими.

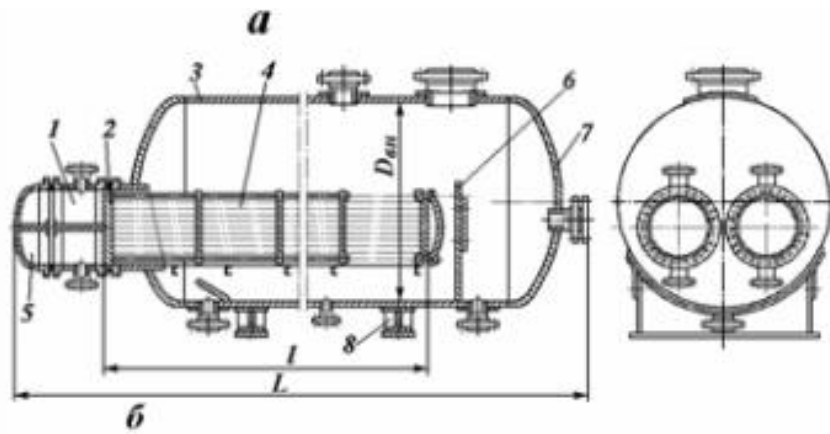


Рис. 1.3 Кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором з плаваючою головою:

1 - розподільна камера; 2 - трубна решітка; 3 - корпус; 4 - трубчатка; 5 - кришка еліптична; 6 - переливна планка; 7 - днище; 8 - опора; 9 - сухопарник.

Теплообмінники з U-подібними трубами вирізняються тим, що кожна труба має вигнуту форму у вигляді літери "U" і закріплена лише на одній трубній решітці. Це дозволяє їм ефективно компенсувати термічні деформації, які виникають через значні перепади температур між робочими середовищами. Завдяки такій конструкції відпадає необхідність у плаваючій головці, що спрощує апарат і зменшує його вартість.

Однією з ключових переваг теплообмінників із U-подібними трубами є їхня компактність і здатність працювати в умовах високих температур і тисків. Крім того, їх конструкція забезпечує доступ до внутрішньої частини труб для очищення, що є важливим у процесах із робочими середовищами, схильними до утворення відкладень.

Проте основним недоліком є складність конструкції трубного пучка, що може ускладнити рівномірний розподіл потоків. Також ці апарати менш ефективні в застосуваннях, де потрібна максимальна щільність пакету труб, оскільки вигин труб займає додатковий простір. Зазвичай їх використовують у хімічній, нафтохімічній та енергетичній промисловості, де надійність і довговічність конструкції є критичними.

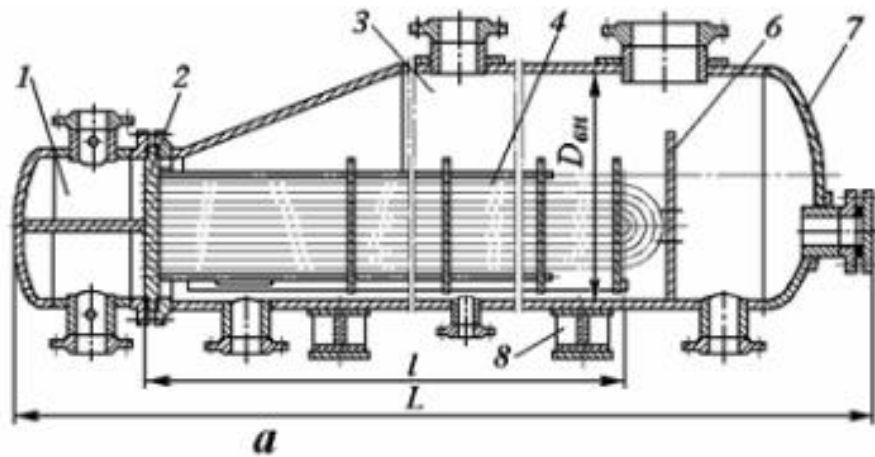


Рисунок 1.4 Кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором з U-подібними трубами

- 1 - розподільна камера; 2 - трубна решітка; 3 - корпус; 4 - трубочатка; 5 - кришка еліптична; 6 - переливна планка; 7 - днище; 8 - опора; 9 - сухопарник.

Одноходові та багатоходові конструкції.

У одноходових апаратах потік робочої рідини проходить через трубний простір один раз, тоді як у багатоходових його рух здійснюється кількома напрямками завдяки перегородкам. Це дозволяє покращити теплопередачу за рахунок збільшення турбулентності.

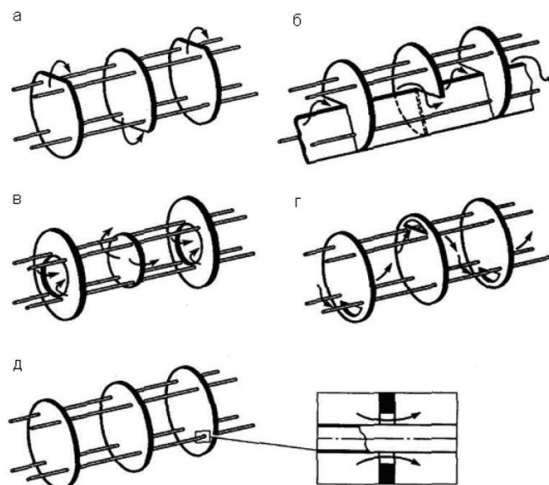


Рисунок 1.5 Поперечні перегородки кожухотрубних апаратів - а - із сегментним вирізом; б - із секторним вирізом; в - перегородки «диск-кільце»; г - із щілинним вирізом; д - «суцільні»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2 Технологічна частина

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

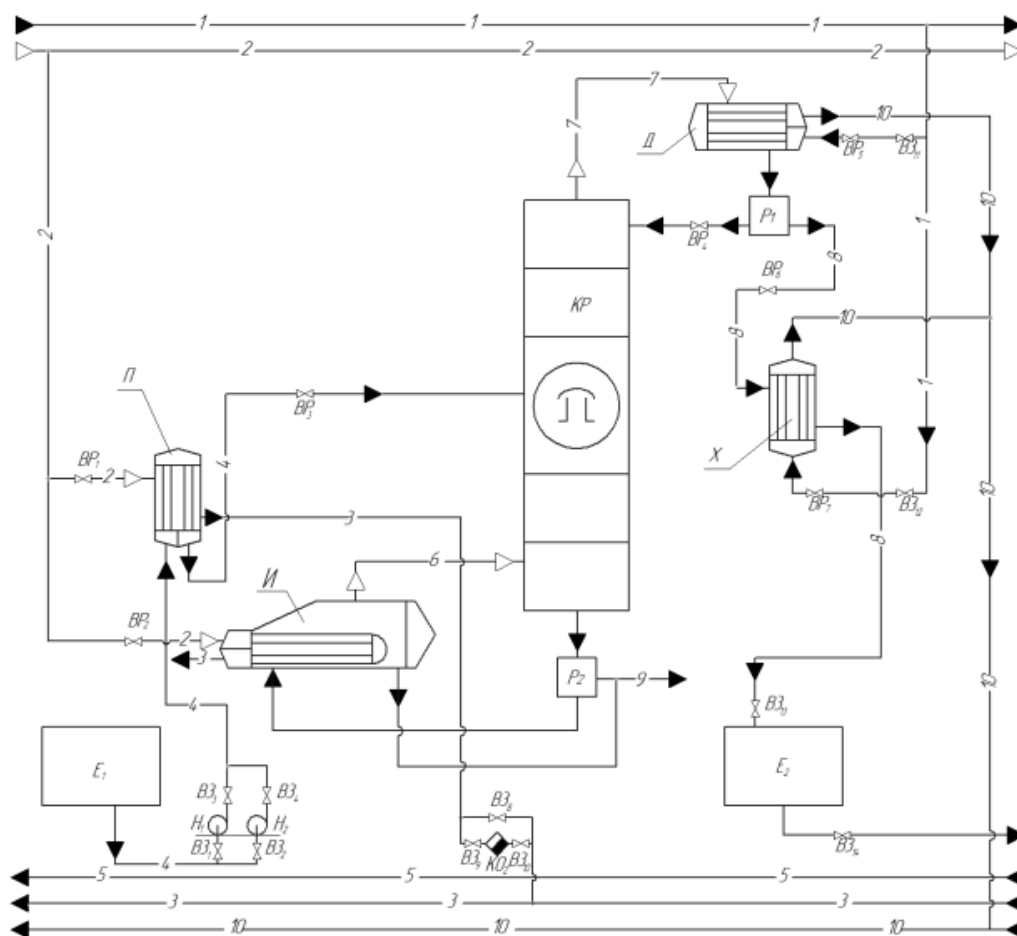


Рисунок 2.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки

Функціонування цієї установки засноване на наступному принципі. Збірник Е1 за допомогою двох центробіжних насосів Н1 і Н2 подає вихідний розчин у трубний простір теплообмінника-підігрівача П, де він нагрівається до температури кипіння завдяки протидії потоку гріючої пари, яка конденсується в міжтрубному просторі. Нагрітий розчин потім переходить до секції живлення атмосферної ректифікаційної колони КР, де склад рідини на тарілці живлення відповідає вихідній суміші. Під час розділення суміші, кубовий залишок (бензол) відводиться через нижній штуцер колони і направляється до товарного парку продукту. Частина кубового залишку відбирає розподільник Р2, звідки вона потрапляє в випарник И. Там, під

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ХІ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

16

впливом тепла насиченої водяної пари, яка подається у трубний простір, відбувається випаровування бензолу з утворенням парів труднокиплячого компонента, які повертаються під нижню тарілку ректифікаційної колони для її парового зрошення.

У верхній частині колони проходить процес збагачення пари легкокиплячим компонентом через багатоступінчатий контакт на ковпачкових тарілках з флегмою, що стікає зверху вниз. Пара з верхньої частини колони переходить до дефлегматора Д, де конденсується в міжтрубному просторі теплообмінника завдяки відводу тепла холодоагентом, який переміщується через трубний простір. Частина отриманого конденсату у вигляді флегми повертається до колони, а дистилят, відібраний на розподільнику Р1, додатково охолоджується в вертикальному холодильнику Х і направляється до ємності Е2, звідки відкачується як готовий продукт споживачу.

Таблиця 2.1 – Характеристики основного обладнання

Обладнання	Основні характеристики
Ємність	D=2000мм., Н=3500мм.
Насоси Х45/31	Q=13 м ³ /с, Н=25 м, η _н =0,6.
Теплообмінник-підігрівач	D=600мм., Н=2000.
Випарник	D=1000мм., Н=4000мм.
Ректифікаційна колона	D=1000мм., Н=18000мм.
Дефлегматор	D=800мм., Н=3000.
Холодильник	D=800мм., Н=4000.
Холодильник кубової рідини	D=800мм., Н=4000.

2.2 Теоретичні основи процесу

У випарниках, що відіграють ключову роль у процесах теплообміну, здійснюється інтенсивний нагрів робочого середовища, яке може бути рідиною або розчином. У ході цього процесу теплова енергія

передається від гарячого теплоносія до середовища, спричиняючи його випаровування та перехід у пару чи газ. При цьому об'єм середовища збільшується, а утворені пари або гази виходять із апарата.

Випаровування у випарниках є ефективним способом отримання пари чи газів із рідкої фази для подальшого використання в різних галузях промисловості, таких як енергетика, хімічне виробництво чи системи охолодження. Цей процес забезпечує раціональне використання теплової енергії теплоносія, дозволяючи ефективно генерувати необхідні парові або газові продукти.

Теплообмін, або теплопередача, — це процес передачі теплової енергії між двома тілами або системами з різними температурами. Цей обмін відбувається за рахунок контакту або близького розташування об'єктів і залежить від температурної різниці між ними. Основними способами теплообміну є теплопровідність, конвекція та теплове випромінювання.

У міжнародній системі одиниць (SI) теплову енергію вимірюють у джоулях, хоча раніше використовувалася калорія.

Нагрівання — це процес підвищення температури оброблюваних матеріалів шляхом передачі їм теплової енергії. Як теплоносії для нагрівання середовищ застосовують водяну пару, гарячу воду, нагріте повітря, димові гази, електричний струм тощо.

Насичена водяна пара є найпоширенішим теплоносієм у промисловості завдяки своїм численним перевагам:

1. Економічність використання обумовлена високою питомою теплотою конденсації.
2. Забезпечує ефективну теплопередачу завдяки високому коефіцієнту тепловіддачі.
3. Зручна в транспортуванні через трубопроводи до теплообмінних апаратів.
4. Дозволяє легко і автоматизовано регулювати температуру нагріву матеріалів.

5. Гарантує рівномірне нагрівання, оскільки процес конденсації пари відбувається при постійній температурі.

Існує кілька методів нагрівання, залежно від специфіки процесу та використовуваних теплоносіїв:

1. Використання глухої пари.
2. Застосування насиченої пари.
3. Нагрівання гострою парою.
4. Використання гарячої води.
5. Застосування топкових газів.
6. Використання високотемпературних теплоносіїв.
7. Нагрівання за допомогою електричного струму.

Під час нагрівання насиченою парою перегріта водяна пара зазвичай не використовується як тепловий агент. Для запобігання виведенню неконденсованої пари із зони конденсації застосовують спеціальні пристрої, відомі як конденсатовідвідники. Наявність у парі газів, таких як повітря, N_2 , O_2 , або CO_2 , негативно впливає на процес тепловіддачі, зменшуючи її коефіцієнт.

Одним із ключових аспектів розрахунку є визначення розмірів теплообмінника на основі теплового балансу:

$$Q = G_1 \cdot \Delta i_1 = G_2 \cdot \Delta i_2, \quad (2.1)$$

де Q - тепловий потік (кількість тепла, що передається від одного теплоносія іншому в одиницю часу), Вт;

G_1 і G_2 - маса теплоносіїв, що обмінюються теплом, кг/с;

Δi_1 і Δi_2 - зміна тепломістку теплоносів під час процесу теплопередачі, Дж/кг.

Якщо агрегатний стан теплоносія в процесі теплопередачі не змінюється, то:

$$\Delta i = c_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (2.2)$$

де t_1 і t_2 - температури теплоносія на вході та виході теплообмінника, К; c_p – середня теплоємність при температурі

$$\frac{t_1 + t_2}{2}, \frac{Дж}{кг \cdot К}. \quad (2.3)$$

Якщо внаслідок кипіння або конденсації відбувається зміна агрегатного стану теплоносія, то зміна тепломісткості дорівнює:

$$\Delta i = c_n \cdot (t_n - t_H) + \tau + c \cdot (t_H - t_{ж}), \text{ Дж/кг}; \quad (2.4)$$

де t_n і $t_{ж}$ - температури пари та рідини, К;

t_H - температура насичення пари, К;

c_n і $c_{ж}$ - середні теплоємності пари та рідини, Дж/(кг·К);

τ - теплота пароутворення, Дж/кг.

Для теплообмінників, у яких нагрівання відбувається паром, можна вважати, що $t_n = t_k$ і $t_{ж} = t_n$.

Тоді (як це часто вважають):

$$\Delta i = \tau. \quad (2.5)$$

Визначення поверхні теплообмінника проводиться за основним рівнянням теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K}, \quad (2.6)$$

де F - поверхня теплообміну, м²;

Δt_{cp} – середня різниця температур, К;

K - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² · К²).

Температурний напір Δt_{cp} є основною рушійною силою процесу теплообміну, і його величина залежить від схеми руху теплоносіїв, а також від того, чи зберігається їхній агрегатний стан. У випадку, коли агрегатний стан обох теплоносіїв змінюється:

$$\Delta t_{cp} = t_{кон} - t_{кип}, \text{ К}. \quad (2.7)$$

Якщо хоча б один із теплоносіїв не змінює свого агрегатного стану, різниця температур вздовж стінки, що розділяє теплоносії, буде змінюватися.

У таких випадках для розрахунків використовується середня різниця температур.

Для протитечії, паралельного потоку або коли теплоносії рухається вздовж роздільної стінки, одна сторона якої контактує з теплоносієм зі сталою температурою (внаслідок зміни його агрегатного стану), температурним напором є середня логарифмічна різниця температур.

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad (2.8)$$

де Δt_1 - більша різниця температур теплоносіїв біля одного кінця теплообмінника.

Δt_2 - менша різниця температур теплоносіїв біля іншого кінця теплообмінника, К.

Якщо відношення $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \leq 2$, то з достатньою точністю у якості середньої різниці температур можна приймати середню арифметичну різницю:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}. \quad (2.9)$$

У режимі протитечії середня різниця температур значно більша порівняно з паралельним потоком, що дозволяє зменшити площу теплообміну для передачі тієї ж кількості теплової енергії. При цьому кінцева температура нагрівача у випадку паралельного потоку завжди перевищує кінцеву температуру охолоджуваного середовища. У протиточному режимі, навпаки, кінцева температура теплоносія, що гріє, може бути нижчою за температуру охолоджуваного теплоносія, що забезпечує ефективніше теплове відновлення.

Протиточні теплообмінники є більш економічними завдяки підвищеній ефективності рекуперації, що обумовлює їх широке застосування. Однак використання такого режиму може бути обмежене через

високі температурні навантаження на матеріал теплообмінної поверхні з боку гарячого вхідного потоку або технологічними вимогами, наприклад, для уникнення перегріву оброблюваних продуктів.

Середню різницю температур для перехресного току та інших схем взаємного руху теплоносіїв обчислюють так само, як і для протитоку, але результат додатково множать на поправочний коефіцієнт ε_T , тобто:

$$\Delta t'_{cp} = \varepsilon_T \cdot \Delta t_{cp}, \quad (2.10)$$

де ε_T - поправочний коефіцієнт.

Наступне завдання полягає у визначенні коефіцієнта теплопередачі. Для плоскої стінки коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma \frac{s}{\lambda}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (2.11)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти тепловіддачі від гріючого теплоносія до стінки і від стінки до теплоносія, що нагрівається., $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

s - товщина стінки, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Коефіцієнт тепловіддачі характеризує інтенсивність теплового потоку, який передається між рідиною або газом і поверхнею стінки при різниці температур у 1°C на одиницю площі.

Коефіцієнт теплопередачі для матеріалу стінки визначає кількість теплової енергії, яка проходить через її товщину за одну секунду. Він розраховується для площі в один квадратний метр при різниці температур в один градус Цельсія і товщині стінки в один метр. Значення цього коефіцієнта залежить від фізичних властивостей матеріалу, таких як його хімічний склад, внутрішня структура та тип, наприклад, метал чи цегла. У той же час, вплив температурних коливань на нього зазвичай є мінімальним.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

У процесі експлуатації стінки здебільшого стають багатошаровими через відкладення накипу, осаду, мастила або іржі. Ці шари суттєво знижують теплопровідність поверхні порівняно з металом, іноді у сотні разів. Навіть тонкий шар таких забруднень може значно збільшити термічний опір, перевищуючи аналогічний показник для самої металеві стінки.

Термічний опір багатошарової стінки дорівнює сумі опорів всіх шарів:

$$\Sigma \frac{S}{\lambda} = \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} + \dots \quad (2.12)$$

Зниження коефіцієнта теплопередачі, спричинене зростанням термічного опору, враховується під час розрахунків. Для цього приймається максимальна товщина забруднюючого шару: для твердих речовин вона становить 0,5–1 мм, а для мастильних речовин – близько 0,1 мм. Завжди варто прагнути зменшити швидкість утворення забруднень шляхом вибору оптимального технологічного режиму або встановлення відповідних швидкостей теплоносіїв. Не рекомендується виводити охолоджувальну воду з теплообмінника з температурою вище 45–50°C, оскільки за таких умов починається утворення накипу. Швидкість руху охолоджувальної води, особливо якщо вона містить багато завислих часток (наприклад, взята безпосередньо з річки), має бути не меншою за 0,5 м/с, інакше поверхня швидко покриється шаром мулу.

У процесі проектування й експлуатації теплообмінників важливо вирішувати завдання, пов'язані зі створенням ефективних пристроїв із високими питомими тепловими навантаженнями $q=Q/F$, або із підвищенням цього показника. У таких випадках Q або F визначені заздалегідь, а середня різниця температур або фіксована, або змінюється мінімально. Таким чином, основним параметром, який можна регулювати, залишається коефіцієнт теплопередачі K .

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{S}{\lambda}} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (2.13)$$

Термічний опір тонких стінок з металів, що мають велику теплопровідність, є малим. Вважаючи $\frac{s}{\lambda} = 0$, отримаємо:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.14)$$

Ця спрощена формула для визначення K зручна для грубих розрахунків.

Із формули випливає, що K завжди менше найменшого коефіцієнтів тепловіддачі і в межі прагне до нього.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Якщо } \alpha_1 < \alpha_2, \text{ то } K < \alpha_1. \\ \text{Якщо } \alpha_1 \rightarrow \infty, \text{ то } K \rightarrow \alpha_1. \\ \text{Якщо } \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \text{ то } K = \frac{\alpha}{2} \end{array} \right\} \quad (2.15)$$

Отже, під час розробки конструкції або впровадження заходів для підвищення ефективності роботи теплообмінників, доцільно зосередитися на збільшенні коефіцієнта тепловіддачі саме з того боку, де його значення є найменшим. Покращення теплообміну шляхом одночасного підвищення обох коефіцієнтів тепловіддачі доцільне лише в разі, якщо $\alpha_1 \approx \alpha_2$.

Термічний опір стінки знижує K . Вплив термічного опору невеликий тільки в тих випадках, коли $\frac{s}{\lambda}$ є малим у порівнянні з $\frac{1}{\alpha_1}$ і $\frac{1}{\alpha_2}$. Може статися, що

α_1 і α_2 є великими, скажімо при кипінні та конденсації, а труби зроблені з матеріалу з порівняно невеликою теплопровідністю, наприклад, з хромонікелієвої сталі ($\lambda = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$), або з пластичної маси, або зроблені товстостінними. Тоді основним опором, що обмежує величину теплового навантаження, виявиться термічний опір стінки, і їм у жодному разі знехтувати вже не можна.

Після того як Q, K і Δt_{cp} знайдені, за основним рівнянням теплопередачі визначають поверхню теплообміну, яка для труби або трубного пучка дорівнюватиме:

$$F = \pi \cdot d_p \cdot n \cdot l = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, M^2, \quad (2.16)$$

де l - довжина трубок, м;

n - число трубок;

d_p – розрахунковий діаметр трубок, м.

Залежно від умов теплообміну, поверхню теплообмінника визначають за внутрішнім, зовнішнім або середнім діаметром трубок. Оскільки значення коефіцієнта теплопередачі K залежить від найменшого коефіцієнта тепловіддачі α , розрахунковий діаметр d_p обирають із боку труби, де коефіцієнт тепловіддачі є меншим. Якщо ж значення коефіцієнтів тепловіддачі з обох боків є приблизно однаковими, розрахунок ведуть за середнім діаметром:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Якщо } \alpha_B < \alpha_H, \text{ то } d_p = d_B; \\ \text{Якщо } \alpha_B > \alpha_H, \text{ то } d_p = d_H; \\ \text{Якщо } \alpha_\sigma \approx \alpha_H, \text{ то } d_p = \frac{d_B + d_n}{2}; \end{array} \right\} \quad (2.17)$$

При визначенні коефіцієнтів теплопередачі іноді необхідно встановити попереднє значення температури стінки. Після обчислення K цю температуру слід перевірити розрахунково. Якщо отримане значення суттєво відрізняється від початково заданого, необхідно повторно уточнити температуру стінки й провести перевірку, доки різниця між прийнятим і розрахованим значеннями не стане незначною.

Температура стінки завжди ближча до температури того теплоносія, для якого коефіцієнт тепловіддачі α є вищим. У деяких випадках, коли коефіцієнти тепловіддачі з обох боків практично рівні, температура стінки може відповідати середньому арифметичному значенню температур теплоносіїв. Однак такі ситуації трапляються рідко.

Температура стінки з боку теплоносія, що гріє:

$$t_r = T - \frac{K}{\alpha_r} \cdot \Delta t_{cp} = T - \frac{q}{\alpha_r}. \quad (2.18)$$

Температура стінки з боку холоднішого теплоносія, що нагрівається

$$t_x = t + \frac{K}{\alpha_x} \cdot \Delta t_{cp} = t + \frac{q}{\alpha_x}, \quad (2.19)$$

де T - середня температура теплоносія, що гріє, К;

t - середня температура теплоносія, що нагрівається, К;

α_r, α_x - коефіцієнти тепловіддачі з боку гарячого та холоднішого теплоносіїв, Вт/(м² · К)

З цих рівнянь випливає, що зниження відведення тепла призводить до підвищення температур стінки та зменшення різниці між температурами обох сторін стінок.

Середня температура стінки:

$$t_{cp} = \frac{t_x + t_r}{2}. \quad (2.20)$$

Визначення температури стінки апаратів необхідне для призначення допустимих напруг, з'ясування температурних подовжень, в оцінці температурних напруг, оцінці швидкості корозії та у багатьох інших випадках.

Зі сказаного ясна важливість по можливості точного визначення α_B і α_H для проектування ефективних теплообмінників.

Основні критерії подібності, які застосовуються у розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв. Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}; \quad (2.21)$$

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}; \quad (2.22)$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}; \quad (2.23)$$

Критерій Грасгофа характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції:

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}. \quad (2.24)$$

У рівняннях наступні позначення: α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² · К); λ - теплопровідність теплоносія, Вт/(м · К); μ - динамічна в'язкість теплоносія, Па · с; c - питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К); ρ - густина теплоносія, кг/м³; β - коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, 1/К; w - швидкість теплоносія, м/с; l - визначальний геометричний розмір, м; g - прискорення сили тяжіння, м/с²; $\Delta\theta$ - частковий температурний напір (різниця між температурою гарячого теплоносія і температурою стінки або між температурою стінки і температурою холодного теплоносія), К.

Під час вимушеної конвекції теплоносії рухаються уздовж поверхні теплообміну з певною швидкістю під дією зовнішньої сили, наприклад, сили тяжіння або сили тиску, що розвивається насосом, компресором або вентилятором.

Критерії Re, Pr і $Gr \in$ визначеними, а критерій Nu - невизначеним (тобто залежить від інших критеріїв подібності).

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах рекомендуються наступні критеріальні рівняння:

–для ламінарного режиму:

$$Nu_2 = 0,74 \cdot (Re_2 \cdot Pr_2)^{0,2} \cdot (Gr_2 \cdot Pr_2)^{0,1}; \quad (2.25)$$

–для перехідного режиму:

$$Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,9} \cdot Pr_2^{0,43}; \quad (2.26)$$

–для турбулентного режиму:

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4}. \quad (2.27)$$

У рівняннях визначальним лінійним розміром є внутрішній діаметр труб $d_{\text{вн}}$, а визначальною температурою є середня температура гарячого теплоносія t_r .

Рівняння тепловіддачі при кипінні рідин істотно розрізняються в залежності від виду термомеханічного режиму цього енергоємного гетерогенного процесу, що супроводжується фазовим перетворенням. У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі α можна виразити без прямого звернення до методів статистики через узагальнений критерій Нуссельта Nu^* і за допомогою модифікованого критерію Рейнольдса Re^* і критерію Прандтля Pr :

$$Nu^* = C \cdot Re^{*n_1} \cdot Pr^{n_2}, \quad (2.28)$$

де C, n_1, n_2 - постійні.

Також в умовах як вільного, так і вимушеного руху теплоносія можна використовувати перетворене рівняння, якому надають спрощений вигляд – більш зручний для визначення усередненого значення коефіцієнта тепловіддачі α через рушійну силу процесу $\Delta T_{\text{кип}}$:

$$\alpha = b^3 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (\Delta T_{\text{кип}})^2}{\nu \cdot \sigma \cdot |T_{\text{кип}}|}. \quad (2.29)$$

Чисельне значення безрозмірною функції b , визначаємо з рівняння:

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{р}} - \rho_{\text{п}}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.30)$$

де $\rho_{\text{р}}, \rho_{\text{п}}$ – відповідно густини рідини і пари, кг/ м³.

2.3 Опис конструкції проектного апарата

Кожухотрубні теплообмінники належать до найпоширеніших видів теплообмінного обладнання у світі й фактично є першопрохідцями в галузі приладобудування.

Принцип їхньої роботи полягає у взаємодії двох теплоносіїв: один протікає через систему трубок усередині апарата, яка називається трубним простором, а інший рухається навколо трубок у міжтрубному просторі. Під час цього процесу тепла енергія переноситься від гарячого теплоносія через стінки трубок до холоднішого. Протитечійний рух теплоносіїв забезпечує постійний температурний градієнт уздовж теплообмінника, що дозволяє ефективніше передавати тепло й мінімізувати втрати енергії. Така схема організації процесу є однією з найбільш оптимальних. Найкращі результати досягаються саме за протитечійного руху теплоносіїв.

Вимоги до випарників, які є специфічними різновидами теплообмінного обладнання, аналогічні до вимог для інших теплообмінників. Основними критеріями є висока інтенсивність теплопередачі та мінімальні витрати матеріалів, таких як метали. Залежно від конструкції розрізняють кілька типів випарників, серед яких найбільшого поширення набули кожухотрубні, кожухозмійовикові та вертикально-трубні.

Розрахунок випарника передбачає визначення його основних геометричних параметрів. Наприклад, горизонтальний циліндричний кожухотрубний випарник, який має зону для утворення пари, складається з трубного та міжтрубного просторів. Трубний простір формується системою труб і розподільною камерою, у якій рухається гарячий теплоносій. Завдяки своїй конструкції кожухотрубні випарники є найбільш популярними в промисловості через простоту й ефективність роботи.

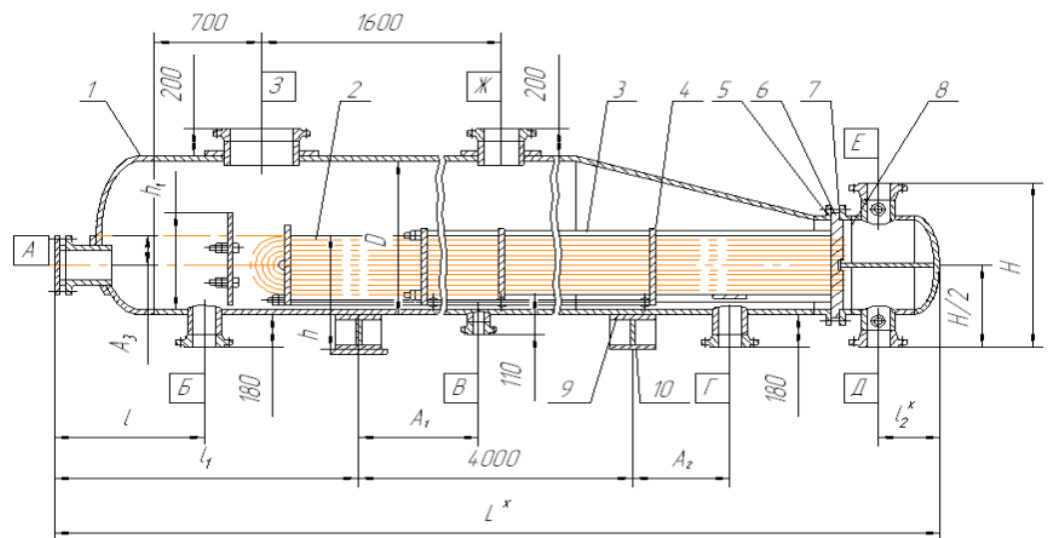


Рисунок 2.2 - Конструкція випарника з паровим простором типу У

1 – корпус; 2 -U-подібна теплообмінна труба; 3 – стяжка; 4 – поперечна перегородка; 5 - фланець конічного корпусу; 6 нерухомі трубні грати 7 - прокладка розподільної камери; 8 – розподільна камера; 9 – підкладний лист опори; 10 - опора нерухома; 11 - рухома опора.

Призначення штуцерів та патрубків: А – люк для монтажу пучка труб; Б - вихід рідкого залишку робочого продукту

(Dу4); В - дренаж (злив) робочого продукту; - вхід рідкого робочого продукту (Dу3); Д - вихід гарячого теплоносія (Dу2); Е - вхід гарячого теплоносія (Dу2); Ж - вихід парів робочого продукту (Dу1)З - люк-лаз.

Пар підводиться у верхню частину апарата(випаровувала)в трубний простір. Бензол подається в нижню частину апарата.

Кожухотрубні випарники мають низку переваг, серед яких простота та компактність конструкції, висока інтенсивність теплопередачі, а також можливість створення замкнутої системи циркуляції охолоджуючого середовища. Основний матеріал для кожуха таких апаратів — листовая сталь, з якої виготовляється обичайка шляхом зварювання. Трубки зазвичай виготовляють зі сталі, їхні кінці закріплюють у трубній решітці шляхом завальцювання.

У процесі роботи випарника тепло передається від гарячого теплоносія до холодного через роздільну поверхню теплообміну. Корпус

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

апарата має форму циліндричної обичайки з листового матеріалу, а його внутрішній діаметр підбирається відповідно до стандартних розмірів. Товщина стінки корпусу визначається розрахунком на міцність, щоб витримувати експлуатаційні навантаження.

Трубна решітка, яка є важливою частиною конструкції, виконує роль перегородки між трубним і міжтрубним просторами. Вона являє собою диск з отворами для трубок, розміщення та крок яких регламентуються нормативними документами. Закріплення труб у решітці має бути міцним, герметичним і передбачати можливість легкої заміни труб у разі необхідності.

Камери розподілу й кришки слугують для рівномірного розподілу робочого середовища по теплообмінних трубах. Для створення потрібної кількості ходів у розподільних камерах встановлюють перегородки.

У конструкції теплообмінника також передбачено фланці, прокладки та кріпильні елементи, які забезпечують герметичне з'єднання складових частин апарата, підвищуючи надійність і зручність його експлуатації.

Кожухотрубні теплообмінники з U-подібними трубами мають конструкцію, в якій обидва кінці труб закріплюються в одній трубній решітці. Відсутність жорсткого з'єднання труб із корпусом дозволяє їм вільно подовжуватися при зміні температури. Основна перевага таких апаратів — відсутність роз'ємних з'єднань усередині кожуха, що робить їх ефективними для роботи при високих тисках у трубному просторі. Однак недоліком є складність очищення як внутрішніх, так і зовнішніх поверхонь труб, через що такі теплообмінники переважно використовують для роботи з чистими середовищами.

При розробці теплообмінників важливі такі аспекти конструкції:

- **Ефективність.** Апарат має забезпечувати максимальну передачу тепла між теплоносіями при мінімальних енергетичних витратах. Ефективність визначається як співвідношення переданої корисної енергії до загальної витраченої на процес теплопередачі.

- **Технологічність.** Конструкція повинна передбачати виготовлення за допомогою доступних і економічних технологій. Це включає використання оброблюваних матеріалів і таких методів виробництва, які знижують вартість обладнання та його подальшої експлуатації.

- **Надійність.** Апарат має стабільно працювати протягом усього терміну служби, витримуючи механічні, термічні та хімічні навантаження. Надійність знижує ризики раптових поломок і потребу в частому ремонті.

- **Безпека.** Конструкція повинна забезпечувати захист персоналу від можливих травм і виключати ризики, пов'язані з вибухами, витокami або виділенням шкідливих речовин. Безпека є критичною на всіх етапах — від виробництва до експлуатації.

- **Обслуговування.** Теплообмінник має бути зручним для огляду, очищення й ремонту. Це скорочує час простою під час обслуговування та сприяє підтриманню стабільної продуктивності апарата.

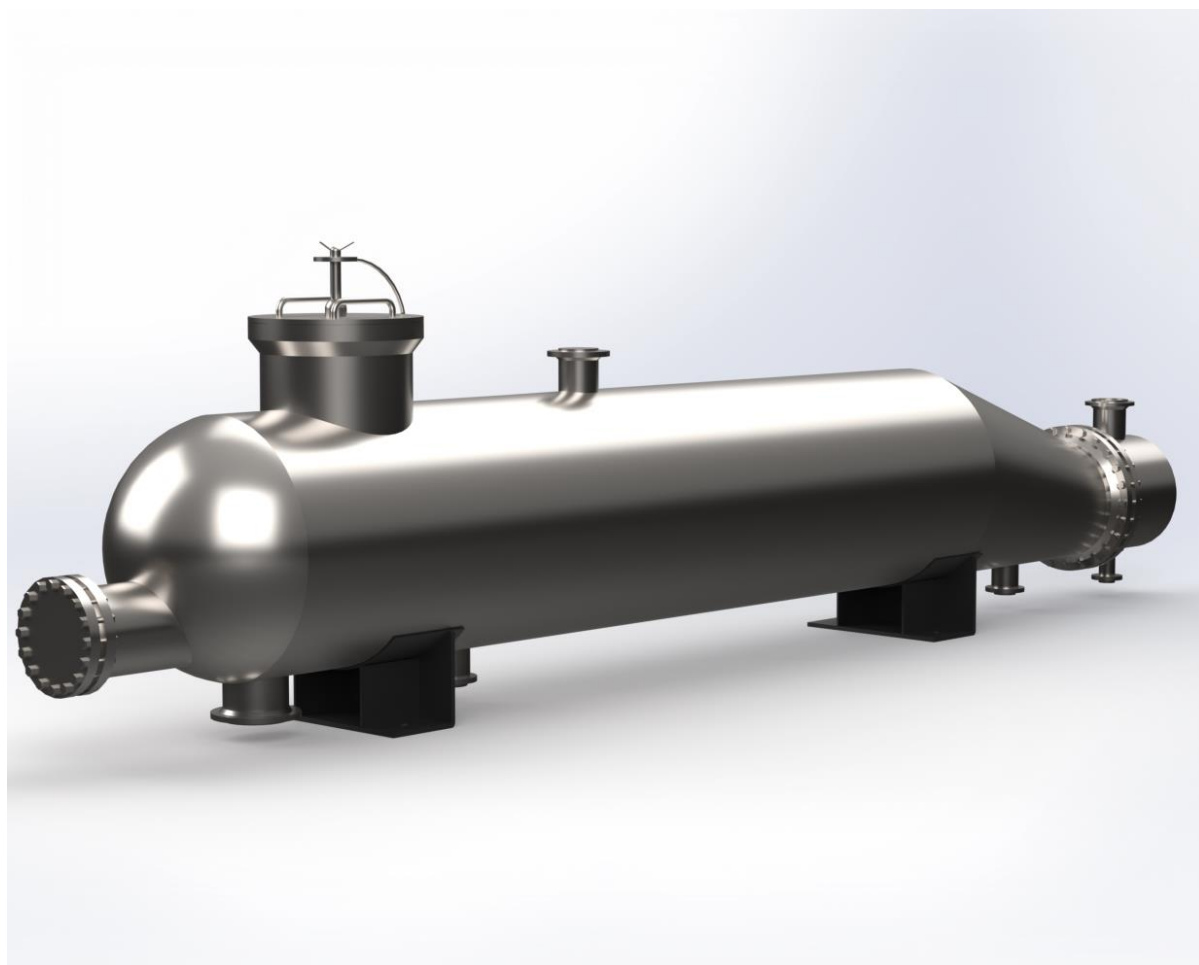


Рисунок 2.3 –Зображення проектованого теплообмінника

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Вхідні данні:

Температура кипіння бензолу, яка досягається при абсолютному тиску 0,13 МПа, є приблизно 89°С [5].

Розрахунок кількості тепла, що передається від одного теплоносія іншому в одиницю часу:

$$Q = Q_{\text{вип}} = G_x \cdot r_x, \quad (2.31)$$

де r_x – питома теплота пароутворення бензолу; $r_x = 398 \cdot 10^3$ Дж/кг[5].

$$Q = Q_{\text{вип}} = \frac{2800}{3600} \cdot 398 = 309,5 \text{ кВт}.$$

Витрата гарячого теплоносія (водяної пари):

$$G_r = \frac{Q}{r_2 + c_2 \cdot (t_{\text{пг}} - t_{\text{кг}})}, \quad (2.32)$$

де c_2 - теплоємність водяної пари; $c_2 = 2,17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)[5].

$r_2 = 2237$ кДж/кг – теплота конденсації водяного пару[6].

$t_{\text{пг}} = 110^\circ\text{С}$ - початкова температура водяної пари обрається за відповідно тиску за додатком 18 [5].

$t_{\text{кг}}$ - кінцева температура водяної пари.

Для наближених розрахунків орієнтовно приймають, що температура кипіння робочого тіла повинна бути на 5 – 6°С нижче середньої температури охолоджуваного теплоносія.

Таким чином, температура кипіння робочої речовини ректифікаційної установки фактично визначає тиск, при якому випаровується робоча речовина. Отже, за рекомендацією приймаємо $t_{\text{кг}} = 95^\circ\text{С}$.

$$G_r = \frac{309,5}{2237 + 2,17 \cdot (110 - 95)} = 0,14 \text{ (кг/с)}.$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

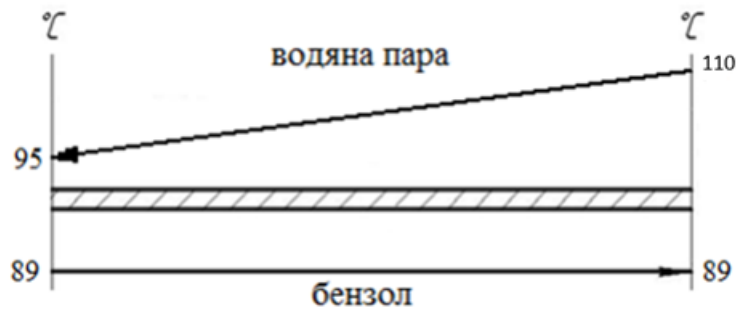


Рисунок 2.4 – Схема руху теплоносіїв

Середня різниця температур складе:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_b - \Delta t_M}{\ln \left(\frac{\Delta t_b}{\Delta t_M} \right)}; \quad (2.33)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{21 - 6}{\ln \left(\frac{21}{6} \right)} \approx 12^\circ\text{C},$$

де більша різниця температур дорівнює $\Delta t_b = 110 - 89 = 21^\circ\text{C}$;
менша різниця температур дорівнює $\Delta t_M = 95 - 89 = 6^\circ\text{C}$.

Розраховуємо поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}; \quad (2.34)$$

$$F = \frac{309,5 \cdot 10^3}{450 \cdot 12} \approx 57,4 \text{ м}^2.$$

Вибираємо стандартизований теплообмінник з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 62 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 1000 \text{ мм}$; довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$; сортамент труб $\text{Ø } 25 \times 2 \text{ мм}$; кількість трубних пучків 1; кількість труб у трубному пучку 132; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 0,023 \text{ м}^2$.

Фактична швидкість руху водяної пари у трубах:

$$w_\Gamma = \frac{G_\Gamma}{s_{mp}}, \quad (2.35)$$

де ρ_r – густина водяної пари; при усередненій температурі $\rho_r = 0,82 \text{ кг/м}^3$ [6].

$$w_r = \frac{0,14}{0,023} = 6 \text{ (м/с)}. \quad (2.36)$$

Враховуючи, що для водяної пари динамічний коефіцієнт в'язкості дорівнює $\mu_r = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{С}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_r = 2,48 \cdot 10^{-2} \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$ і коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія $\beta_2 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$ визначаємо критерії:

– за рівнянням (1.22) - критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{6 \cdot 0,021 \cdot 0,82}{12,4 \cdot 10^{-6}} = 8332.$$

– за рівнянням (1.23) - критерій Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2,17 \cdot 10^3}{2,48 \cdot 10^{-2}} = 1,085$$

За чисельним значенням критерію Рейнольдса можемо встановити, що режим руху водяної пари в трубах – турбулентний. Значить, для визначення критерію Нуссельта використовуємо рівняння (1.27):

$$\text{Nu}_r = 0,023 \cdot 8332^{0,8} \cdot 1,085^{0,4} = 32,5.$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_r :

$$\alpha_r = \frac{\text{Nu}_r \cdot \lambda_r}{d_{\text{внт}}}, \quad (2.37)$$

$$\alpha_r = \frac{32,5 \cdot 0,248}{0,021} = 383 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони бензолу α_x визначаємо з рівняння (1.29), попередньо розрахувавши за рівнянням (1.30) значення безрозмірної функції b :

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{6,8}{804 - 6,8} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,06.$$

Для бензолу: $\nu_x = 0,138 \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_x = 0,121 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $\sigma_x = 0,019 \text{ Н/м}$.

$$\alpha_x = 1,06^3 \cdot \frac{0,121^2 \cdot 99,5^2}{0,138 \cdot 0,019 \cdot 89} = 739,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі визначаємо реальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{383} + \frac{0,002}{17,3} + \frac{1}{739,8}} = 245 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{309,5 \cdot 10^3}{245 \cdot 12} = 105,3 \text{ м}^2.$$

Приймаємо за ГОСТ 14248-79 остаточно випарник типу У з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 120 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 1200 \text{ мм}$; довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$; сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$; кількість трубних пучків 1 ; кількість труб у трубному пучку 310 ; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 0,031 \text{ м}^2$.

Запас поверхні:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100; \tag{2.38}$$

$$\Delta = \frac{120 - 105,3}{120} \cdot 100 = 12,2\%.$$

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho}} \tag{2.39}$$

де G - масова витрата рідини/пари, кг/с;

ρ - густина потоку середовища, кг /м³;

ω - швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [6]: для рідини 0,1 – 0,5 м/с при самопливі і 0,5 – 2,5 м/с в напірних трубопроводах; для пари або газу 5 – 25 м/с.

Діаметр патрубків для входу бензолу в апарата:

$$d_{x,вх} = \sqrt{\frac{2800/3600}{0,785 \cdot 804 \cdot 1,5}} = 0,028 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 40 мм.[6]

Діаметр патрубка для виходу парів бензолу:

$$d_{x,вих} = \sqrt{\frac{2800/3600}{0,785 \cdot 6,8 \cdot 15}} = 0,076$$

Приймаємо діаметр штуцера 80 мм.[6]

Діаметр патрубка для входу водяної пари:

$$d_{г.вх} = \sqrt{\frac{0,14}{0,785 \cdot 25 \cdot 0,82}} = 0,094$$

Приймаємо діаметр штуцера 100 мм.[6]

Діаметр патрубка для виходу водяної пари конденсату:

$$d_{г.вих} = \sqrt{\frac{0,14}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 943}} = 0,012$$

Приймаємо діаметр штуцера 40 мм.[6]

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 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.

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_n}{2} \quad (2.40)$$

Для турбулентного режиму течії:

$$\lambda_{тр} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{8332} \right)^{0,25} = 0,162$$

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

Втрата тиску на тертя

$$\Delta P_{тр} = 0,162 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{6^2 \cdot 0,82}{2} = 683 \text{ Па} \quad (2.41)$$

Коефіцієнти лінійних опорів:

де ξ - коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$ (вхідна і вихідна камери $\xi_1 = 1,5$, вхід у труби $\xi_2 = 0,5$ і вихід із них $\xi_3 = 1$, поворот на 180° між ходами $\xi_4 = 1,5$).

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta P_M = \sum \xi \cdot \frac{\omega_n^2 \cdot \rho_n}{2} \quad (2.42)$$

$$\Delta P_M = (2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,5) \cdot \frac{6^2 \cdot 0,82}{2} = 88,56 \text{ Па.} \quad (2.43)$$

Загальна втрата тиску в трубному просторі

$$\Delta P_M = \Delta P_{тр} + \Delta P_M = 683 + 88,56 = 771,56 \text{ Па.}$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок теплообмінника-підігрівача

Підігрівач знаходиться на схемі під почначенням «П» на рисунку 2.1.

Опираючись на технологічну схему, розуміємо, що частина бензолу потрапляє у колону і відводиться парами дистилляту у дефлегматор, а частина кубовим залишком у випарник, для подальшого випаровування. Отже, керуючись вхідними даними приймаємо витрату теплоносіїв вхідного продукту $2800 \cdot 3 = 8400$ кг/год.

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

Приймаємо, що бензол підігрівається від температури 20°C до 89°C.

Рівня теплового навантаження підігрівача буде мати вигляд:

$$Q_x = G_x \cdot c_x \cdot (t_6 - t_m)$$

де c_x – питома теплоємність бензолу, $c_x = 1,9$ кДж/(кг·К) (Додаток 1, табл.1, рис4.[13])

$$Q_x = \frac{8400}{3600} \cdot 1,9 \cdot 69 = 305,9 \text{ кВт} \quad (2.44)$$

Розрахункова поверхня теплопередачі підігрівача:

$$F_p = \frac{Q_x}{K \cdot \Delta t} \quad (2.45)$$

де K – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі, Вт/(м²·К) (Додаток 1, табл.4.[13])

Δt – різниця між температурами

$$\Delta t = \frac{t_6 + t_m}{2} = \frac{89 + 20}{2} = 54,5 \quad (2.46)$$

Звідси

$$F_p = \frac{305,9 \cdot 10^3}{150 \cdot 54,5} = 37,4 \text{ м}^2$$

За довідковою літературою обираємо кожухотрубний теплообмінник з наступними характеристиками: поверхня теплообміну $F = 38 \text{ м}^2$, внутрішній діаметр кожуха $D = 600$ мм, довжина труб $L = 2000$ мм, сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2$ мм, число ходів по трубах 2.

Вибір насосу

Необхідний напір насосу:

$$H = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho \cdot g} + H_r + h_{\text{п}}; \quad (2.47)$$

$$H = \frac{0,13 - 0,1}{804 \cdot 9,81} + 10 + 0,86 = 10,86 \text{ м.}$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Корисна потужність насосу:

$$N_{\pi} = 804 \cdot 9,81 \cdot 0,00347 \cdot 10,86 = 297 \text{ Вт} = 0,297 \text{ кВт}. \quad (2.48)$$

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

$$N = \frac{0,297}{0,6} \cdot 1 = 0,495 \text{ кВт}. \quad (2.49)$$

За [4] додаток 1.1 табл.1 вибираємо відцентровий насос марки Х45/31, у якого оптимальні умови роботи $Q=13 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$, $\eta_{\text{н}}=0,6$. Електродвигун АО2-52-2 номінальною потужністю $N_{\pi} = 4 \text{ кВт}$, $\eta_{\text{дв}}=0,89$. 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 $\psi = 0,85$, $\tau = 6 \text{ год}$.

Розрахунковий об'єм потрібної ємності:

$$V_{\epsilon} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho} = \frac{2800 \cdot 6}{0,85 \cdot 804} = 24,6 \text{ м}^3. \quad (2.50)$$

Беремо розмір діаметру ємності ДСТУ Б В.2.6-183:2011 стандартні 3 м., тоді висота (враховуємо, що для забезпечення потрібного об'єму будемо використовувати 5 ємностей):

$$H = \frac{V_{\epsilon}}{0,785 \cdot D^2} = \frac{24,6}{0,785 \cdot 3^2} = 3,48 \text{ м}. \quad (2.51)$$

Приймаємо висоту ємності 3,5 м.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

3 Проектно-конструкторська частина

3.1 Вибір конструкційних матеріалів

Вибір матеріалу для конструкції проєктованого елемента, вузла або апарату повинен враховувати умови експлуатації (такі як температура, тиск, навантаження, характер середовища тощо) і забезпечувати ефективну технологію виготовлення, залишаючи матеріал в межах доступності і прийнятної вартості.

Отже обираємо - сталь 16ГС. Фізико-механічні властивості Сталі 16ГС приведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 - Основні фізико-механічні властивості Сталі 16ГС

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	77000
Цільність ρ , кг / м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 360
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 180
Відносне звуження ψ , %	56
Відносне подовження δ , %	25
Твердість по Брінеллю, НВ	115
Зварюваність	без обмежень

Для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, крипіжних деталей (болти, гайки, шпильки), панелей, кронштейнів, ребер жорсткості і т. ін. використовуємо сталь 20. Фізико-механічні властивості Сталі 20 приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні фізико-механічні властивості Сталі 20

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	74000
Щільність ρ , кг / м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 420
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 250
Відносне звуження ψ , %	40
Відносне подовження δ , %	16
Твердість по Брінеллю, НВ	156
Зарюваність	без обмежень, окрім хіміко-термічно оброблених деталей

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апарата використовуємо пароніт – листовий прокладковий матеріал, що виготовляється пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність

3.2.1 Розрахунок товщини стінки апарата

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у.
Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,13 МПа

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 16ГС при розрахунковій температурі 89°C: $\sigma^* 202 = \text{МПа}$.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 202 = 202 \text{ МПа.}$$

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

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_m}{1,1} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа,} \quad (3.1)$$

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

$$p_n = 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{200}{140} = 0,35 \text{ МПа} \quad (3.3)$$

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

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 3.1

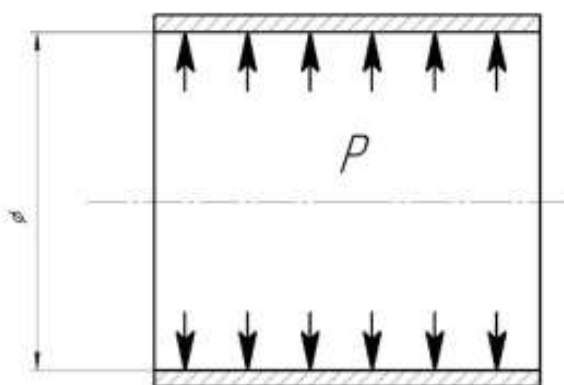


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_G, \quad (3.4)$$

де $P = 0,13 \text{ МПа}$ - робочий тиск;

P_G – гідростатичний тиск середовища.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Гідростатичний тиск середовища:

$$P_{\Gamma} = g \cdot \rho_P \cdot H_P \quad (3.5)$$

$$P_{\Gamma} = 9,81 \cdot 850 \cdot 0,6 = 0,005 \text{ МПа}$$

$$P_P = 0,13 + 0,005 = 0,135 \text{ МПа}$$

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

$$P_h = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_P \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, 0,2 \right\} \quad (3.6)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі 16ГС при 20°C.

$$P_h = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,135 \cdot 196}{202} = 0,196 \text{ МПа}, 0,2 \text{ МПа} \right\} = 0,2 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^0 = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_P}, \frac{P_h \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_h - P_h} \right\} \quad (3.7)$$

де $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_P^0 = \max \left\{ \frac{0,135 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 202 - 0,135} = 0,45 \text{ мм}, \frac{0,2 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,4 - 0,2} = 0,52 \text{ мм} \right\} = 0,52 \text{ мм}$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_o \geq S_P^0 + c \quad (3.8)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.9)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 - прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 - технологічна прибавка.

Приймаємо, що $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau \quad (3.10)$$

де $\Pi = 0,12$ мм / рік - проникність матеріалу; $\tau = 15$ років - термін роботи апарата.

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

$$S_0 = 0,52 + 1,8 = 2,32 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_0 = 4$ мм.

3.2.2 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища та кришки

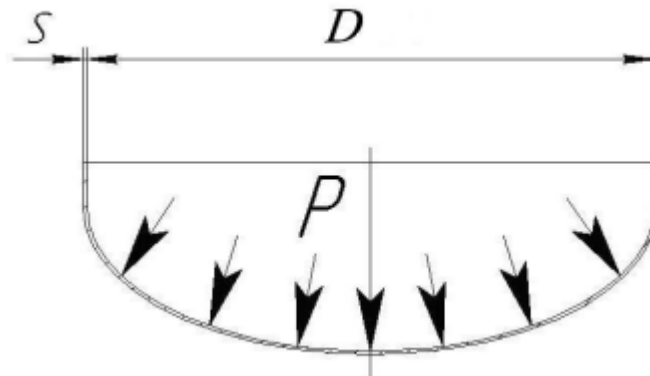


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема днища еліптичного

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_P^d = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P} \\ \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_B - 0,5 \cdot P_B} \end{array} \right\} \quad (3.11)$$

$$S_P^d = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,135 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,135} = 0,45 \text{ мм} \\ \frac{0,2 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,52 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,52 \text{ мм} \quad (3.12)$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_d \geq S_P^d + c \quad (3.13)$$

$$S_d = 0,52 + 1,8 = 2,32 \text{ мм} \quad (3.14)$$

Приймаємо $S_d = 4$ мм .

Розрахункова товщина еліптичної кришки:

За ГОСТ 14248-79, обирається стандартний діаметр розподільчої камери – 700мм. Відповідно внутрішній діаметр кришки, $D_{кр}=700$ мм.

$$S_P^K = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P}, \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_B - 0,5 \cdot P_B} \right\} \quad (3.15)$$

$$S_P^K = \max \left\{ \frac{0,135 \cdot 700}{2 \cdot 0,9 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,135} = 0,26\text{мм}, \frac{0,2 \cdot 700}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,3\text{мм} \right\} = 0,3\text{мм} \quad (3.16)$$

Виконавча товщина еліптичної кришки:

$$S_K \geq S_P^K + c \quad (3.17)$$

$$S_K = 0,3 + 1,8 = 2,1\text{мм} \quad (3.18)$$

Приймаємо $S_K = 4$ мм .

3.2.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Товщину втулки фланця приймаємо $s_0 = 4$ мм.

Діаметр болтового кола визначуваний по формулі або відповідно дотабл. [4, табл.13,7, с. 234]:

$$D_{\phi} \geq D + 2 \cdot (2 \cdot s + d_{\phi} + u); \quad (3.19)$$

де: d_{ϕ} – зовнішній діаметр болта, при $D = 700$ мм і $p_p = 0,2$ МПа $d_{\phi} = 23$ мм;

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

$$D_{\phi} = 700 + 2 \cdot (2 \cdot 4 + 23 + 6) = 774 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_{\phi} = 780$ мм.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

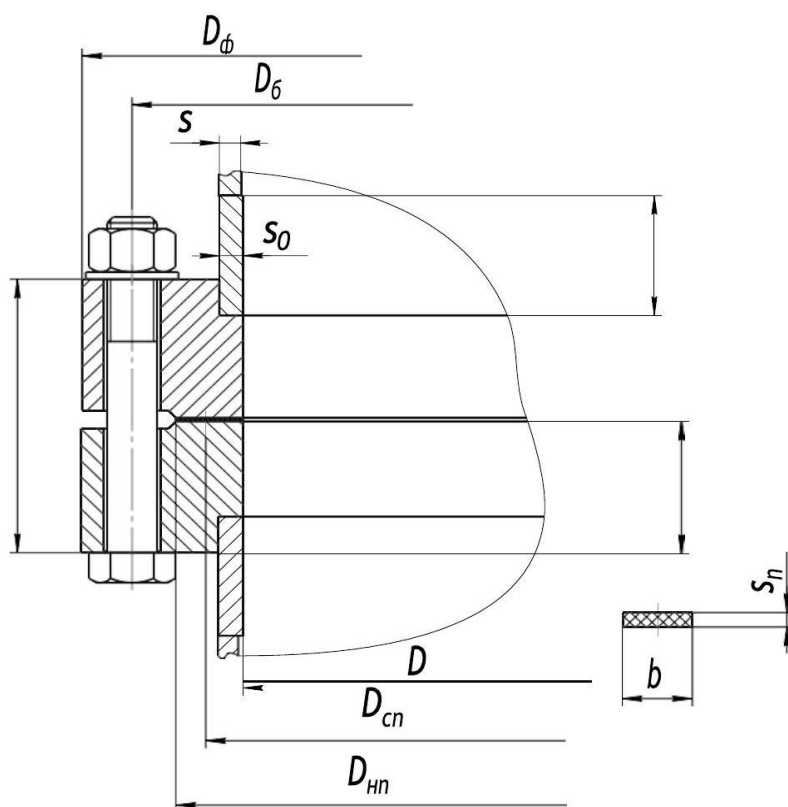


Рисунок 3.3 - Фланцеве з'єднання.

Зовнішній діаметр фланця визначується по формулі і відповідно до табл. 13.7 [3, табл 13.7, с.233]:

$$D_\phi \geq D_\delta + a; \quad (3.20)$$

де: a – конструктивна добавка для розміщення гайок по діаметру фланця, приймаємо $a = 40$ мм [3, табл. 13.27, с.264].

$$D_\phi = 780 + 40 = 820 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_\phi = 820$ мм.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{нп} = D_\delta - e; \quad (3.21)$$

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

$$D_{нп} = 780 - 30 = 750 \text{ мм};$$

Середній діаметр прокладки визначається по формулі:

$$D_{cn} = D_{nn} - b; \quad (3.22)$$

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

$$D_{cn} = 750 - 20 = 730 \text{ мм};$$

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

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

$$n_{\sigma} \geq \frac{\pi \cdot D_{\sigma}}{t_{ш}} \quad (3.23)$$

де: $t_{ш}$ – крок розташування болтів, що рекомендується, рекомендується для болтів М20 і $P_p = 0,2$ МПа,

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

$$n_{\sigma} = \frac{3,14 \cdot 780}{87 \div 94} = 28 \div 26 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість болтів $n_{\sigma} = 28$.

Висоту фланця h_{ϕ} визначаємо по формулі:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot S_{\phi}}; \quad (3.24)$$

де: λ_{ϕ} – коефіцієнт, визначуваний по графіку [3, мал. 13,14]

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

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

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

$$h_{\phi} = 0,4 \cdot \sqrt{700 \cdot 4} = 21,1 \text{ мм};$$

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

Розрахункова довжина болта визначається по формулі:

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

де: $l_{\sigma 0}$ – відстань між опорними поверхнями головки болта і гайки

притовщині прокладки $S_{\Pi} = 2$ мм;

$$l_{\sigma 0} = 2 \cdot h_{\phi} + s_{II};$$

$$l_{\sigma 0} = 2 \cdot 25 + 2 = 52 \text{ мм};$$

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

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

Рівнодіючу внутрішнього тиску визначуваний по формулі:

$$F_{\partial} = \frac{\pi \cdot D_{cn}^2}{4} \cdot p_p \quad (3.25)$$

$$F_{\partial} = \frac{3,14 \cdot 0,73^2}{4} \cdot 0,2 = 0,08 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки визначається по формулі:

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot k_{np} \cdot p_p; \quad (3.26)$$

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

b_{Π} – еквівалентна ширина прокладки, при $b_n = 20$ мм:

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

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

$$R_n = 3,14 \cdot 0,73 \cdot 0,085 \cdot 2,5 \cdot 0,2 = 0,097 \text{ МН};$$

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

$$F_t = \frac{y_{\sigma} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot E_{\sigma} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\sigma} \cdot t_{\sigma})}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\sigma} - D_{cn})^2} \quad (3.27)$$

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

$$\alpha_{\phi} = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1};$$

α_{σ} – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болта (приймаємо

для болта сталь 20), $\alpha_{\sigma} = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$,

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

y_6 – лінійна податливість болтів, що визначається по формулі:

$$y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot n_6} \quad (3.28)$$

де: E_6 – модуль подовжньої пружності матеріалу болта $E_6 = 2,0 \cdot 10^5$ МПа.

f_6 – розрахункова площа поперечного перетину болта по внутрішньому діаметру, згідно таблиці [3, табл. 13.27, с.264]

$$f_6 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$y_6 = \frac{0,05}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 28} = 3,79 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

$y_{\text{п}}$ – лінійна податливість неметалічної прокладки, що визначається по формулі:

$$y_{\text{п}} = \frac{K_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b} \quad (3.29)$$

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

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

$h_{\text{п}}$ – висота прокладки, $h_{\text{п}} = S_{\text{п}} = 2$ мм.

$$y_{\text{п}} = \frac{1,0 \cdot 0,002}{2000 \cdot 3,14 \cdot 0,73 \cdot 0,02} = 2,18 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$y_{\text{ф}}$ – кутова податливість фланця, що визначається по формулі:

$$y_{\text{ф}} = \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda'_{\text{ф}})] \cdot \psi_2}{h_{\text{ф}}^3 \cdot E_{\text{ф}}} \quad (3.30)$$

де: ν , $\lambda'_{\text{ф}}$ – безрозмірні параметри, що визначаються по формулах:

$$\lambda'_{\text{ф}} = \frac{h_{\text{ф}}}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.31)$$

$$\lambda'_{\text{ф}} = \frac{0,025}{\sqrt{0,7 \cdot 0,004}} = 0,47$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$v = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \psi_1 + \frac{h_{\phi}^2}{s^2})} \quad (3.32)$$

де: ψ_1 – коефіцієнт, визначуваний по формулі

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{D_{\phi}}{D}; \quad (3.33)$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{820}{700} = 0,087$$

$$v = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,47 \cdot (1 + 0,087 + \frac{0,025^2}{0,004^2})} = 0,055$$

ψ_2 – коефіцієнт, визначуваний по формулі:

$$\psi_2 = \frac{D_{\phi} + D}{D_{\phi} - D}; \quad (3.34)$$

$$\psi_2 = \frac{820 + 700}{820 - 700} = 12,6$$

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

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,055 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,47)] \cdot 12,6}{0,025^3 \cdot 2,0 \cdot 10^5} = 3,7 \frac{\text{м}}{\text{МН}};$$

F_t

$$= \frac{3,79 \cdot 10^{-5} \cdot 28 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot (12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 84,5 - 12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 83,6)}{2,18 \cdot 10^{-5} + 3,79 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 3,7 \cdot (0,78 - 0,75)^2}$$

= 0,00032 МН.

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання визначуваний по формулі:

$$K_{\text{ж}} = \frac{y_{\phi} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D - S_3) \cdot (D_{\phi} - D_{cn})}{y_n + y_{\phi} + y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{cn})^2}; \quad (3.35)$$

$$K_{\text{ж}} = \frac{3,79 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 3,7 \cdot (0,78 - 0,7 - 0,004) \cdot (0,78 - 0,75)}{2,18 \cdot 10^{-5} + 3,79 \cdot 10^{-5} + 3,7 \cdot (0,78 - 0,75)^2} = 1,25.$$

Маса труб:

$$m_{mp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{sH}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho \quad (3.41)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6,085 \cdot 310 \cdot 7890 = 2150(\text{кг})$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{\text{мmp}} = f_{\text{мmp}} \cdot H \quad (3.43)$$

$$V_{\text{мmp}} = 0,4 \cdot 6,085 = 1,2(\text{м}^3) \quad (3.44)$$

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

$$m_x = V_{\text{мmp}} \cdot \rho_x \cdot \varphi \quad (3.45)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 804 \cdot 0,5 = 480(\text{кг}) \quad (3.46)$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Эдн}} + m_{\text{Экр}} + m_{mp} + m_\phi + m_x) \quad (3.47)$$

$$G = 9,81 \cdot (726 + 56 + 19,1 + 2150 + 480) = 35306(\text{Н}) \quad (3.48)$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n} \quad (3.49)$$

$$Q = \frac{35306}{2} = 17653(\text{Н}) \quad (3.50)$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору з параметрами $D = 1200$ мм; $R = 514$ мм; $S1 = 8$ мм; $S2 = 14$ мм; $L = 1100$; $A = 800$ мм; $A1 = 700$ мм; $A2 = 550$ мм; $l = 1080$ мм; $B = 250$ мм; $L1 = 1120$ мм; втулка для опори М48; $S = 6$ мм; $B2 = 500$ мм.

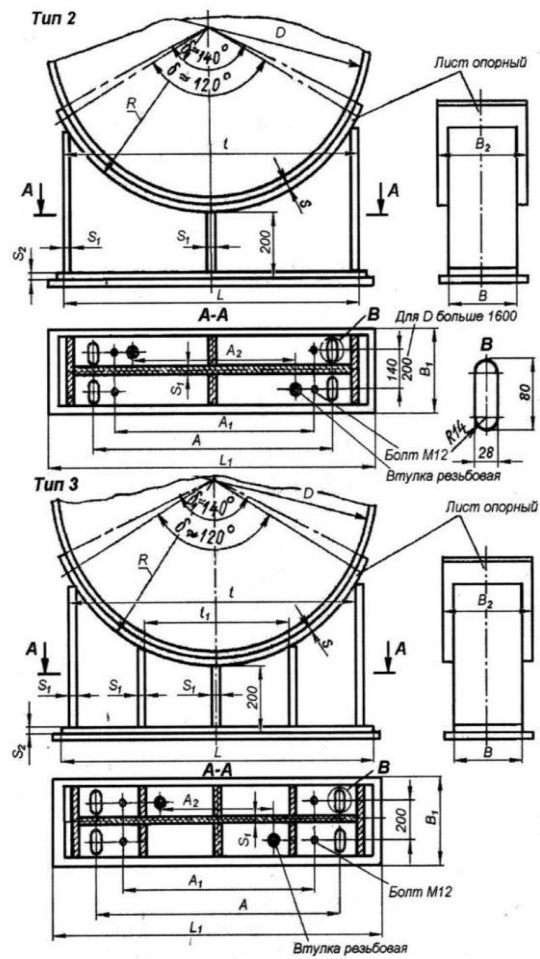


Рисунок 3.4 - Конструктивна схема стандартних сідлових опор

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

54

4 Будівельно-Монтажна частина

4.1 Обґрунтування компанування основного та допоміжного обладнання



Рисунок 4.1 – Зображення загального вигляду компанування обладнання установки

Враховуючи помірні кліматичні умови регіону, відкритий спосіб розташування обладнання є доцільним, оскільки не потребує додаткових захисних споруд, що знижує вартість будівництва та експлуатації. Крім того, відкритий простір сприяє природній вентиляції та охолодженню обладнання, що може покращити його роботу та продовжити термін служби.

При проектуванні особлива увага приділялася безпеці та надійності конструкцій. Були враховані можливі впливи зовнішніх факторів, таких як вітрові навантаження, снігові опади та температурні коливання. Для захисту металевих елементів від корозії використовуються спеціальні антикорозійні покриття та матеріали з підвищеною стійкістю до агресивних середовищ.

Для забезпечення ефективного технічного обслуговування та ремонту передбачено зручний доступ до всіх вузлів та агрегатів установки. Використання модульних компонентів дозволяє швидко замінювати або модернізувати окремі частини без зупинки всього технологічного процесу, що підвищує гнучкість виробництва.

					<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>		55

Особлива увага приділена системам автоматичного контролю та моніторингу параметрів роботи обладнання. Враховуючи вплив погодних умов, обрані сенсори та електронні компоненти з високим ступенем захисту від вологи, пилу та екстремальних температур. Це забезпечує стабільну та надійну роботу систем управління навіть в складних умовах експлуатації.

При проєктуванні фундаментів враховано геологічні особливості місцевості. Проведено дослідження ґрунтів для визначення їх несучої здатності, ступеня вологості та можливості просідання. У випадках недостатньої міцності ґрунту застосовуються спеціальні методи його укріплення, такі як встановлення паль або використання геотекстильних матеріалів. Система дренажу навколо фундаментів запобігає накопиченню води та підмиванню конструкцій.

У регіонах з високим рівнем ґрунтових вод або агресивними хімічними сполуками в ґрунті фундамент додатково захищається гідроізоляційними матеріалами та антикорозійними покриттями. Це забезпечує довговічність та надійність будівельних конструкцій протягом всього терміну експлуатації.



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд компанування технологічного обладнання з трубопроводами

У процесі проектування розміщення обладнання та трубопроводів було враховано низку важливих факторів:

1. Максимальна ефективність використання простору:

Обладнання розташовано таким чином, щоб забезпечити компактність установки без порушення норм безпеки та зручності експлуатації. Розташування агрегатів дозволяє мінімізувати довжину трубопроводів та кабельних ліній, що зменшує витрати на матеріали та монтаж.

2. Відповідність технологічному процесу:

Розміщення обладнання відповідає послідовності технологічних операцій, що сприяє оптимізації процесів та зменшенню енергетичних втрат. Передбачено можливість швидкого переналагодження обладнання для виробництва іншої продукції або впровадження нових технологій.

3. Безпека та екологічність:

Особлива увага приділена безпеці персоналу та мінімізації впливу на навколишнє середовище. Встановлено сучасні системи вентиляції, фільтрації та пожежогасіння. Передбачено резервні системи аварійного відключення обладнання у випадку надзвичайних ситуацій.

4. Зручність технічного обслуговування:

Обладнання розміщено з урахуванням забезпечення легкого доступу для проведення регулярних оглядів, обслуговування та ремонтних робіт. Всі основні вузли знаходяться у відкритому доступі, що зменшує час простою та витрати на обслуговування.

5. Гнучкість та масштабованість:

Проектування здійснено з можливістю подальшого розширення виробництва або модернізації обладнання без значних перебудов. Це забезпечує конкурентоспроможність підприємства в умовах змін ринкових вимог.

При проектуванні трубопровідної системи враховувалися особливості робочих середовищ та вимоги до безпеки. Оскільки транспортуються вуглеводневі газы, які є вогнєнебезпечними та токсичними, трубопроводи класифіковані як І категорія. Для їх виготовлення

використовуються високоякісні безшовні сталеві труби, що забезпечують міцність та герметичність системи.

З'єднання трубопроводів виконується переважно зварюванням, що мінімізує ризик витоків. У місцях, де необхідний доступ для обслуговування або очищення, встановлюються фланцеві з'єднання з використанням надійних ущільнювальних матеріалів, стійких до агресивних середовищ.

Трасування трубопроводів спроектовано з урахуванням мінімізації гідравлічних втрат та забезпечення оптимальних умов для транспортування речовин. Використовуються компенсатори для поглинання температурних деформацій трубопроводів, що виникають під час експлуатації. Це підвищує надійність системи та подовжує термін її служби.

Для захисту трубопроводів від корозії застосовуються спеціальні покриття, а в разі підземного прокладання – додаткова гідроізоляція. При зовнішньому розташуванні трубопроводів враховані кліматичні умови: передбачено теплоізоляцію для запобігання замерзанню та підтримання стабільної температури транспортування речовин.

Економічна ефективність проекту досягається завдяки використанню стандартизованих компонентів, оптимізації маршрутів трубопроводів та впровадженню сучасних технологій монтажу. Це дозволяє знизити витрати на будівництво та експлуатацію, забезпечуючи при цьому високий рівень безпеки та надійності установки.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт

Монтаж обладнання

Даний горизонтальний теплообмінник з паровим простором розроблений для ефективного обміну теплом між двома рідинами. Теплообмінник має подовжену циліндричну форму і оснащений спеціальними опорами для забезпечення стійкості та надійності в експлуатації. Фланці на обох кінцях апарата полегшують підключення до трубопровідних систем, а внутрішній паровий простір дозволяє газоподібній

									<i>Лист</i>
									58
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					

фазі виходити з рідини, запобігаючи утворенню парових пробок і підвищуючи ефективність теплообміну.

Сучасні горизонтальні теплообмінники з паровим простором мають таку масу й розміри, що дозволяють їх транспортувати до місця монтажу повністю зібраними на заводі-виробнику. Для перевезення використовують залізничні платформи, трейлери, автомобілі та інші засоби.

Для монтажу даного теплообмінника необхідно виконати такі кроки:

1. Підготовка робочого простору

Переконатися, що робочий майданчик відповідає вимогам безпеки та має достатньо місця для розміщення теплообмінника. Майданчик повинен забезпечувати зручний доступ для монтажних робіт і подальшого обслуговування обладнання.

2. Підготовка фундаменту

Фундамент або опорна конструкція повинні мати достатню міцність і стійкість, щоб витримати вагу теплообмінника та динамічні навантаження під час його роботи. Рекомендується використовувати спеціальні металеві рами або балки, які забезпечують надійну опору.

3. Встановлення теплообмінника

За допомогою підйомних пристроїв або кранів теплообмінник встановлюється на підготовлений фундамент або опори. Під час монтажу необхідно контролювати горизонтальність і правильне розташування апарата, щоб забезпечити його ефективну роботу.

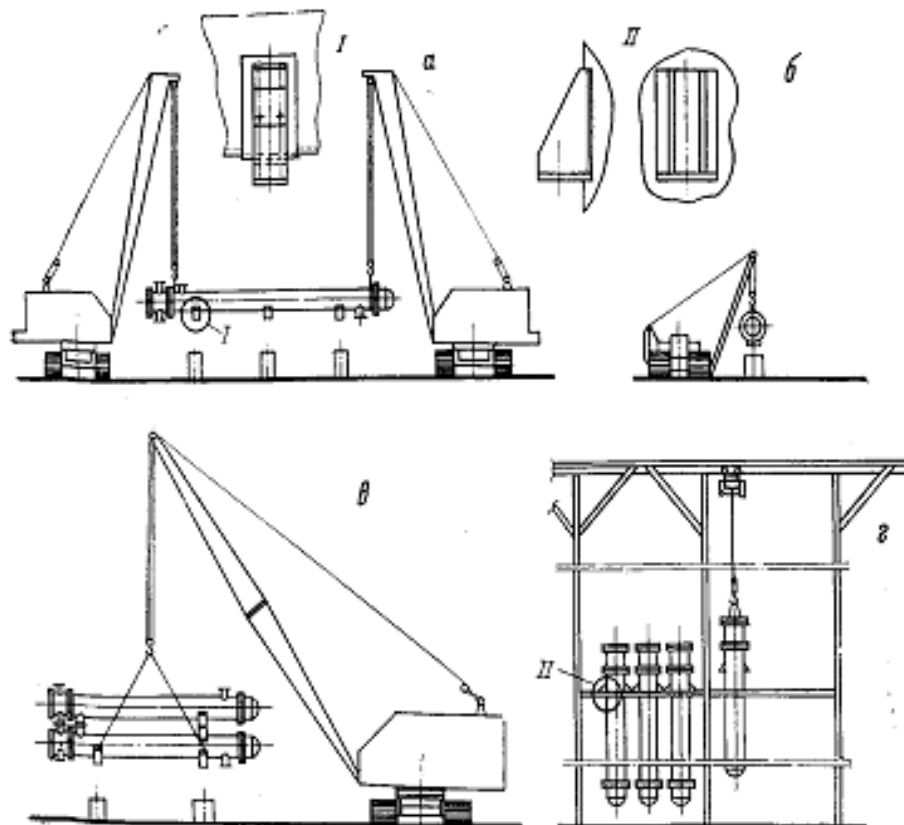


Рисунок 4.3 – Способи монтажу теплообмінних апаратів

а – встановлення за допомогою двох кранів; б – встановлення за допомогою трубоукладача; в – монтаж блоком теплообмінників краном;

5. Підключення трубопроводів

Підвідні та відвідні трубопроводи з'єднуються з відповідними фланцями на теплообміннику. Для забезпечення герметичності використовуються високоякісні ущільнювальні матеріали та відповідні з'єднувальні елементи.

6. Підключення контрольно-вимірювальних приладів

Встановлюються прилади для контролю тиску, температури та рівня рідини в теплообміннику. Це важливо для моніторингу роботи апарата та забезпечення безпеки експлуатації.

7. Перевірка герметичності

Перед введенням в експлуатацію проводиться гідравлічне випробування теплообмінника та всіх з'єднань на герметичність. Це дозволяє виявити та усунути можливі витіки.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

8. Пусконаладжувальні роботи

Після успішного випробування система запускається в тестовому режимі. Перевіряються робочі параметри теплообмінника, такі як температура, тиск та витрати рідин, щоб переконатися в його правильному функціонуванні.

Теплообмінник, який вже змонтовано, повинен бути опресований на пробний тиск на заводі-виробнику. На монтажному майданчику проводиться перевірка всієї системи теплообміну разом із трубопровідним обладнанням. Якщо відсутній акт заводських випробувань або апарат тривалий час зберігався на складі чи монтажному майданчику, теплообмінник підлягає додатковій перевірці та, за потреби, ремонту перед його монтажем.

Ремонт обладнання

Даний горизонтальний теплообмінник з паровим простором виготовлений з міцних корозійно-стійких матеріалів, що забезпечує йому довгий термін експлуатації. Однак протягом тривалої роботи апарат може піддаватися забрудненню та зношуванню, що впливає на його ефективність.

Основні ознаки зношування теплообмінника:

- Накопичення відкладень (масел, солей, смол) на внутрішніх поверхнях, що призводить до зниження теплопередачі.
- Зменшення товщини стінок корпусу та труб через корозію або ерозію.
- Поява тріщин, свищів або прогарів на корпусі, трубах чи фланцях.
- Деформація труб або трубних решіток, що може бути спричинено термічними навантаженнями.
- Порушення герметичності з'єднань та ущільнень, що веде до витоків.
- Пошкодження контрольно-вимірювальних приладів або їх некоректна робота.

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

XI.T.00.00.00 ПЗ

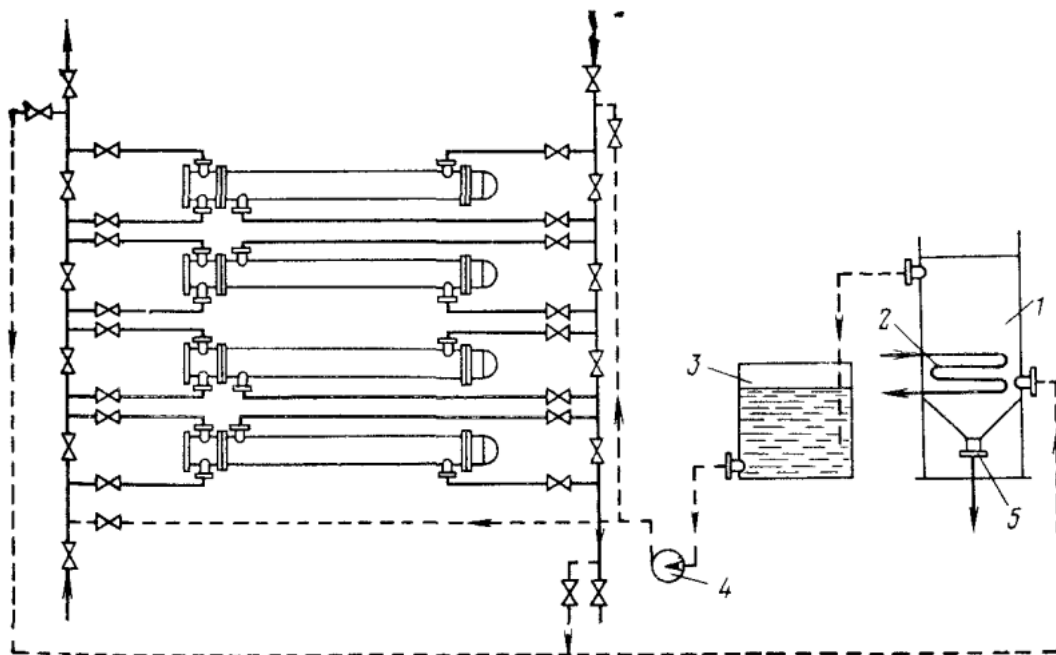


Рисунок 4.4 – Схема хімічної чистки

Підготовчі заходи перед ремонтом:

1. Спорожнення апарата

Зниження тиску до атмосферного та повне спорожнення теплообмінника від робочих рідин.

2. Демонтаж арматури

Демонтаж арматури та встановлення заглушок на всіх трубопроводах.

3. Очищення апарата

Очищення апарата шляхом промивання водою, парою або спеціальними розчинами.

4. Аналіз атмосфери

Проведення аналізу атмосфери всередині теплообмінника на наявність шкідливих чи вибухонебезпечних речовин.

5. Документація

Оформлення необхідної документації, включаючи план вогневих робіт та акт передачі апарата на ремонт.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Послідовність ремонтних робіт:

1. Демонтаж кришок

Демонтаж кришок, люків та арматури для забезпечення доступу до внутрішніх компонентів теплообмінника.

2. Огляд внутрішніх поверхонь

Огляд внутрішніх поверхонь для виявлення відкладень, корозії та механічних пошкоджень.

3. Очищення

Очищення внутрішніх поверхонь від відкладень механічним або хімічним способом.

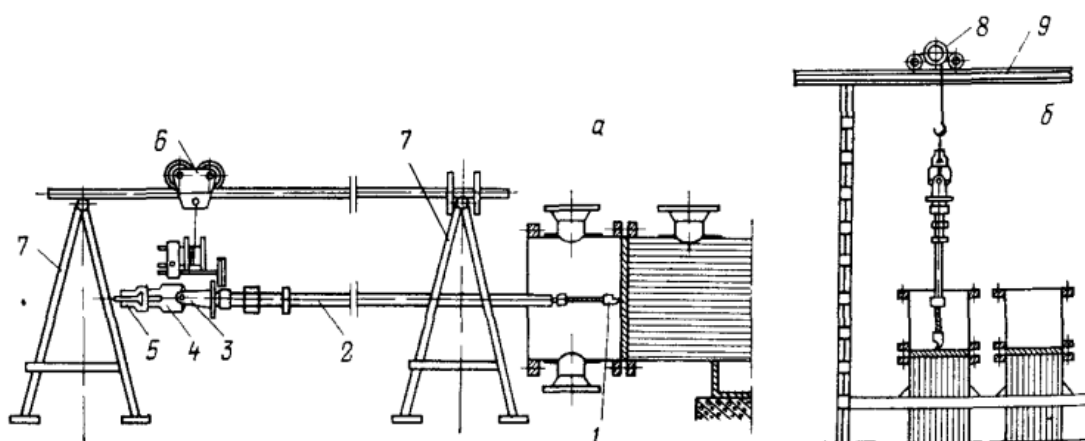


Рисунок 4.5 – Приспособа для механічної чистки горизонтальних (а) і вертикальних (б) теплообмінників: 1 – бур; 2 – полий вал; 3 – розподільчий золотник; 4 – привод; 5 – упор; 6 – підйомний пристрій; 7 – триноги; 8 – лебідка; 9 – направляючі.

4. Перевірка трубного пучка

Перевірка стану трубного пучка: виявлення пошкоджених або зношених труб.

5. Ремонт труб

Заміна пошкоджених труб або їх ремонт шляхом вальцювання чи зварювання.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6. Ремонт трубних решіток

Ремонт або заміна трубних решіток, якщо вони мають значні пошкодження.

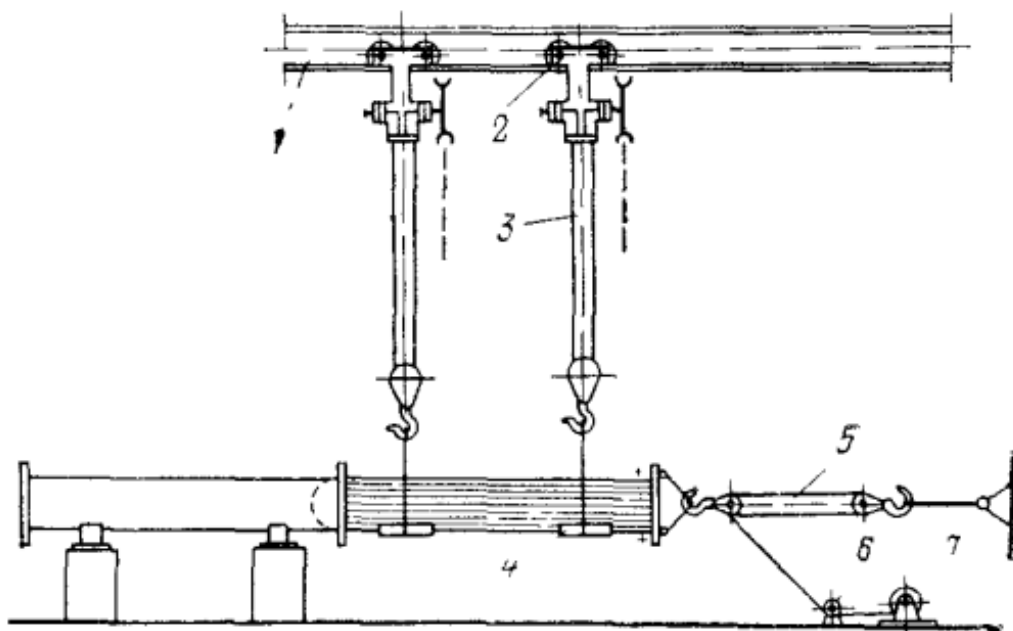


Рисунок 4.6 – Приспособа для заміни пучка труб теплообмінників 1 – направляюча балка; 2 – утримуючий пристрій; 3 – галь; 4 – підкладка під пучок; 6 – відвідний блок; 7 – підйомний пристрій.

7. Відновлення ущільнень

Відновлення або заміна ущільнень на фланцевих з'єднаннях та кришках.

8. Перевірка приладів

Перевірка та ремонт контрольно-вимірювальних приладів і систем безпеки.

9. Випробування

Проведення гідравлічних та пневматичних випробувань для перевірки герметичності та міцності після ремонту.

10. Відновлення покриттів

Відновлення ізоляції та антикорозійних покриттів для захисту апарата від зовнішніх впливів.

11. Документація

Складання звіту про проведений ремонт та оновлення технічної документації.

Введення в експлуатацію:

Після завершення ремонтних робіт і успішного проходження всіх випробувань теплообмінник може бути введений в експлуатацію. Необхідно провести контрольні заміри робочих параметрів та забезпечити постійний моніторинг стану апарата під час його роботи.

					<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

5 Автоматика та автоматизація технологічного процесу

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу

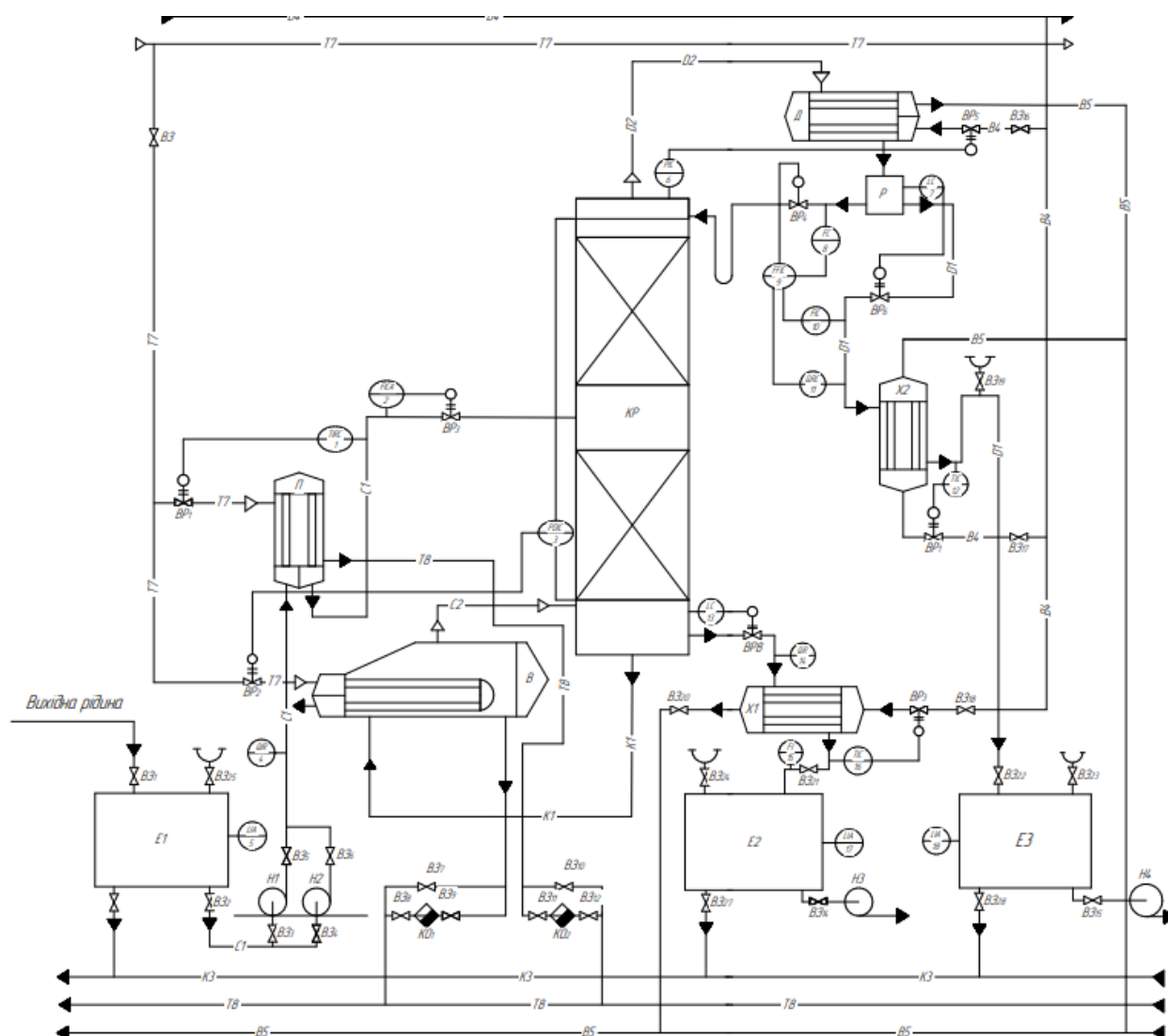


Рисунок 5.1 – Схема автоматизації

Обладнання, яке дозволяє здійснювати контроль:

Подача суміші та переміщення рідин: рівень рідини в ємностях з вхідною сумішшю та готовим продуктом контролюється насосами, що працюють автоматично. Це забезпечує подачу рідини при зниженні рівня та її зупинку при підвищенні рівня.

Температурний контроль у теплообмінниках: оптимальний температурний режим для випаровування компонентів підтримується за допомогою автоматичних регуляторів та температурних датчиків.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

66

Ректифікаційна колона: автоматичний контроль температури на різних рівнях колони сприяє стабільному розділенню компонентів. Крім того, встановлені датчики для моніторингу тиску та рівня в колоні.

Конденсація та охолодження: дефлегматор та охолоджуючі апарати оснащені температурними та тисковими регуляторами для стабільної конденсації, а також приладами для контролю витрат.

Обладнання, для автоматизації процесу:

Датчики рівня, тиску, температури та витрати: забезпечують безперервний моніторинг і передають інформацію до системи керування.

Контролери для регулювання параметрів, що безпосередньо впливають на стабільність і продуктивність процесу.

Клапани та вентилі (запірні, регулюючі та розподільчі): автоматично управляють потоком рідини або пари.

Сигнальні пристрої для контролю критичних параметрів, таких як перепад тиску або температури.

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання

Типовим рішенням для авторизації теплообмінника є:

Розгляд, основних принципів керування процесом, проводиться на прикладі вертикального теплообмінника (рис. 5.2), в який надходить продукт, що піддається нагріванню, і теплоносій. Критерієм ефективності даного процесу є температура t_n продукту на виході з теплообмінника, а завданням управління – підтримка цієї температури на заданому рівні.

					<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

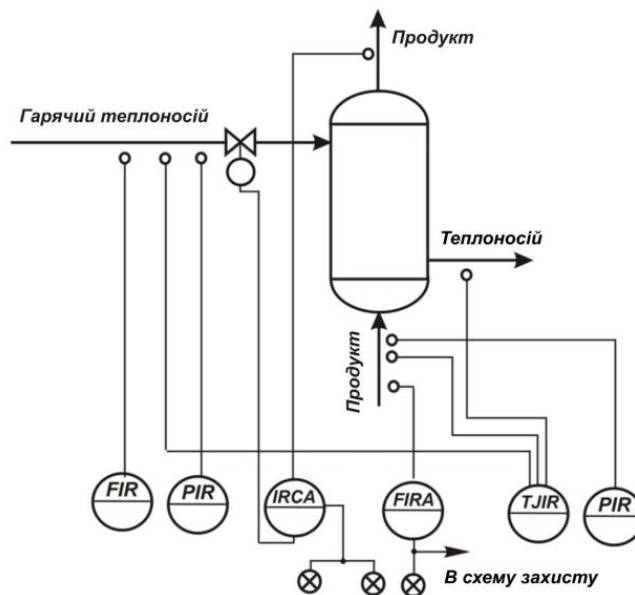


Рисунок 5.2 – Типова схема автоматизації процесу нагрівання

Залежність температури з параметрами процесу можна визначити з рівняння теплового балансу

$$G_n \cdot c_n(t_n'' - t_n') = G \cdot T \cdot c_m(t_m'' - t_m'), \quad (5.1)$$

де G_n, G_T - витрати відповідно продукту і гарячого теплоносія; c_n, c_m - питомі теплоємності продукту і гарячого теплоносія; t_n', t_m' - температури продукту і гарячого теплоносія на вході в теплообмінник;

Розв'язуючі рівняння відносно t_n'' , одержимо:

$$t_n'' = (G_T \cdot c_m / G_n \cdot c_n)(t_m' - t_m'') + t_n'. \quad (5.2)$$

Витрату теплоносія G_m можна без зусиль стабілізувати або використовувати для здійснення результативних регулюючих впливів. Витрату продукту G_n обумовлюють інші технологічні процеси, а не процес нагрівання, тому він не може бути ні стабілізований, ні використаний для здійснення регулюючих впливів; при зміні G_n у теплообмінник будуть надходити значні збурення. Температури t_n' і t_m' , а також питома теплоємність c_n і c_m задаються технологічними режимами інших процесів, тому стабілізувати їх при проведенні процесу нагрівання неможливо. До некерованих впливів належать також зміна температури навколишнього середовища і властивостей теплопередавальної стінки внаслідок відкладення солей, а також корозії.

Дослідження об'єкта керування виявило, що значну кількість збурюючих впливів неможливо ліквідувати. З огляду на це, доходимо висновку, що в якості керованої величини слід використовувати температуру, а регулюючий вплив здійснювати через зміну витрати.

Теплообмінники, як об'єкти регулювання температури, відзначаються значними запізненнями, тому важливо ретельно підходити до вибору місця встановлення датчика та закону регулювання. Щоб зменшити транспортне запізнення, датчик температури потрібно розміщувати якомога ближче до теплообмінника. Для усунення запізнення ефективним може бути використання регуляторів з попередженням та виконавчих механізмів з 3-позиційними регуляторами.

В якості контрольованих величин доцільно використовувати витрати теплоносіїв, їх кінцеві та початкові температури, а також тиски. Інформація про поточні значення цих параметрів є необхідною для забезпечення належного пуску, налагодження та експлуатації процесу. Витрату потрібно знати також для розрахунку техніко-економічних показників процесу, а витрату і температуру — для оперативного управління процесом.

Контролю підлягають температура і витрата продукту. Оскільки різке зниження витрати може призвести до пошкодження теплообмінника, захисний пристрій в такому випадку повинен блокувати подачу гарячого теплоносія

Всі висновки щодо процесу нагрівання можна застосувати і до процесу охолодження. В цьому випадку об'єктом керування буде кожухотрубний теплообмінник, в який надходить холодоагент та продукт, що охолоджується; критерієм ефективності є кінцева температура продукту. Основним елементом системи керування буде регулятор кінцевої температури охолоджуваного продукту, регулювання здійснюватиметься зміною витрати холодоносія.

Не можна залишити без уваги небезпеку, пов'язану з витоками. Витоки через несправні з'єднання або пошкоджені ущільнення призводять до втрат продукту, забруднення довкілля та загрози для здоров'я персоналу. Корозія елементів апарату під дією агресивних середовищ підвищує ймовірність виникнення таких витоків, тому регулярні перевірки і заміна деталей, що схильні до корозії, є необхідними.

Серед інших потенційних загроз слід виділити електричні небезпеки. Якщо теплообмінний апарат має електропривід або електронні системи для контролю параметрів процесу, існує ризик ураження струмом через несправну проводку або недостатнє заземлення.

Екологічні та здоров'я пов'язані небезпеки також є важливими. У разі аварійних витоків токсичних речовин або їхнього потрапляння в атмосферу може виникнути загроза для довкілля, здоров'я працівників та населення, що знаходиться поруч. Враховуючи це, необхідно використовувати вентиляцію, засоби індивідуального захисту, а також регламентовані процедури для зниження ризиків контакту з токсичними речовинами.

Щоб підвищити безпеку роботи, слід також забезпечити навчання персоналу з питань безпеки, обслуговування обладнання та дій у разі аварійних ситуацій. Важливим елементом є впровадження систем автоматичного контролю тиску, температури та витоків, що дозволить своєчасно виявляти та запобігати аваріям.

Для загального підвищення рівня безпеки роботи ректифікаційної установки необхідно проводити регулярні інспекції, технічне обслуговування обладнання та вживати заходів для захисту здоров'я персоналу й довкілля.

6.2 Охорона довкілля

Методика розрахунку небезпек та шкідливих факторів під час експлуатації обладнання передбачає послідовний підхід до оцінки ризиків для визначення рівня небезпеки, частоти виникнення небезпечних ситуацій

					<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

та розробки відповідних заходів захисту. Цей підхід базується на кількох етапах, які дозволяють систематично проаналізувати потенційні загрози та мінімізувати їх вплив.

1. Ідентифікація небезпек і шкідливих факторів

На цьому етапі визначаються всі можливі небезпеки та шкідливості, які можуть виникнути під час експлуатації обладнання. Це включає як зовнішні фактори (високий тиск, температура, токсичні речовини), так і внутрішні ризики, пов'язані з конструкцією апарату або його технічним станом. Ідентифікація зазвичай здійснюється на основі аналізу технічної документації, наявних даних про робочі параметри, а також через обговорення з експлуатаційним персоналом.

2. Оцінка ймовірності виникнення небезпечних ситуацій

Наступним кроком є визначення ймовірності, з якою можуть виникати ідентифіковані небезпечні ситуації. Це здійснюється на основі статистичних даних, якщо такі є, або методом експертної оцінки. У цьому випадку враховується стан обладнання, частота його технічного обслуговування, наявність систем автоматичного контролю, попередній досвід аварій та порушень в роботі.

3. Оцінка тяжкості наслідків

На цьому етапі визначають, наскільки серйозними можуть бути наслідки в разі виникнення небезпечної ситуації. Наслідки поділяються на рівні за тяжкістю: від незначних до катастрофічних, які можуть спричинити значну шкоду для здоров'я працівників, навколишнього середовища та економічних втрат для підприємства. Така оцінка допомагає класифікувати загрози за пріоритетністю.

4. Розрахунок ризику

Для об'єднання оцінки ймовірності та тяжкості наслідків проводиться розрахунок ризику. Ризик визначається як добуток ймовірності виникнення небезпечної події на тяжкість наслідків. Отримані значення дозволяють класифікувати ризики на високий, середній або низький рівень, що допомагає

визначити, які небезпеки потребують негайного втручання, а які є менш значними.

5. Визначення захисних заходів

На основі результатів оцінки ризиків розробляються заходи для зниження рівня небезпек і шкідливих факторів. Це можуть бути інженерні рішення (ізоляція обладнання, встановлення систем аварійного захисту), адміністративні заходи (регламентація робіт, навчання персоналу), а також використання засобів індивідуального захисту (каска, респіратори, захисний одяг). Для високих ризиків вживаються додаткові заходи або проводиться модернізація обладнання.

6. Перевірка ефективності захисних заходів

Після впровадження захисних заходів необхідно оцінити їхню ефективність, провівши повторну оцінку ризиків. Це дозволяє перевірити, чи досягнуте зниження ризику до прийняттого рівня. У разі виявлення недоліків розробляються додаткові заходи або проводяться корегування існуючих.

7. Документування результатів

На заключному етапі всі результати оцінки ризиків, впроваджені захисні заходи та результати перевірки ефективності документуються. Це забезпечує фіксацію інформації для подальшого моніторингу та оцінки надійності роботи обладнання. Документація також є важливою частиною підготовки до аудиту безпеки та для забезпечення відповідності нормативним вимогам.

Ця методика дозволяє виявити та контролювати небезпеки на різних етапах експлуатації обладнання, що сприяє забезпеченню безпеки праці та зниженню шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Розділ «Автоматика та автоматизація технологічного процесу» містить опис параметрів, що контролюються під час функціонування установки, а також розробку систем автоматизованого управління її обладнанням.

Розділ «Охорона праці та довкілля» містить аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час експлуатації ректифікаційної установки та теплообмінного апарата.

Графічна частина представлена в такому вигляді: Технологічна схема, Складальне креслення, Монтажне креслення, Складальне креслення трубного пучка, Складальне креслення розподільчої камери, Плакат 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>		75

Список літератури

1. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи / укладачі: В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. - Суми : Сумський державний університет, 2019. - 53 с.

2. Відкритий електронний ресурс структурований лекцій, та навчальних матеріалів дисциплін. URL: <https://ocw.sumdu.edu.ua/>.

3. 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 «ХПІ».– 480 с.

4. 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.

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. ДСТУ 7809:2015 Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови.

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

9. Шалугін В.С., Шмандій В.М. Процеси та апарати промислових технологій. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392с.

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

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

12. Онищук О.О., Кормош Ж.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / Онищук Оксана Олександрівна, Жолт Олександрович Кормош. - Луцьк : Вежа-Друк, 2020 – 155 с

13. Соколов В. Н. Машини та апарати хімічних виробництв. Приклади і задачі., Машинобудування, 1982, 384с.

					<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>		77