

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

Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші метанол-етанол. Розробити та модернізувати горизонтальний кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації парів метанолу.

Виконав:

студент групи ХМ.м-31

Довгаль Олександр Вадимович

підпис

Залікова книжка

№ 23510205

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Михайловський Я.Е.

підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії

СУМИ 2024

ЗМІСТ

Вступ		5
1 Літературний огляд за тематикою проєкту		6
1.1 Конструктивні особливості кожухотрубних конденсаторів		6
1.2Виробництво метанолу		9
1.3Порівняння конструкції проєктованого апарату з аналогами		12
2 Технологічна частина		17
2.1Опис технологічної схеми виробництва		17
2.2Описання об'єкта розроблення		19
2.3Конструктивні розрахунки		22
2.4Розрахунок діаметра штуцерів		26
2.5Гідравлічний опір апарату		27
2.6Вибір допоміжного обладнання		28
3 Проєктно-конструкторська частина		30
3.1Вибір конструкційного матеріалу		30
3.2Розрахунки апарату на міцність		34
3.3Розрахунок і вибір опори		36
4 Будівельно-монтажна частина		41
4.1Обґрунтування вибору варіанту компонування обладнання		41
4.2Проведення монтажних робіт		47
4.3Ревізія та ремонт		51
5 Автоматика та автоматизація технологічного процесу		57
5.1Оцінка рівня автоматизації технологічного процесу		57
5.2Аналіз літературних рекомендацій з автоматизації технологічного процесу		60
5.3Аналіз літературних рекомендацій з автоматизації заданого апарату		66

					<i>XI.T.00.00.00.P3</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
<i>Разраб.</i>		<i>Довгаль</i>			<i>Кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації парів метанолу.</i>		<i>Лист</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Михайловський</i>						2	
<i>Н. Контр.</i>					<i>ХМ.М-31</i>				
<i>Утв.</i>									

6	Охорона праці	70
6.1	Потенційні небезпеки та шкідливості під час роботи на виробництві	70
6.2	Безпека експлуатації герметичних систем	72

Список літератури

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

Вступ

Швидке розширення виробництва метанолу пояснюється його зростаючим використанням у різноманітних галузях. Метанол є важливою сировиною для синтезу багатьох органічних сполук. Приблизно 50% виробленого метанолу використовується для отримання формальдегіду, ще 11% – у виробництві синтетичного каучуку. Його застосовують для створення диметилтерефталату, метилметакрилату, пентаеритриту, уротропіну, а також у виробництві фотоплівки, амінів, смол (полівінілхлоридних, карбамідних, іонообмінних), барвників і розчинників для лакофарбових матеріалів. Значні обсяги метанолу споживаються для синтезу хімічних сполук, таких як хлорофос, карбофос, хлористий і бромистий метил, ацеталі.

Попри досягнення, виробництво метанолу постійно вдосконалюється. Зокрема, удосконалюються каталізатори, методи підготовки технологічного газу, конструкції обладнання, а також технології, що забезпечують ефективне використання тепла, яке виділяється під час синтезу.

Метанол отримують кількома методами: Суха перегонка деревини або лігніну (застарілий спосіб, що втратив промислове значення); Термічне розкладання солей мурашиної кислоти; Синтез через метилхлорид із подальшим омиленням; Неповне окислення метану та отримання синтез-газу.

Сучасний промисловий метод базується на синтезі метанолу з оксиду вуглецю (CO) та водню (H₂) з використанням мідь-цинкового оксидного каталізатора. У процесі синтезу ключову роль відіграє колона синтезу, яка виготовляється з високоякісної сталі та захищається мідною футеровкою, що запобігає утворенню пентакарбонілу заліза (Fe(CO)₅) — речовини, яка негативно впливає на ефективність синтезу.

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

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЄКТУ

1.1 Виробництво метанолу

Розвиток спиртової промисловості, включаючи виробництво метилового спирту, може мати важливе значення для економічного розвитку України та інших країн. Спочатку розглянемо можливості нашої держави.

Україна має потенціал для збільшення виробництва метилового спирту, особливо за рахунок використання вугільної сировини, біоенергетики та інших джерел. Це може забезпечити як внутрішні потреби, так і можливість експорту. Метиловий спирт може бути використаний для виробництва біопалив та біогазу, що є важливими складовими сучасної енергетичної стратегії.

Україна може розглядати можливість експорту метилового спирту на зовнішні ринки, якщо виробництво буде збільшуватися і якість відповідатиме міжнародним стандартам. Загалом розвиток спиртової галузі може стати предметом інвестицій, як внутрішніх, так і зовнішніх. Інвестори можуть сприяти модернізації обладнання та підвищенню продуктивності. Співпраця з науковими дослідницькими установами може допомогти вдосконалювати технології виробництва метанолу та інших спиртів.

Що стосується міжнародних ринків, то попит на метиловий спирт росте завдяки зростанню використання біопалив, хімічних промисловостей та інших галузей. Україна може конкурувати на цьому ринку, якщо забезпечить високу якість та конкурентоспроможні ціни. Зростання усвідомлення про екологічну важливість біопалив та біогазу може стати драйвером попиту на метиловий спирт, як біоенергетичний матеріал. Співпраця з іншими країнами у сфері технологічного обміну може допомогти Україні отримати доступ до передових методів виробництва метанолу та інших спиртів.

Загалом, спиртова промисловість, включаючи виробництво метилового спирту, має потенціал для розвитку як в Україні, так і в інших країнах, і може

									<i>Лист</i>
									6
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					

відігравати важливу роль у забезпеченні сталого розвитку та різноманітних галузях промисловості.

Виробництво метилового спирту (метанолу) включає в себе різні процеси. Розглянемо найбільш поширені методи виробництва метилового спирту та їх особливості.

Синтез газової фази. Синтез газової фази, також відомий як Синтез Ньюфелда, використовує синтез-газ (суміш CO і H₂) як сировину. Процес включає каталітичну реакцію, де синтез-газ перетворюється в метиловий спирт за наявності каталізатора (зазвичай мідь, цинк і алюміній). Вигода цього методу полягає в можливості використовувати різні джерела синтез-газу, такі як природний газ, вугілля або біомаса.

Синтез рідкої фази. Синтез рідкої фази, також відомий як Синтез Ловенге, є іншим методом виробництва метилового спирту. Цей метод базується на конверсії газоподібних сировин в рідкий метиловий спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання синтез-газу (суміш CO і H₂) як сировини, аналогічно до Синтезу Ньюфелда;
- зазвичай використовують каталізатори на основі цинку та міді для стимулювання реакції між синтез-газом і отримання метилового спирту;
- синтез проводиться в спеціальних реакторах під підвищеним тиском та температурою, що сприяє утворенню рідкого метилового спирту.

Метод Синтезу Ловенге відзначається високими тиском і температурою, що може бути важливим для забезпечення оптимальних умов реакції. Отриманий метиловий спирт може бути використаний для виробництва хімічних реакцій, біопалив і інших продуктів.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						7
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Спиртова ферментація. Цей метод виробництва використовує біологічні процеси ферментації для перетворення вуглеводнів у спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання біомаси як сировини для ферментації, а саме: цукрову тростину, кукурудзу та інші матеріали, які містять цукри;
- мікроорганізми, зазвичай дріжджі, використовуються для бродіння цукрів у сировині з подальшою конверсією у метиловий спирт і CO₂;
- сам процес ферментації відбувається в спеціальних реакторах, де мікроорганізми перетворюють цукри на спирт у водному середовищі;
- ферментація може бути довготривалою і вимагати певної температури та реакційних умов для оптимального проходження процесу.

Спиртова ферментація є важливим методом виробництва метилового спирту, особливо у виробництві біопалив та хімічних речовин. Вона є екологічно сталим процесом і може використовувати відновлювані джерела сировини, такі як біомаса, сприяючи сталому розвитку.

Синтез газифікації вугілля або біомаси. Цей метод виробництва метилового спирту використовує процес газифікації для отримання синтез-газу, а потім конвертує цей газ у метиловий спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання вугілля або біомаси (наприклад, деревини, соломи або інших органічних матеріалів) у якості сировини для газифікації;
- процес газифікації полягає в перетворенні вуглеводнів і вуглецю у синтез-газ (зазвичай, CO і H₂) за допомогою високих температур та обмеженого доступу повітря;
- синтез-газ, отриманий після газифікації, подається на каталітичну реакцію, де відбувається конверсія у метиловий спирт.

						<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>			8

Синтез газифікації може бути важливим для використання вугілля або біомаси та забезпечити масове виробництво спирту, зменшуючи залежність від нафти та інших не відновлюваних джерел сировини.

Спиртовий розклад. Спиртовий розклад – це метод виробництва метилового спирту (метанолу), що полягає в термічному розкладі органічних сполук, які містять вуглець, на простіші сполуки, включаючи метиловий спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання вуглеводнів або інших органічних речовин у якості сировини для розкладу;
- процес розкладу відбувається при високих температурах і тиску, і включає нагрівання сировини до відповідних умов;
- у результаті розкладу складних органічних сполук утворюється метиловий спирт і інші продукти, такі як вуглекислий газ (CO₂) і водень (H₂).

Цей метод може бути ефективним для використання відходів та забруднювачів у виробництві та переробці органічних речовин і може внести важливий внесок у зменшення викидів парникових газів та використання відновлюваних джерел сировини.

Вибір того чи іншого методу виробництва метилового спирту залежить від багатьох факторів, таких як наявність сировини, ефективність процесу, економічність і вплив на навколишнє середовище. Кожен метод має свої переваги та недоліки, і важливо обирати той, який найкраще відповідає конкретним потребам і умовам виробництва.

1.2 Конструктивні особливості кожухотрубних конденсаторів

В сучасності теплообмінні процеси при яких відбувається зміна агрегатного стану шляхом нагріву чи охолодження будь то конденсація як перетворення газоподібного в рідке чи випаровування що обернене

					<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

конденсації набули досить широкого розповсюдження в багатьох галузях. До таких галузей можна віднести як хімічні так і нафтохімічні, як харчові так і енергетичні.

При певних параметрах тиску та температури відбувається фазовий перехід між агрегатними станами в речовині. Цей перехід, а саме від газоподібного(парового) до рідкого має назву конденсація, що походить від латинського condensation, що означає згущення. [1]

Зниження температури при постійному тиску або підвищення тиску при незмінній температурі може призвести до конденсації речовини. У багатьох випадках зміна обох параметрів — тиску й температури — одночасно спричиняє перехід пароподібної речовини у рідкий агрегатний стан. Під час конденсації відбувається передача тепла від нагрітої речовини (пари) до холодного теплоносія, що циркулює у системі, наприклад, у трубному пучку конденсатора.

Цей процес супроводжується значним зменшенням об'єму конденсованої речовини, що може сягати сотень разів. У замкнутому просторі це призводить до утворення вакууму через зниження тиску в системі. Виділене під час конденсації тепло сприяє ефективному охолодженню пари до рідкого стану, забезпечуючи стабільний режим роботи теплообмінного обладнання. [1]

Швидкість конденсації пароподібної речовини може бути різною адже це зумовлено певними факторами. До цих факторів можна віднести:

- фізична характеристика процесу, а тобто тиск в середині апарату а також температурні параметри теплоносіїв;
- фізико-хімічні параметри речовини з врахуванням її теплофізичних властивостей та її власних особливостей. До цих параметрів можна віднести природу речовини, її хімічну структуру, також її фізичні параметри як густина та в'язкість та її характеристика поверхневого натягу, ну і звісно її

									XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						10

особливості такі як теплопровідність та теплоємність та звісно теплота конденсації цього ресурсу;

- поверхнево-орієнтаційний фактор що проявляється під час процесу за рахунок особливостей поверхні тобто її шорхуватість, а також як важливий аспект орієнтація в просторі самого апарата. [1]

У процесі розробки теплообмінних апаратів виникає завдання забезпечити виконання всіх вимог, які ставляться до обладнання, з урахуванням конструктивних і матеріальних характеристик. Ці параметри повинні відповідати стандартам міцності та задовольняти експлуатаційні умови, що часто вимагає пошуку компромісного рішення між різними потребами.

Сучасні технології, зокрема програмне забезпечення для моделювання й оптимізації, дозволяють ефективно вирішувати такі завдання. Використання багаторічного досвіду, зафіксованого в нормативно-технічній документації, у поєднанні з інноваційними підходами проектування сприяє створенню обладнання, яке відповідає сучасним стандартам хімічної інженерії. Це забезпечує ефективність роботи апаратів і можливість адаптації до специфічних умов експлуатації.[2]

Трубний пучок, камери розподілу тепло- чи холодоагенту в залежності від самого апарату, та кришки що приєднані фланцевим поєднанням до кожуху апарату, все це складові багатходових теплообмінників типу Н та К. Наявність двох розподільчих камер та трубного пучка вказує на одноходові теплообмінники. [2]

Теплообмінники мають певні особливості та ознаки за якими вони і класифікуються:

- Конструктивно теплообмінники поділяються за рахунок конструкції теплообмінної поверхні, а саме є такі що виготовлені з труб, до них відносяться кожухотрубчасті, труба в трубі, зрошувальні, повітряного

охолодження, занурю вальні змішувачі; також існують апарати поверхнею теплообміну яких є листове тіло і до таких теплообмінників відносяться пластинчасті та спіральні теплообмінні апарати. А також існують апарати, що виготовляються з неметалевих матеріалів.

- За призначенням для використання хімічної інженерії тепло- обмінні апарати можуть бути як холодильниками для охолодження речовини так і підігрівачами для її нагріву, як конденсаторами для конденсації пароподібної сировини так і випарниками що перетворюють рідину в пар.
- За напрямком потоку всередині теплообмінників, тобто напрямком робочих середовищ теплообмінні апарати можуть бути як прямоточні де напрямок течії тепло та холодоагентів співпадає так і протитечійні, де потік течії тепло та холодоагентів знаходяться протилежних напрямках, а також існує конструкція змішаної течії.
- За просторовим розміщенням теплообмінники можуть бути як горизонтальні так і вертикальні.
- В залежності від числа ходів по трубах тепло- чи холодоагенту (в залежності від типу апарату, теплообмінники бувають одно або багатогодові. [2]

1.3 Порівняння конструкції проектного апарату з аналогами

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до поверхневих теплообмінних апаратів рекуперативного типу. Широке поширення цих апаратів обумовлено насамперед надійністю конструкції та великим набором варіантів виконання для різних умов експлуатації:

- Однофазні потоки, кипіння та конденсація;
- Вертикальне та горизонтальне виконання;
- Широкий діапазон тиску теплоносіїв, від вакууму до 8,0 МПа;

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

- Площа поверхні теплообміну від малих (1 м²) до гранично великих (1000 м² і більше);
- Можливість застосування різних матеріалів відповідно до вимог до вартості апаратів, агресивності, температурних режимів та тиску теплоносіїв;
- Використання різних профілів поверхні теплообміну як усередині труб, так і зовні та різних турбулізаторів;
- Можливість вилучення пучка труб для очищення та ремонту

Розрізняють такі типи кожухотрубних теплообмінних апаратів:

- Теплообмінні апарати з нерухомими трубними ґратами (жорструбні ТА);
- Теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками та з лінзовим компенсатором на кожусі;
- Теплообмінні апарати з плаваючою головкою;
- Теплообмінні апарати з U-подібними трубами.
- Кожухотрубні теплообмінні апарати з нерухомими трубними ґратами відрізняються простотою конструкції і, отже, меншою вартістю (рис. 3.1)

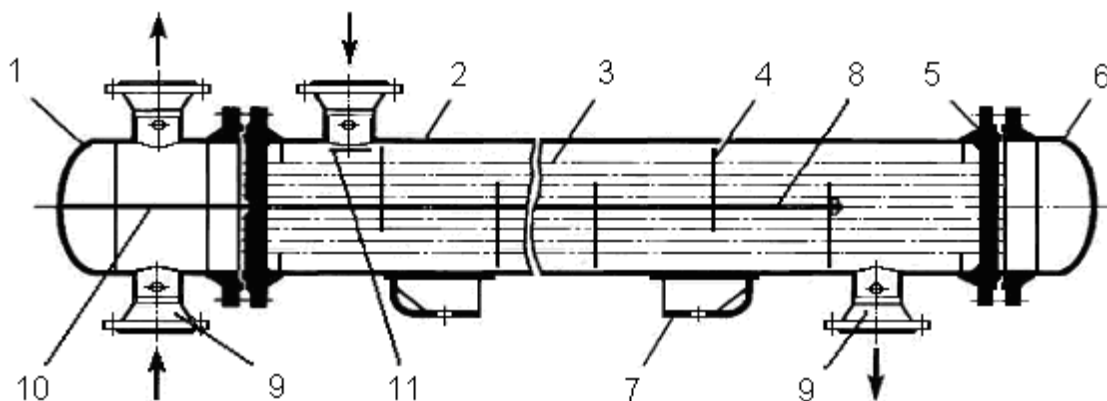


Рисунок 1.1 - Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками: 1-розподільна камера; 2-кожух; 3-теплообмінна труба; 4-поперечна перегородка; 5-трубні ґрати; 6 – задня кришка кожуха; 7-опора; 8-дистанційна трубка; 9-штуцери; 10-перегородка у розподільчій камері; 11 – відбійник

Кожухотрубний теплообмінний апарат являє собою пучок теплообмінних труб, що знаходяться в циліндричному корпусі (кожусі).

Один із теплоносіїв рухається всередині теплообмінних труб, а інший омиває зовнішню поверхню труб. Кінці труб закріплюються за допомогою вальцювання, зварювання чи паяння у трубних решітках. У кожусі теплообмінного апарату за допомогою дистанційних трубок встановлюються перегородки. Перегородки підтримують труби від провисання та організують потік теплоносія у міжтрубному просторі, інтенсифікуючи теплообмін. До кожуха теплообмінного апарату приварюються штуцери для входу та виходу теплоносія з міжтрубного простору. На вході теплоносія в міжтрубний простір у ряді випадків встановлюють відбійники, необхідні зменшення вібрації пучка труб, рівномірного розподілу потоку теплоносія в міжтрубному просторі і зниження ерозії найближчих до вхідного штуцера труб. До кожуха теплообмінного апарату за допомогою фланцевого з'єднання кріпляться розподільна камера та задня кришка зі штуцерами для входу та виходу продукту із трубного простору. [18]

Залежно від розташування теплообмінних труб розрізняють теплообмінні апарати горизонтального та вертикального типу.

Залежно від числа перегородок у розподільчій камері та задній кришці кожухотрубчасті теплообмінні апарати діляться на одноходові, двоходові та багатоходові у трубному просторі.

Залежно від числа поздовжніх перегородок, встановлених у міжтрубному просторі, кожухотрубні теплообмінники поділяються на одне – та багатоходові у міжтрубному просторі.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						14
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Теплообмінники з нерухомими трубними решітками застосовуються, якщо максимальна різниця температур теплоносіїв не перевищує 800С, і при порівняно невеликій довжині апарату. Ці обмеження пояснюються температурними напругами, що виникають у кожусі і в теплообмінних трубах, здатними порушити герметичність конструкції апарату.

Для часткової компенсації температурних напруг у кожусі та теплообмінних трубах використовуються спеціальні гнучкі елементи (розширювачі, компенсатори), встановлені на кожусі апарату.

Такі теплообмінники називають теплообмінними апаратами з температурним компенсатором на кожусі (рис. 1.2)

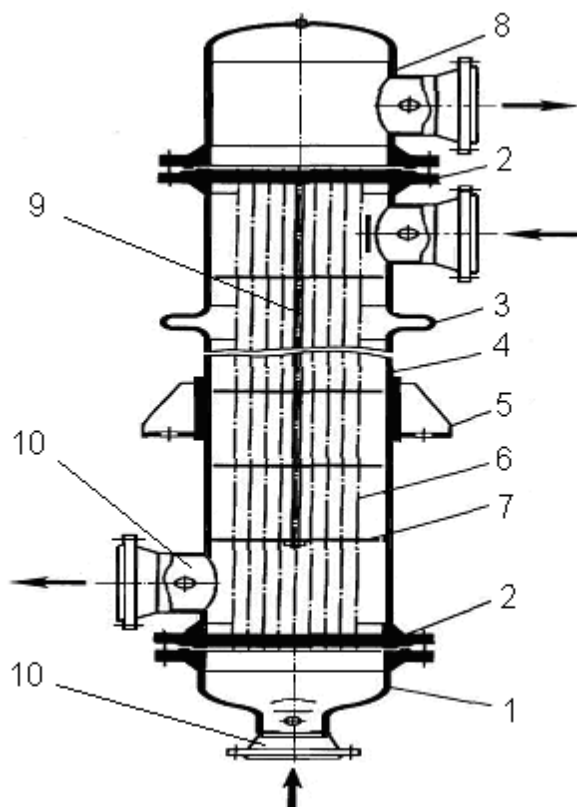


Рисунок 1.2 - Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі:

1-розподільна камера; 2 – трубні решітки; 3 – компенсатор; 4 – кожух; 5 – опора; 6 – теплообмінна труба; 7-поперечна перегородка; 8 – задня кришка кожуха; 9 – дистанційна трубка; 10 – штуцери

В апаратах подібного типу використовують одно - та багатоелементні лінзові компенсатори.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з плаваючою головкою (з рухомими трубними ґратами) є найбільш поширеним типом кожухотрубних теплообмінників (рис. 1.3). Рухливі трубні ґрати дозволяють трубному пучку вільно переміщатися незалежно від корпусу, що значно знижує температурну напругу як у кожусі, так і в теплообмінних трубах. [18]

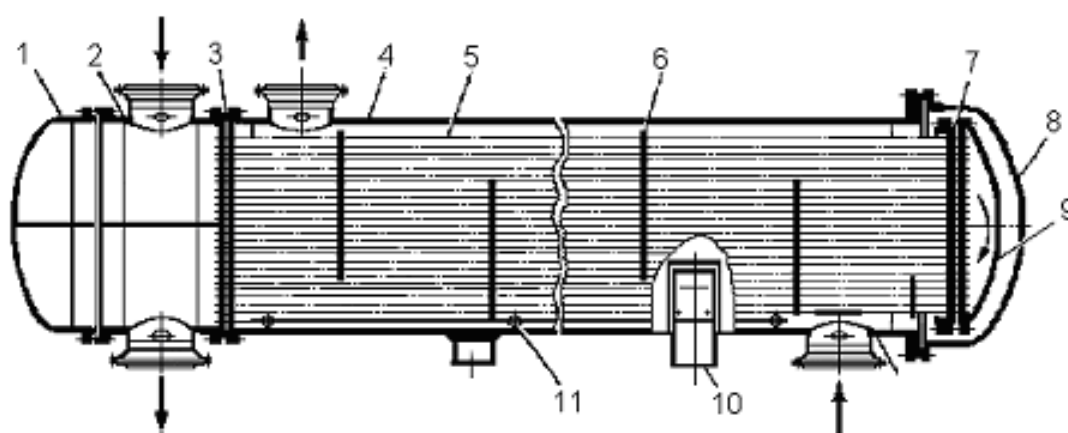


Рисунок 1.3 - Кожухотрубчастий теплообмінник з плаваючою головкою:

1 - кришка розподільчої камери; 2-розподільна камера; 3-нерухомі трубні ґрати; 4-кожух; 5-теплообмінна труба; 6 – поперечна перегородка; 7 - рухомі трубні ґрати; 8-задня кришка кожуха; 9 - кришка плаваючої головки; 10 – опора; 11 - коткова опора трубного пучка

Теплообмінні апарати даного типу виконуються з двома або з чотирма ходами по трубному простору.

Апарати з плаваючою головкою найчастіше виконуються одноходовими міжтрубним простором. В апаратах з двома ходами міжтрубного простору встановлюється поздовжня перегородка.

Кожухотрубчасті теплообмінники з U-подібними трубами (рис. 1.4) мають одну трубну решітку, в яку завальцьовані обидва кінці U-подібних теплообмінних труб. Відсутність інших жорстких зв'язків теплообмінних U-

подібних труб з кожухом забезпечує вільне подовження труб при зміні їх температури. Крім того, перевага теплообмінників з U-подібними трубами полягає у відсутності роз'ємного з'єднання всередині кожуха (на відміну від ТА з плаваючою голівкою, що дозволяє успішно застосовувати їх при підвищених тисках теплоносіїв, що рухаються в трубному просторі. Недоліком таких апаратів є труднощі чищення внутрішньої та зовнішньої поверхні труб, внаслідок чого вони використовуються переважно для чистих продуктів. [18]

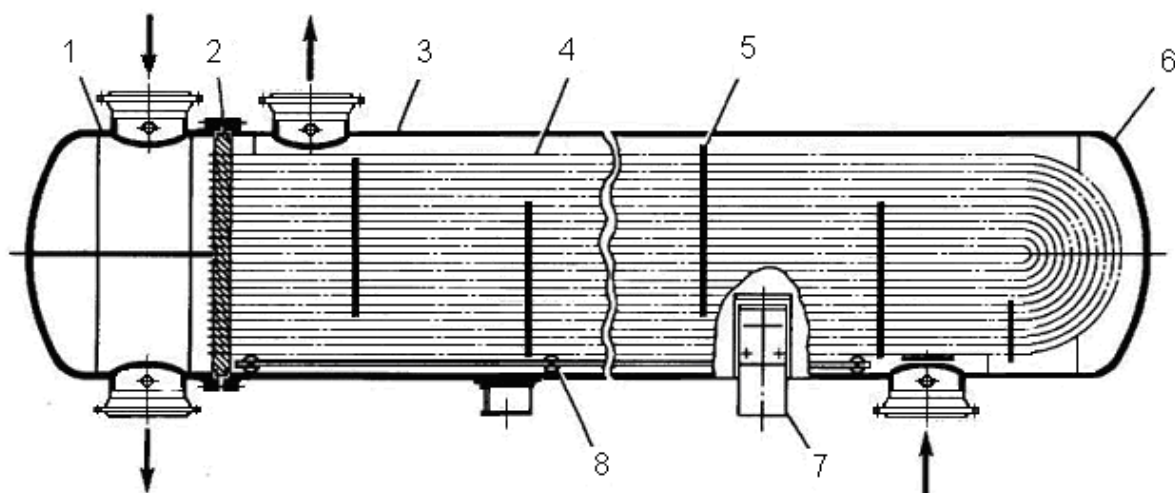


Рисунок 1.4 - Кожухотрубчастий теплообмінник з U-подібними теплообмінними трубами: 1-розподільна камера; 2-трубні грати; 3-кожух; 4-теплообмінна труба; 5-поперечна перегородка; 6 - кришка кожуха; 7-опора; 8-коткова опора трубного пучка

Ефективність кожухотрубчастих теплообмінних апаратів підвищується зі збільшенням швидкості руху потоків теплоносіїв та ступеня їхньої турбулізації. Для збільшення швидкості руху потоків у міжтрубному просторі та їх турбулізації, підвищення якості омивання поверхні теплообміну міжтрубний простір кожухотрубчастих теплообмінних апаратів встановлюються спеціальні поперечні перегородки. Вони також виконують роль опор трубчастого пучка, фіксуючи труби в заданому положенні і зменшують вібрацію труб. [18]

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Принципова технологічна схема безперервно діючої ректифікаційної установки в складі якої є заданий завданням проєкту теплообмінник конденсатор показаний на рисунку 2.1

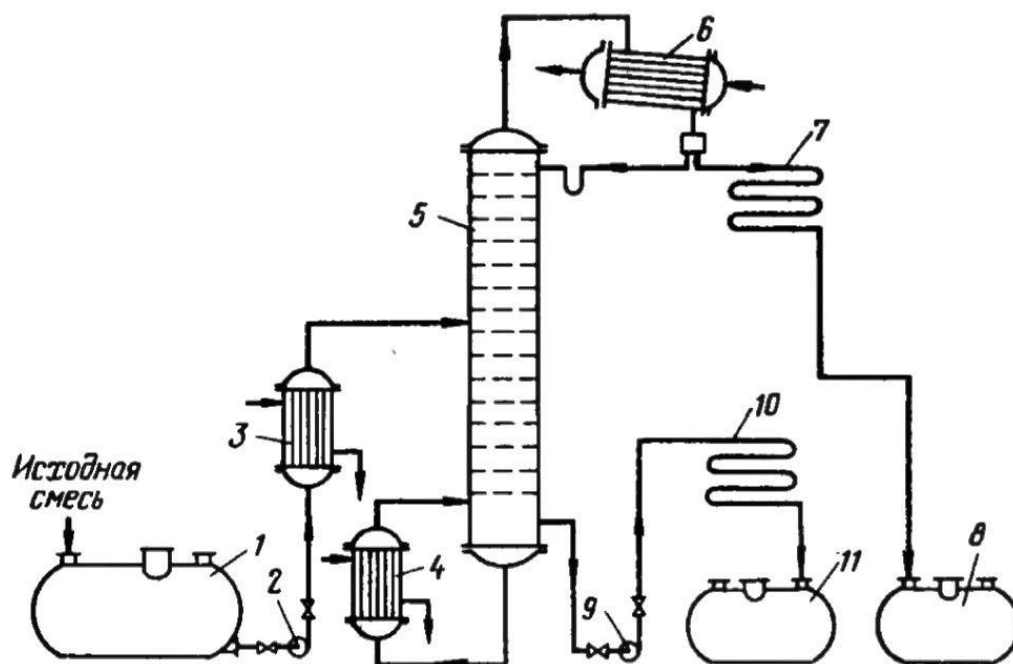


Рисунок 2.1 – Принципова схема ректифікаційної установки 1 – ємність для вихідної суміші; 2, 9 – насоси; 3 – теплообмінник-підігрівач; 4 – кип’ятильник; 5 – ректифікаційна колона; 6 – дефлегматор; 7 - холодильник дистиляту; 8 – ємність для збору дистиляту; 10 – холодильник кубової рідини; 11 – ємність для кубової рідини

Принципіальна схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 2.1. Вихідна суміш з проміжної ємності 1 відцентровим насосом 2 подають у теплообмінник 3, де вона підігрівається до температури кипіння.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

18

Нагріта суміш подається на розділення в ректифікаційну колону 5 на тарілку, де склад рідини дорівнює складу вихідної суміші. [11]

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що підіймається вгору, який обраховується при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику 4.

Початковий склад пару приблизно дорівнює складу кубового залишку (збіднений легко летучим компонентом). В результаті масообміну з рідиною пара збагачується легко летучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують у відповідності з заданим флегмовим числом рідини (флегми) складу, отримуючої в дефлегматорі 6 шляхом конденсації пари, що виходить з колони.

Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту розділення дистилату, який охолоджується в теплообміннику 7 та направляється в проміжну ємність 8.

З кубової частини колони насосом 9 безперервно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який охолоджується в теплообміннику 10 та направляється в ємність 11.

Таким чином, в ректифікаційній колоні відбувається безперервний невривноважений процес розділення вихідної бінарної суміші на дистилат (з високим вмістом легко летучого компоненту) та кубовий залишок (збагачений важко летучий компонент).

Найголовніша перевага даної схеми ректифікації, це те що в установці передбачено раціональне використання тепла. Тепловідведених потоків використовується для нагрівання висхідний, тобто нагрівають початкову суміш за рахунок тепла рідини, віддаляється з нижньої частини колони, так званого кубового залишку. Тобто все тепло, що виділяється у будь якому апараті використовується для підвищення загально ККД установки.

2.2Описання об'єкта розроблення

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

За своєю конструкцією кожухотрубчастий теплообмінник являє собою апарат, що складається з двох окремих камер (трубної і міжтрубної частини). Розділені стінкою внутрішніх труб за наявності різниці в температурах дві течії обмінюються між собою тепловою енергією без взаємного змішування робочих середовищ. [12]

Кожухотрубний теплообмінник вважається найпоширенішим видом з тих, що існують в даний час. Вперше такі пристрої були розроблені на початку 20 століття. Їхня поява була обумовлена тим, що тепловим станціям були потрібні теплообмінники з високими показниками теплообміну та можливістю функціонувати при високому тиску. Надалі таке обладнання почали застосовувати при створенні випарників та нагрівачів та у нафтовій промисловості.

Конструкція теплообмінника не складна:

- трубний пучок, який розміщений у власній камері та закріплений на трубній решітці;
- кожух, що є камерою з трубними решітками;
- вхідні та вихідні отвори в камеру;
- відведення для дренажу рідини з міжтрубного простору;
- та самі перегородки.

На рисунку 2.2 зображено кожухотрубний теплообмінний апарат, який складається з пучка труб, закріплених в трубних решітках та обмежених кожухом, кришками тощо. Трубний та міжтрубний простори, в яких рухаються гарячий та холодний теплоносії, відокремлені один від одного поверхнею теплообміну, причому кожен із цих просторів може бути розділено перегородками на декілька ходів.[13]

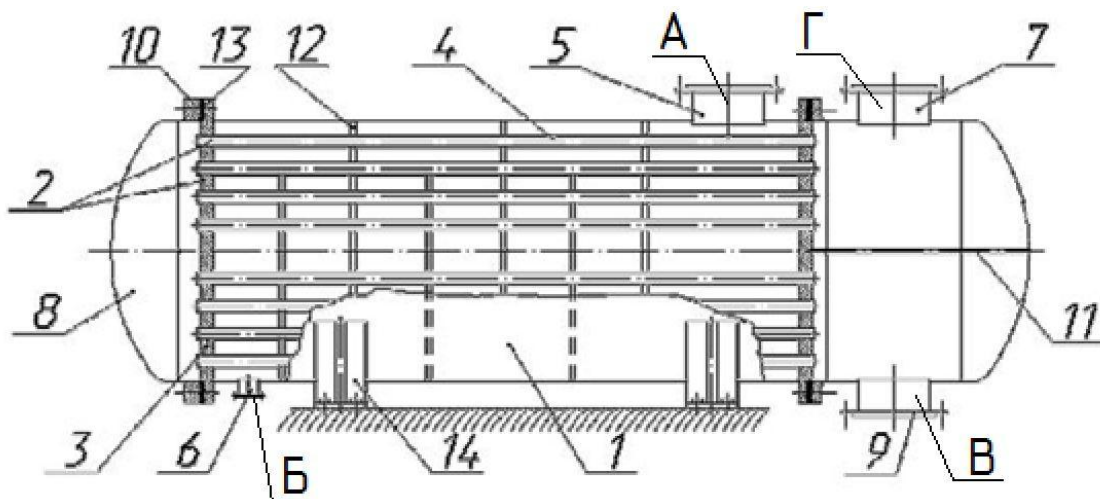


Рисунок 2.2 Горизонтальний багатоходовий кожухотрубний теплообмінний апарат жорсткої конструкції: 1 – кожух; 2 – трубчатка; 3 – трубна решітка; 4 – трубки; 5, 6, 7 – патрубки для вводу та виводу насиченої пари, конденсату та речовини; 8 – кришка еліптична; 9, 10 – фланець для патрубків та частин апарата; 11, 12 – перегородки трубного та міжтрубного простору; 13 – прокладка; 14 – горизонтальна опора; А – вхід газоподібного бензолу; Б – вихід сконденсованого бензолу; В – вхід холодного теплоносія (води); Г – вихід холодного теплоносія

Отже, теплообмінний апарат складається з кожуху 1, в якому розміщена трубчатка 2, яка в свою чергу складається з двох трубних решіток 3 та пучка труб 4, які з'єднуються з трубними решітками за допомогою розвальцювання чи зварювання.

Для підведення та відведення теплоносіїв (насичена пара, конденсат, водний розчин) апарат оснащено патрубками чи штуцерами 5, 6, 7. З торців апарат обмежено кришками 8.

З метою підтримання потрібної швидкості теплоносіїв (для забезпечення високих коефіцієнтів тепловіддачі) та для зменшення вібрації трубного пучка в теплообмінному апараті встановлено перегородки 11 і 12, які розділяють трубний та міжтрубний простори на секції, при цьому забезпечується певна послідовність проходження теплоносіїв, як у трубному, так і у міжтрубному

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

просторах. Для приєднання частин трубопроводів, арматури до патрубків вводу виводу теплоносіїв та для з'єднання окремих вузлів апарата використовують фланці 9, 10. Крім того, для надійної та безпечної роботи при з'єднанні вузлів апарата застосовують ущільнювальні прокладки 13. Теплообмінний апарат на місці експлуатації встановлюють на опори 14.

Ще одним важливим елементом конструкції апарата є температурні компенсатори (не зображено на рисунку), які призначені для зменшення додаткових напружень, які виникають в місцях з'єднання частин апарата, що мають різні температури (особливо важливим є з'єднання труб з трубною решіткою). Тому, теплообмінні апарати в яких, різниця температур кожуха та труб буде більшою 50-60 °С , потребують наявності температурних компенсаторів, а апарати, в яких, температурний перепад менше вищезгаданого, мають жорстку конструкцію з нерухомою трубною решіткою. В подальшому будемо розглядати лише теплообмінники з нерухомою трубною решіткою. Вони, як правило, використовуються в тих випадках, коли нема необхідності в механічному очищенні міжтрубного простору. Тому, у трубний простір завжди подають рідину, яка при нагріванні може виділяти нерозчинний осад на стінках труб, а в міжтрубний простір подають чисту рідину або пару.

Кожухотрубні теплообмінники через простоту конструкції та надійність є на сьогоднішній день найпоширенішими апаратами серед рекуперативних теплообмінників, що використовуються у промисловості.

У промисловості теплообмінні апарати застосовують для нагрівання „ гарячим ” теплоносієм „ холодного ” та охолодження або нагрівання різних речовин до заданих параметрів. Гарячим теплоносієм прийнято називати робоче тіло, яке віддає теплоту, а холодним теплоносієм – речовину, що сприймає цю теплоту. В якості гарячого теплоносія (у відповідності до умови завдання) було обрано пари бензолу, а в якості холодного - технічна вода.

Принцип роботи теплообмінника дуже простий і зрозумілий: у апараті один із теплоносіїв рухається трубами (трубним простором), інший - у міжтрубному просторі. При цьому теплота від нагрітого теплоносія через поверхню стінок труб передається менш нагрітому теплоносія. Найчастіше передбачено протилежний напрямок руху теплоносіїв, що сприяє найбільш ефективному теплообміну.

2.3 Конструктивні розрахунки

Отримавши вхідні дані, які вказані у завданні дізнаємося наступні дані - витрата парів метанолу 5260 кг/год під атмосферним тиском. Холодний теплоносій – вода технічна з початковою температурою 18 °С. Починаємо розрахунок.

Як і розрахунок будь-якого теплообмінника ми починаємо з визначення температурного режиму в апараті. Температурна схема процесу в разі протитечії:

гарячий теплоносій (метанол) 64,7 → 46,7;

холодний теплоносій (вода технічна) 18 → 32

Середню різницю температур обчислюють як середньо-логарифмічну за залежністю [15]:

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{г}}/\Delta t_{\text{м}})} = \frac{46,7 - 32,7}{\ln(46,7/32,7)} = 39,3^{\circ}\text{C}$$

Теплофізичні властивості теплоносіїв. Подальше технологічне розрахунок теплообмінника неможливе без визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв, а саме: теплоємності, динамічної в'язкості, густини і теплопровідності.

Тоді для метанолу за середньої температури 64,7 °С визначають [14]:

- густину $\rho_{\text{г}} = 752 \text{ кг/м}^3$
- динамічну в'язкість $\mu_{\text{г}} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_r = 0,204 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
- питома теплоємність $c_r = 3058 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
- критерій Прандля
- $Pr_r = \frac{c_r \cdot \mu_r}{\lambda_r} = \frac{3058 \cdot 0,34 \cdot 10^{-3}}{0,204} = 5,096$

Значення густини , динамічної в'язкості , теплопровідності і теплоємності для деяких рідин залежно від температури наведені в таблицях [14]:

Тоді для води за середньої температури визначають:

- густину $\rho_x = 995 \text{ кг}/\text{м}^3$
- динамічну в'язкість $\mu_x = 0,828 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_x = 0,617 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
- питома теплоємність $c_x = 4184 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
- критерій Прандля

$$Pr_x = \frac{c_x \cdot \mu_x}{\lambda_x} = \frac{4184 \cdot 0,828 \cdot 10^{-3}}{0,617} = 5,61$$

Для визначення теплофізичних властивостей газів, парів та рідин можна також скористатися номограмами.

Теплове навантаження апарата обчислюють за рівнянням [15]:

$$Q = G \cdot r = 1,46 \cdot 1102000 = 1608920 \approx 1609000 \text{ Вт}$$

де r – питома теплота конденсації для метанолу ($r = 1102000 \text{ Дж}/\text{кг}$)

За таблицею з довідника обираємо орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі: $K_{op} = 500 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$

Тепер можемо визначити орієнтовну площу теплообміну апарата [15]:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{1609000}{500 \cdot 39,7} \approx 73,7 \text{ м}^2$$

Згідно з орієнтовної площі за таблицями з довідника обираємо теплообмінник з найближчим більшим значенням [15]:

Обираємо 2 – ходовий теплообмінник, з площею теплообміну $F = 75\text{м}^2$, діаметром $D = 600$ мм, кількістю труб $N = 240$ шт., довжиною труб $L = 4$ м, та прохідним перерізом одного ходу по трубах $f_{тр} = 0,042\text{м}^2$

Тепер можемо провести більш уточнений розрахунок.

Теплове навантаження: $q = Q/F = 1609000/75 = 21453$ Вт/м²

Витрата конденсату : $\Gamma = qH/F = 21453 \cdot 4 / 1102000 = 7.79 \cdot 10^{-2}$ кг/м·с

Визначаємо критерій Re:

$$Re_x = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_x} = \frac{4 \cdot 7,79 \cdot 10^{-2}}{0,34 \cdot 10^{-3}} = 916$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі гарячого теплоносія[14]:

$$\alpha_{\text{конд}} = 0,756 \cdot Re^{-0.22} \cdot \lambda_x \cdot \left(\frac{\mu_x^2}{\rho_x \cdot (\rho_x - \rho_{\Gamma}) g} \right)^{-0.33}$$

$$\alpha_{\text{конд}} = 0,756 \cdot 916^{-0.22} \cdot 0.204 \cdot \left(\frac{(0,34 \cdot 10^{-3})^2}{752 \cdot (752 - 1,16) \cdot 9,81} \right)^{-0.32}$$

$$= 1125 \text{Вт/м}^2\text{К}$$

Масова витрата води $G_B = Q/c_B (t_{\text{вк}} - t_{\text{вн}}) = 1609000 / 4190 \cdot (32 - 18) = 27,4$ кг/с

Об'ємна витрата води $V_B = G_B / \rho_B = 27,4 / 996 = 27,5 \cdot 10^{-3}$ м³/с

Швидкість води в трубах: $w_B = V_B / f_{\text{тр}} = 27,5 \cdot 10^{-3} / 0,042 = 0.66$ м/с

$$Re_B = \frac{\omega_B \cdot d_B \cdot \rho_B}{\mu_B} = \frac{0,66 \cdot 0,021 \cdot 996}{0,92 \cdot 10^{-3}} = 14900$$

Приймаючи $(Pr_B / Pr_{\text{ст}}) = 1$, будемо мати:

$$Nu_B = \frac{(f/8) Re_B Pr_B}{1 + 12,7 \cdot (f/8)^{0.5} \cdot (Pr^{0.66} / 1)} \cdot \left(\frac{Pr_B}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,11}$$

$$Nu_B = \frac{(0,028/8) \cdot 14900 \cdot 6,22}{1 + 12,7 \cdot (0,028/8)^{0,5} \cdot (6,22^{0,66} - 1)} \cdot 1^{0,11} = 117,6$$

$$\partial e f = (1,82 \cdot \lg Re_B - 1,64)^{-2} = (1,82 \cdot \lg 14900 - 1,64)^{-2} = 0,028$$

$$Pr_B = 6,22$$

Тепер можемо дізнатися значення коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія:

$$\alpha_B = \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{d_B} = \frac{117,6 \cdot 0,6}{0,021} = 3360 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Термічний супротив стінки зі сталі 20:

$$\delta_{ст}/\lambda_{ст} = 0,002/50 = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

Термічний супротив забруднень з боку пари $R_M = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К/Вт}$,

з боку води $R_B = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_{контд}} + R_M + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + R_B + \frac{1}{\alpha_B} \right)$$

$$K = \frac{1}{1/1125 + 0,5 \cdot 10^{-4} + 0,4 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4} + 1/3360} = 595 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначається розрахункова поверхня теплообміну із основного рівняння теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{1609000}{595 \cdot 39,7} \approx 67,5 \text{ м}^2$$

Тепер визначаємо запас поверхні за формулою [14]:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} = \frac{75 - 67,5}{75} = 0,11$$

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

Запас поверхні вибраного теплообмінника повинен бути у межах $0,1 \leq \Delta \leq 0,2$, при цьому можна варіювати тільки довжиною трубчатки апарата.

Оскільки лімітуючим значенням є коефіцієнт тепловіддачі гарячого теплоносія, то зміна прохідного перерізу одного ходу по трубах суттєво не вплинуть на кінцеве значення коефіцієнта теплопередачі, а отже перерахунок проводити не потрібно.

2.4 Розрахунок діаметра штуцерів

Розрахунок штуцерів [16]:

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

Де G – масова витрата теплоносія, кг/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

ω – швидкість руху теплоносія, м/с.

Для визначення діаметру штуцера спочатку розрахуємо густину метанолу в пароподібному стані:

$$\rho = \frac{32}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 64,7} = 1,16 \text{ кг/м}^3$$

Тоді діаметр вхідного штуцера для метанолу

$$d = \sqrt{\frac{1,46}{0,785 \cdot 20 \cdot 1,16}} = 0,283 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 300 мм.[16]

Діаметр вихідного штуцера для метанолу:

$$d = \sqrt{\frac{1,46}{0,785 \cdot 2 \cdot 764}} = 0,035 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 40 мм.[16]

Діаметр штуцера для води:

$$d = \sqrt{\frac{27,4}{0,785 \cdot 2 \cdot 995}} = 0,132\text{м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 150 мм.[16]

2.5 Гідравлічний опір апарату

Повний гідравлічний опір ΔP , Па, по трубному простору теплообмінного апарату:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \left(\frac{n \cdot l_{\text{тр}}}{d_e} + \sum \xi_{\text{мс}} \right) \cdot \frac{\rho_{\text{в}} \cdot w_{\text{в}}}{2}$$

де $\xi_{\text{м}}$ - коефіцієнти місцевих опорів

$\xi_1 = 1,5$ вхідний і вихідний камери;

$\xi_2 = 1$ вхід в труби і вихід з них;

$\xi_3 = 2,5$ поворот на 180° між ходами згідно [17].

Формулу для визначення коефіцієнту тертя визначаємо за режимом течії за числом Re :

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot e^{0,25}$$

Відносна шорсткість e представляє собою відношення середньої висоти виступів на поверхні Δ до діаметра каналу:

$$e = \Delta / d_e$$

Значення абсолютної шорсткості труб обираємо з таблиці: $\Delta = 0,8\text{мм}$

Тоді $e = 0,8 / 0,021 = 3,8 \cdot 10^{-2}$, а $\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot (3,8 \cdot 10^{-2})^{0,25} = 0,049$

А повний гідравлічний опір дорівнює:

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,049 \left(\frac{4 \cdot 2}{0,021} + 2 \cdot 1,5 + 1 \right) \cdot \frac{0,66^2 \cdot 996}{2} = 4092 \text{ Па}$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір холодильника 7 (див. схему – рис 1.1). Опираючись на технологічну схему, розуміємо, що одна частина метанолу, який сконденсувався у вигляді флегми потрапляє у колону, а інша частина надходить у холодильник для додаткового охолодження.

Приймаємо те, що метанол охолоджуватиметься від температури 64,7°C до температури 20°C.

Отже, рівняння теплового навантаження холодильника буде мати наступний вигляд:

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

де c_x – питома теплоємність метанолу, $c_x = 2,775 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ [14]

Для розрахунку приймаємо наступне – 2/3 дистилляту повертається в ректифікаційну колону для зрошення її верхньої частини і відповідно, що на охолодження в холодильник надходить $1/3 \cdot 5260 = 1753,3 \text{ кг/год}$.

$$Q_x = \frac{1753,3}{3600} \cdot 2,775 \cdot 44,7 = 60,4 \text{ кВт}$$

Розрахункова поверхня теплопередачі холодильника:

$$F_p = \frac{Q_x}{K \cdot \Delta t}$$

де K – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі холодильників, $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ [14];

Δt – різниця між температурами конденсації метанолу (64,7°C) і охолоджуючої води із градирні

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

$$\Delta t = \frac{49,7 - 13}{\ln(49,7/13)} = 27,4$$

Звідси

$$F_p = \frac{60,4 \cdot 10^3}{60 \cdot 27,4} = 36,74 \text{ м}^2$$

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

Розуміючи те, що охолоджену метанолу потрібно десь зберігатися проведемо *розрахунок збірника рідкого метанолу 8* (див. *схему – рис 1.1*).

Одразу за пишемо для розрахунку наступні вхідні дані: розрахунок буде проводитись виходячи з годинного резерву робочого часу, що дорівнюватиме $\tau = 6 - 8 \text{ год}$, а коефіцієнт заповнення будемо приймати в межах $\psi = 0,8 - 0,85$.

В першу чергу визначаємо розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\epsilon} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}$$

де G – загальна витрата конденсату, $G = 1753,3 \text{ кг/год.}$;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 8 \text{ год.}$;

ρ – густина метанолу при температурі 20°C , $\rho = 792 \text{ кг/м}^3$.

ψ - коефіцієнт заповнення, приймаємо $\psi = 0,8$

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

$$V_{\epsilon} = \frac{1753,3 \cdot 8}{0,8 \cdot 792} = 22,2 \text{ м}^2$$

Для подальшого розрахунку приймаємо діаметр ємності рівним $D = 3\text{ м}$.
Тепер можемо розрахувати висоту цієї ємності:

$$H = \frac{V_{\epsilon}}{0,785 \cdot D^2} \quad H = \frac{22,2}{0,785 \cdot 3^2} = 3,2 \text{ м}$$

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційного матеріалу

Так як обирання матеріалу для теплообмінного апарату в тому числі для кожухотрубного конденсатора є чи не найважливішою частиною розробки апарату, адже його параметри стійкості до корозії та теплопровідність та інші його властивості диктують майбутню конструкцію апарату. І хоча можна обрати з переліку багатьох речовин, таких як різноманітні сталі, мідь, титан, тантал і звісно це стосується і неметалічних матеріалів як графіт чи тефлон обирати конструктивний матеріал потрібно для власних потреб враховуючи особливості на підставі [14,17,5].

Також слід враховувати:

- механічні властивості матеріалу
- межа міцності, відносне подовження, твердість і т. п. ;
- технологічність у виготовленні (зокрема, зварюваність);
- хімічну стійкість проти роз’їдання;
- теплопровідність.

Так як в апараті здійснюється застосування матеріалів, які мають схильність до корозії металів, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T ДСТУ ISO 1127:2013 [6].

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						31
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256° С до + 525° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре обробляється усіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

C,%	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S,%	P,%	E·10 ⁵ МПа	σ, МПа	σ, МПа	δ, %
0,12	2	0,8	17- 18	2- 11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

Сталь 12Х18Н10Т добре зварюється усіма видами ручного і автоматичного зварювання. Для звичайного автоматичного зварювання під флюсами АН-26, АН-18 і аргонодугового зварювання використовують дріт Св-08Х19Н10Б, Св-04Х22Н10БТ, Св-05Х20Н9ФБС і Св-06Х21Н7БТ, а для ручної – електроди типу ЕА-1Ф2 марок ГЛ-2

Для захисту зовнішніх поверхонь апарату від впливу навколишнього середовища використовуємо покриття - Емаль ПФ8 жаростійка, яка наноситься розпиленням по ґрунту для жаростійких і атмосферостійких покриттів. Дане покриття стійке при тривалому впливі температури до 150° С.

Сталь 20 ДСТУ 7809-2015.Замінники Сталь 15, Сталь 25.

Сталь 20 – нелегована якісна сталь, яка застосовується для виготовлення металоконструкцій і виробів, що функціонують при температурі від -40 до 450°С. Гарячекатаний і кований сортовий прокат зі сталі 20 випускається

відповідно до вимог стандарту ДСТУ 7809 і ГОСТ 1050. Спираючись на ДСТУ 7809 в таблиці 1.2 вказано хімічний склад сталі 20.[6]

Таблиця 1.2 Хімічний склад сталі 20

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,30	≤0,30

Сталь 20 застосовується в будівництві, машинобудуванні, виробництві котлів та посудів, виготовленні нагрівальних елементів різного призначення. Нелегована конструкційна якісна сталь 20 у вигляді листового та сортового прокату використовується для виготовлення елементів зварних конструкцій, трубопроводів, колекторів, вкладишів підшипників, строп і іншої продукції.

Вали, шестерні, черв'яки, фрикційні диски, осі, шпинделі, пальці, зірочки, шпильки та інші вироби зі сталі 20 після хіміко-термічної обробки (цементация, азотування, нітроцементация та ін.) набувають високої поверхневої твердості та зносостійкості при невисокій міцності серцевини.

В міжнародній практиці також мають аналоги сталі 20 та її замінників. Всі вони вказані в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 Міжнародні аналоги сталі 20

США	1020, 1023, 1024, G10200, G10230, H10200, M1020, M1023
Японія	S20C, S20CK, S22C, STB410, STKM12A, STKM12A-S, STKM13B, STKM13B-W
Євросоюз	1.1151, 2C22, C20E2C, C22, C22E

Китай	20, 20G, 20R, 20Z
Швеція	1450
Австралія	1020, M1020
Швейцарія	Сk22
Південна Корея	SM20С, SM20СК, SM22С

Зварювання відбувається без обмежень, крім деталей після хіміко-термічної обробки. Способи зварювання стандартні: РДЗ, АДЗ, зварювання під флюсом і газовим захистом, КТЗ.

Основні фізико-механічні властивості:

- модуль пружності $E = 200000$ МПа
- модуль зсуву $G = 74000$ МПа
- щільність $\rho = 7850$ Кг / м³
- межа міцності σ_B - не менше 420 МПа
- межа плинності σ_T - не менше 250 МПа
- відносне звуження $\psi = 40$ %
- відносне подовження $\delta = 16$ %
- твердість по Бринеллю - 156 НВ
- твердість по Роквеллу (поверхнева) - 60 HRC

3.2 Розрахунки апарату на міцність

Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарата

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при $t = 65^\circ\text{C}$

$$\phi = 176 \text{ МПа.}$$

Тиск метанолу в між трубному просторі

$$p = 1 \text{ атм} = 0,1 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 176 = 176 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при дозволяється за напрузі:

$$[\sigma]_{\text{п}} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа,}$$

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{\text{п}}}{[\sigma]}$$

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{218}{176} = 0,16 \text{ МПа.}$$

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 3.1

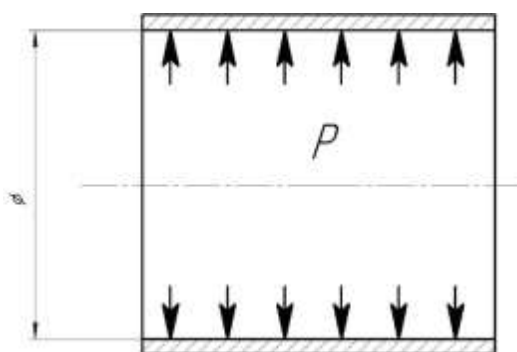


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - p}$$

$$s_p = \frac{0,1 \cdot 600}{2 \cdot 0,9 \cdot 176 - 0,1} = 0,19 \text{ мм.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха для умов гідравлічних випробувань:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - p}$$

$$s_p = \frac{0,16 \cdot 600}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,16} = 0,245 \text{ мм.}$$

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

$$s = s_p + c = 0,245 + 2 = 2,245 \text{ мм.}$$

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

Розрахунок товщини стінки еліптичної кришки

Розрахункова схема днища приведена на рисунку 3.2

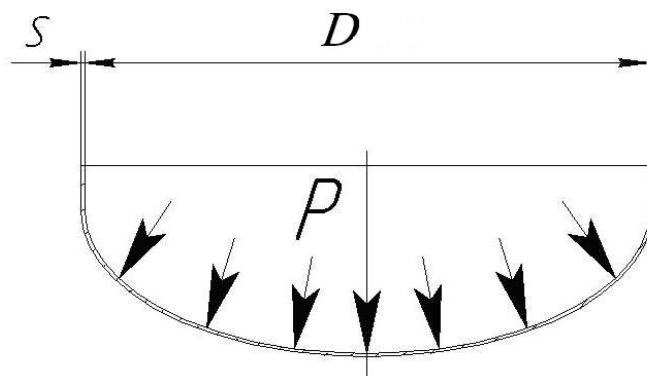


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема днища еліптичного

Тиск пара під кришкою

$$p_{II} = 1 \text{ ата} = 0,1 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{\Pi} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{\Pi} - 0,5 \cdot p_{\Pi}}$$

$$s_p = \frac{0,16 \cdot 600}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,16} = 0,245 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 0,245 + 2,0 = 2,245 \text{ мм.}$$

Приймаємо $s_{кр} = 4,0$ мм.

3.3 Розрахунок і вибір опори

Горизонтальні апарати незалежно від їх розміщення в приміщенні або на відкритому майданчику встановлюють на двох або більше сідлових опорах, одна з яких нерухома, інші – рухомі (ковзні). Опори виготовляються відповідно до галузевого стандарту України [19].

Як основну розрахункову схему (рисунок 3.3) для визначення опорних зусиль, згинальних моментів і поперечних сил приймають балку кільцевого перерізу, яка шарнірно спирається на сідлові опори.

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

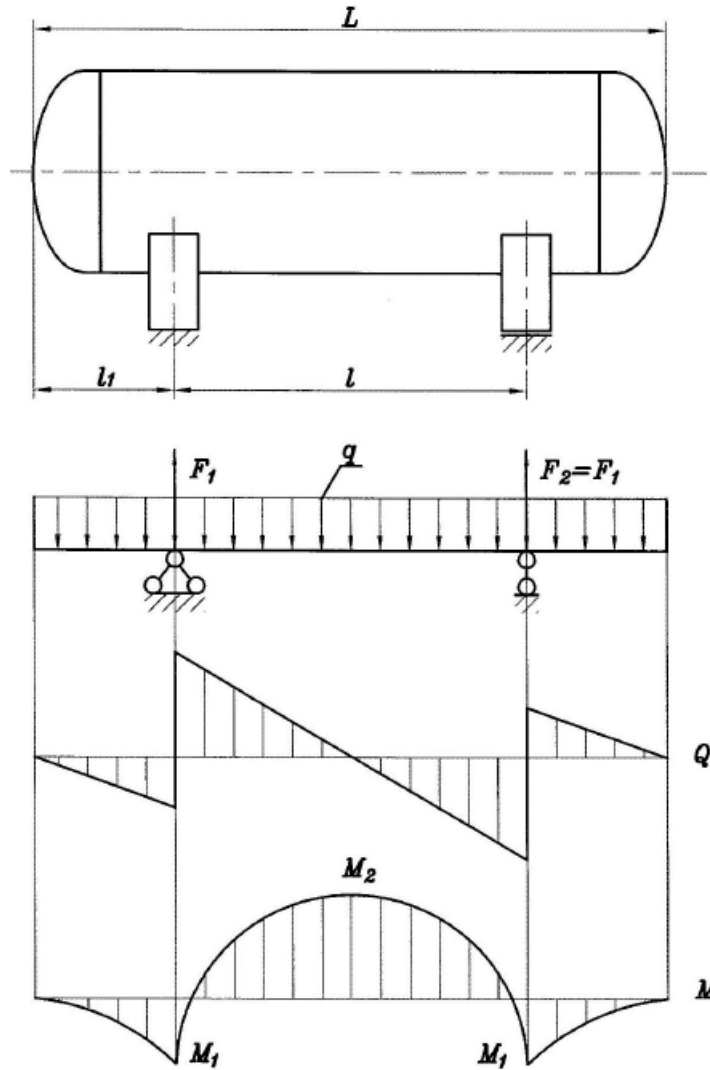


Рисунок 3.3 Схема навантажень на апарат

Маса обичайки кожуха

$$m_{\text{к}} = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho$$

$$m_{\text{к}} = \left[\frac{3,14 \cdot (0,6 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \right] \cdot 4 \cdot 7860 = 238,5 \text{ кг,}$$

де $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$ - щільність сталі.

Маса кришки і днища

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

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,6^2 \cdot 0,004 \cdot 7860 = 14,04 \text{ кг.}$$

маса труб

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

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,02^2 - 0,021^2) \cdot 4 \cdot 240 \cdot 7860 = 242,9 \text{ кг,}$$

Маса фланця з ґратами

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

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,56^2}{4} \cdot 0,03 \cdot 7860 = 5,8 \text{ кг,}$$

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

Обсяг між трубного простору

$$V_M = f_{мтр} \cdot l$$

$$V_M = 0,042 \cdot 4 = 0,168 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\phi = 0,9$

$$m_T = V_M \cdot \rho_T \cdot \phi$$

$$m_T = 0,168 \cdot 756 \cdot 0,9 = 114,3 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані

$$G = g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{кр} + m_{тр} + 2 \cdot m_{\phi} + m_T)$$

$$G = 9,81 \cdot (238,5 + 2 \cdot 14,04 + 242,9 + 2 \cdot 5,8 + 114,3) = 6233,1 \text{ Н} = 6,23 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору

					<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>		39

$$Q = \frac{G}{n}$$

$$Q = \frac{6.23}{2} = 3,115 \text{ кН.}$$

Вибираємо опору з допустимим навантаженням $Q = 5 \text{ кН.}$

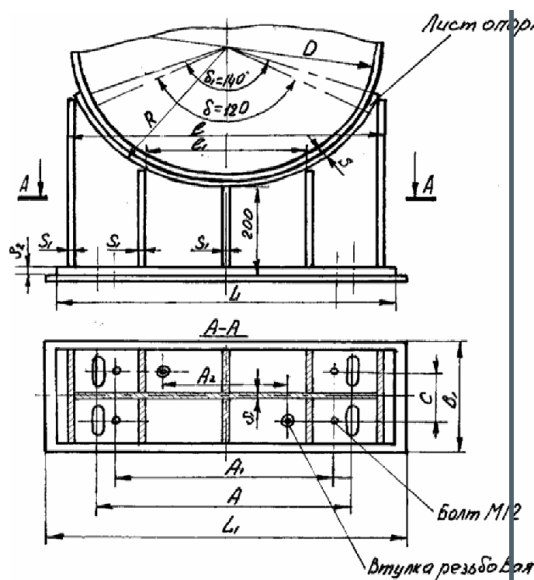


Рисунок 3.4 - Опора сідлова

Вибираємо сідлову опору типу 1 з допустимим навантаженням $Q = 5 \text{ кН.}$ Позначення опори: Опора 5 - 400 - 1 ОСТ 26 - 1265 - 75. (рис 3.4)

В свою чергу опора кріпиться до фундаменту болтами.

Ковзання рухомої опори від температурних розширень апарата слід здійснювати по підкладному листу, яким комплектується рухома опора або по металоконструкції. Опорний лист повинен приварюватися до апарата переривчастим швом по периметру. Величину катета зварного шва слід приймати рівною меншій із товщин з'єднання "корпус-опорний лист". Допускається приварення опори до апарата без опорного листа при однорідних матеріалах корпусу і опори. [16]

Матеріал опорного листа повинен задовольняти вимогам, що пред'являються до матеріалу корпусу апарата. Приварювання ребер опори до апарата і опорного листа слід проводити одностороннім суцільним швом.

					Лист
					40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

В опорах типів 2 і 3 при масі порожнього апарата до 16400 кг повинні бути передбачені втулки нарізні під регулювальні гвинти, які застосовуються з метою установа апарата у горизонтальному положенні. Вузол регулювального гвинта наведений на рисунку 3.5. Після вивірення посудини (апарата) на фундаменті та затвердіння бетонної підливки, регулювальні гвинти, а також болти М16, що служать для кріплення підкладного листа до рухомої опори, повинні бути видалені.

Нарізні отвори заповнюються антикорозійною мастикою. Гайки і контргайки фундаментних болтів не повинні затягуватися. Між гайкою і шайбою повинен залишатися зазор 1-2 мм.

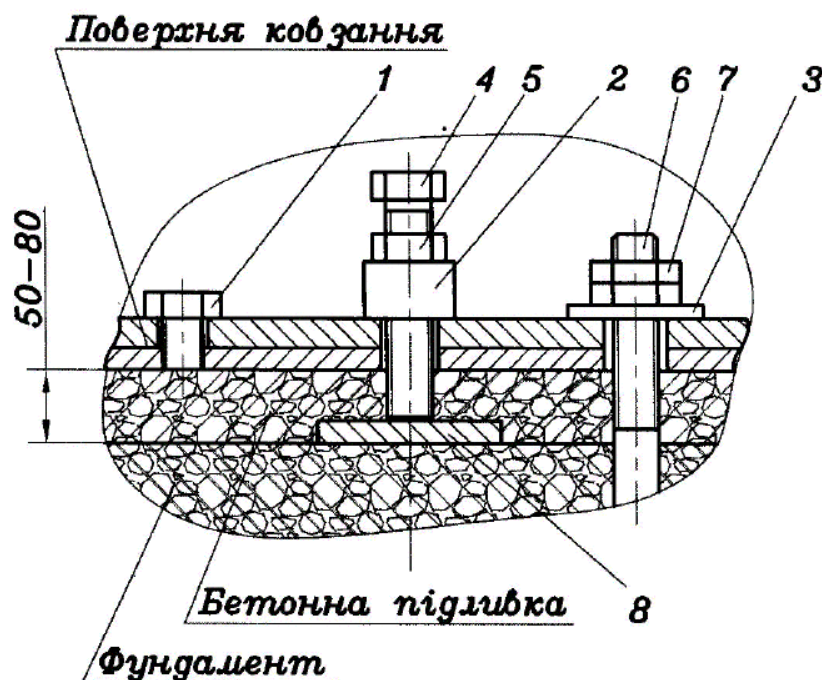


Рисунок 3.5 Кріплення опори: 1 – болт М16; 2 – втулка нарізна; 3 – шайба; 4 – гвинт регулювальний; 5 – гайка; 6 – болт фундаментний М24; 7 – гайка М24; 8 – пластина опорна

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування вибору варіанту компоновання обладнання

При розгляді варіантів компоновання основного технологічного обладнання установки важливо враховувати специфіку процесу та вимоги до

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист 41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

умов експлуатації. Компонування обладнання може бути трьох типів: відкритим, закритим та змішаним, кожен з яких має свої переваги та недоліки, що слід враховувати при виборі оптимального рішення.

Відкрите компонування (рис. 4.1) передбачає розміщення технологічного обладнання на відкритому майданчику або в умовах часткового захисту від впливу зовнішнього середовища.



Рисунок 4.1 – Повністю відкритий варіант компонування промислового обладнання, де всі установки розташовані на відкритому майданчику

Таке компонування дозволяє легко обслуговувати установки, оскільки обладнання доступне для технічного огляду, ремонту та заміни окремих вузлів. Відкрите компонування зазвичай є менш витратним, оскільки не потребує капітальних витрат на будівництво закритих приміщень. Однак цей варіант менш захищений від впливу кліматичних умов (дощ, сніг, вітер, температура тощо), що може негативно вплинути на експлуатацію

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

обладнання. Це може призвести до додаткових витрат на захисні покриття або додаткову ізоляцію.

Закрите компонування (рис. 4.2) передбачає розміщення всього технологічного обладнання в закритих приміщеннях або будівлях.

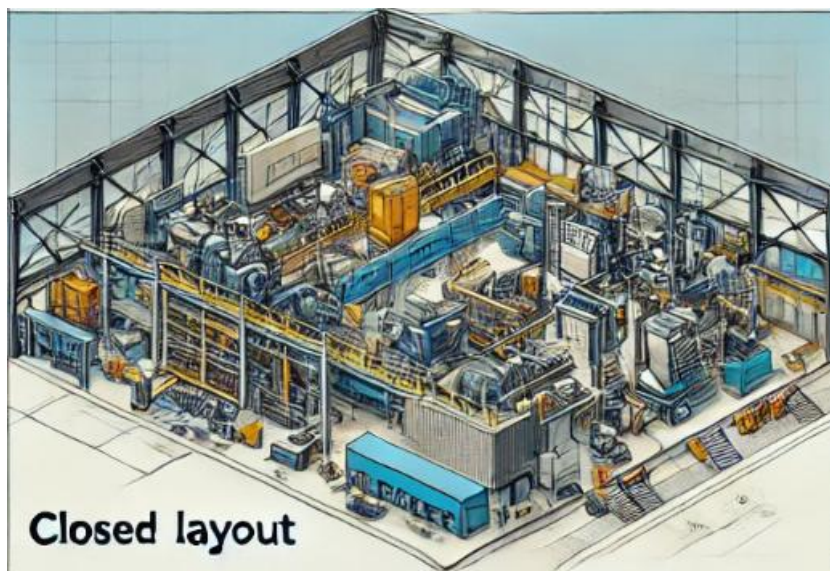


Рисунок 4.2 – Ілюстрований приклад закритого компонування виробництва (обладнання)

Такий варіант забезпечує захист обладнання від кліматичних факторів і створює більш стабільні умови для проведення процесів, що може бути критично важливим для технологій, чутливих до температури та вологості. Закрите компонування полегшує дотримання норм безпеки та контролю за робочими параметрами (наприклад, температури та вологості в приміщенні). Проте, це компонування потребує значних капітальних витрат на будівництво приміщень і забезпечення вентиляції та захисту від вибухонебезпечних ситуацій (рис. 4.3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 4.3 – Закрите компонування обладнання (вигляд зсередини)

Змішане компонування (рис. 4.4) є компромісним варіантом, що поєднує елементи відкритого та закритого розміщення обладнання.

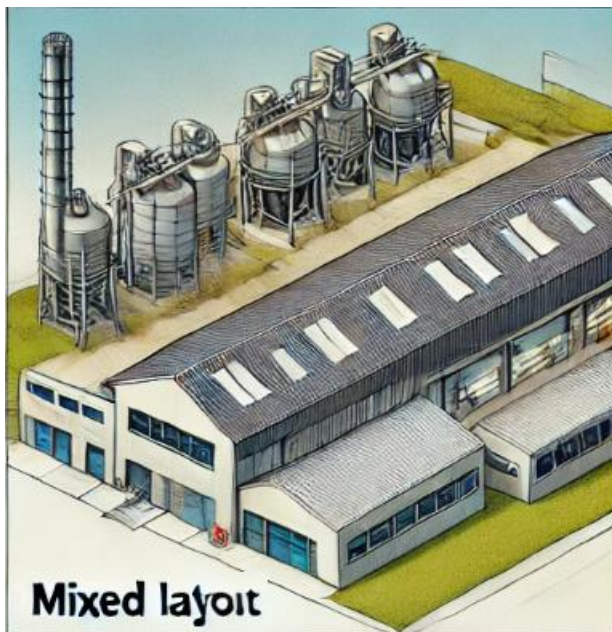


Рисунок 4.4 – Ілюстрований приклад змішаного компонування виробництва (обладнання)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Наприклад, найбільш чутливі вузли можуть розміщуватись у закритих приміщеннях, тоді як частина обладнання може бути встановлена на відкритому майданчику. Це дозволяє зменшити капітальні витрати та одночасно забезпечити необхідний рівень захисту для критичних частин установки. Змішане компонування може бути оптимальним для комплексних виробництв, де потрібно поєднувати легкість доступу до обладнання та захист від зовнішніх факторів (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Змішане компонування обладнання

Загалом, вибір між відкритим, закритим та змішаним компонуванням тісно пов'язаний з майбутньою адаптацією виробничих процесів до змін у технології або ринку. Наприклад, із розвитком нових технологій або зміною регулюючих вимог може виникнути потреба в модернізації обладнання чи додаванні нових компонентів до існуючої системи. У цьому контексті змішане компонування може виявитися найбільш гнучким, оскільки воно дозволяє легше інтегрувати нові елементи, ніж повністю закрита система, де простір і

					<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>			45

доступність є обмеженими. Це особливо актуально для високотехнологічних виробництв, де процеси постійно змінюються та вдосконалюються.

Крім того, змішане компонування дає можливість розумного використання простору на промисловому майданчику, що може бути важливо у випадках обмеженої території. Наприклад, розміщення частини обладнання в закритих приміщеннях забезпечує контроль за критичними процесами, тоді як резервуари, теплообмінники чи насосні станції можуть бути розташовані на відкритому майданчику, звільняючи таким чином місце для інших цілей. Такий підхід дозволяє максимізувати ефективність використання наявних ресурсів і оптимізувати логістику всередині виробничого процесу.

Екологічний аспект також відіграє важливу роль у виборі компонування. У сучасному світі все більше уваги приділяється впливу промислових підприємств на навколишнє середовище, і це впливає на вибір способу розміщення обладнання. Закрите компонування може бути переважним варіантом у разі, коли необхідно зменшити викиди в атмосферу, зберегти тепло та зменшити шумовий вплив на навколишні території. З іншого боку, відкриті системи можуть використовуватися для процесів, які не створюють значних забруднень і для яких важливе природне охолодження повітря, що знижує витрати на штучне охолодження та вентиляцію.

Вибір способу компонування також має враховувати питання збереження робочих умов та безпеки працівників. У випадку обробки речовин із підвищеною небезпекою для здоров'я людини, наприклад, летючих органічних сполук, закрите компонування надає можливість ізолювати працівників від небезпечних середовищ, створивши бар'єр між обладнанням і робочою зоною. Але таке рішення потребує ретельного проектування та моніторингу стану обладнання, щоб уникнути потенційних аварійних ситуацій, таких як вибухи або витік газу.

Зрештою, вибір оптимального компонування залежить від збалансованого підходу до економічних, екологічних, технічних та безпекових

					<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>		46

вимог, які пред'являє конкретний виробничий процес. Це рішення повинно враховувати не лише поточні потреби, але й перспективу розвитку підприємства, можливість модернізації та адаптації до майбутніх змін. Такий комплексний підхід до вибору компонування дозволяє забезпечити стабільність та конкурентоспроможність підприємства у довгостроковій перспективі, створюючи гнучку систему, здатну відповідати на виклики часу.

4.2 Проведення монтажних робіт

Підготовчі роботи

Монтажні роботи проводяться за допомогою різноманітного оснащення причому більша його частина потрібна для проведення дій які спрямовані на підняття і транспортування кожухотрубного конденсатору.

Під час транспортування кожухотрубного конденсатору використовуються різноманітні канати, троси та кабеля.

Тросами називають канати подвійного плетення. В той час як кабелями називають канати потрійного плетення. Трос складається з пасів, що переплітається з окремих дротів.

Сталеві канати при такелажі кожухотрубного конденсатору працюють під навантаженням, наприклад зазвичай вони працюють на розтягування, але якщо разом з канатом застосувати ролики, що до речі дає вигравш в силі що потрібна для підняття апарату, або коли канат огинає апарат то в цьому місці канат працює на вигин.

Залежно від схеми за якою проводиться такелаж кожухотрубного конденсатору різняться зусилля що діють на канат. К.к.д залежно від схеми доволі різняться і враховує в себе к.к.д нерухомих і відповідальних блоків. Також якщо використовується ролик насаджений на підшипник ковзання то к.к.д =0,96, а якщо ролик насаджений на підшипник кочення то к.к.д =0,98.

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

Також потрібно враховувати що збільшення блоків хоч і дає виграш в сила але підвищує навантаження на канат.

Також при такелажі використовуються тонкі сталеві стрічки, що є заміниками канатів. Стрічки більш прості та дешеві в виготовленні, їх змащення менш трудомісткий процес, і їх використання значно зменшує габарити блоків, а також їх перевагою є можливість покриття їх фторопластом.

Для такелажу таких вантажів як теплообмінники використовуються стропа що зазвичай виготовляються зі сталевих канатів, але також бувають стропа зі сталевих ланцюгів або конопляних канатів але значно рідше.

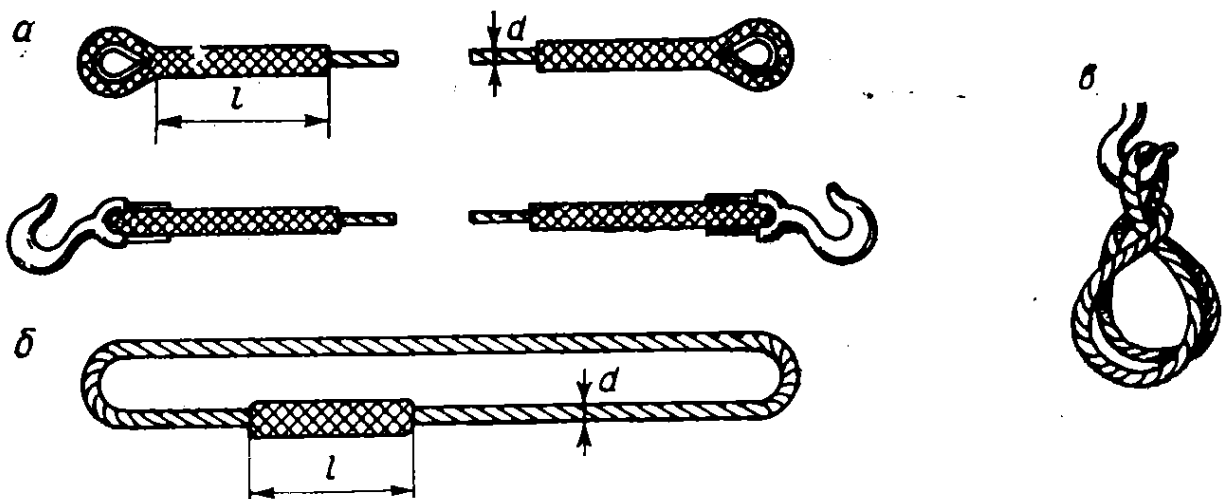


Рисунок 4.6 види стропів: а - полегшений; б - універсальний; в - стропування універсальним стропом.

На рисунку 4.6 можна побачити різноманітність видів стропів, все ж таки найбільшого поширення з стропів набули полегшені та універсальні стропа. Конструктивно полегшений строп складається зі сталевих канатів та петлі, що оберігає канат від стирання. В той час як конструктивно універсальний строп виготовлений в вигляді замкнутої петлі, що має довжину від п'яти до п'ятнадцяти метрів. Стропа montуються до канатів за рахунок

обтискання кінців канату за використання домкрату обтискними гільзами з різних матеріалів. [7]

Монтаж розробленого апарата [21]

Серед обладнання, що застосовується на хімічних і нафтопереробних заводах, теплообмінники складають найбільш численну групу. Вони розрізняються за конструкцією, матеріальним оформленням, просторовим розташуванням, зумовленим вимогами технологічного процесу. Найбільше застосування знайшли стандартизовані кожухотрубчасті теплообмінники (ОСТ 26-291-79). Поширені також теплообмінники типу труба трубі різного конструктивного оформлення, у тому числі стандартизовані (ОСТ 26-2033-80). Останнім часом широко впроваджуються високоефективні пластинчасті теплообмінники, а для агресивних середовищ - графітові теплообмінники.

Способи монтажу та ремонту перерахованих теплообмінників різні та визначаються їх конструкцією, розташуванням у просторі та по відношенню до інших апаратів технологічної установки, а також умовами експлуатації.

Кожухотрубчасті теплообмінники. Ці апарати складаються з циліндричного кожуха і вміщеного в ньому пучка труб, тому, незважаючи на конструктивну різноманітність, монтаж таких теплообмінників залежить лише від їхньої маси, розмірів та просторового розташування.

Маса і розміри кожухотрубчастих теплообмінників, що випускаються в даний час, дозволяють транспортувати їх до місця монтажу в зібраному повністю на заводі - виробнику вигляді. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомашини, сани та ін.

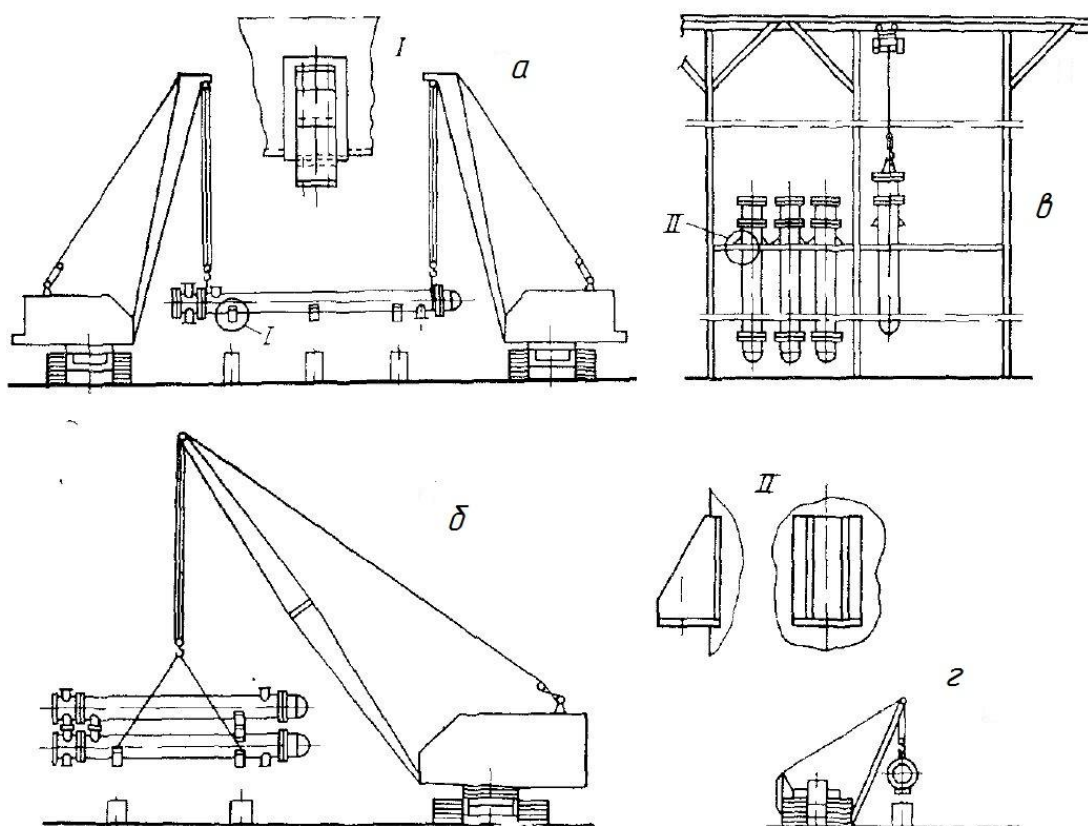
Теплообмінники встановлюють горизонтально або вертикально на різних відмітках відповідно до проекту. Опорною конструкцією для них можуть служити фундаменти у вигляді двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні) і

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

балки висотних металоконструкцій (при вертикальному розташуванні та горизонтальному розташуванні на великих висотах).

До корпусу апарату приварюють дві опори (рис. 4.7 а), відстань між якими відповідає нормаліям. Для встановлення теплообмінника на вже існуючий фундамент відстань між опорами можна змінювати в невеликих межах. Між корпусом і опорами апарата повинні поміщатися підкладки з листової сталі, що запобігають вм'ятинам на корпусі. До корпусу вертикально розташованих теплообмінників замість опор приварюють лапи з ребрами жорсткості (рис. 4.7, б).

В більшій кількості випадків теплообмінники встановлюють в проектне положення за допомогою самохідних кранів.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

50

Рисунок 4.7 Способи монтажу теплообмінних апаратів

а – за допомогою двох кранів; б – блока теплообмінників одним краном;
в – вертикальних теплообмінників моно балкою; г – трубоукладальником;
вузол I - опора горизонтальних теплообмінників; вузол II – опора
вертикальних теплообмінників

Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується встановлення теплообмінників за допомогою двох кранів, які працюють узгоджено. На рис. 4.7 наведено схеми підйому та встановлення теплообмінників при різному їх розташуванні.

Теплообмінники, розміщені в два яруси і більше, доцільно піднімати великими блоками з кількох апаратів після взаємної трубопровідної обв'язки, якщо це дозволяють підйомні засоби. Для стикування однотипних теплообмінників та уніфікації їх трубопровідної обв'язки суворо витримують при виготовленні настановні розміри штуцерів на корпусі та на розподільчій камері. При підйомі блок обв'язаних теплообмінників укладають у жорсткий решітчастий контейнер, за який і роблять стропування.

До трубопровідної обв'язки приступають після остаточної перевірки положення корпусу та закріплення болтів, що з'єднують його опори або лапи з постаментом. Положення теплообмінника вивіряють рівнем або схилом, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки.

При горизонтальному розташуванні теплообмінників температурні деформації корпусу між опорами можуть досягати кількох міліметрів, тому одна з опор має бути рухомою. Нерухливу опору, що зазвичай встановлюється з боку нерухої трубної решітки, закріплюють намертво; гайки болтів рухої опори, що має овальні вирізи, не затягують на 1-1,5 мм, але фіксують контргайками. Зазор між болтами та овальними вирізами має бути розташований у бік можливого подовження теплообмінника. Поверхні ковзання захищають так, щоб унеможливити затискання.

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

Теплообмінники, що монтуються, повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі - виготовлювачі, тому на монтажному майданчику їх окремо не опресовують, обмежуючись перевіркою загальної системи теплообміну разом з трубопровідною обв'язкою після завершення монтажних робіт. У тих випадках, коли відсутній акт заводського випробування або апарат тривалий час знаходився на складі або монтажному майданчику, перед монтажем теплообмінник піддають ревізії і, якщо в цьому є необхідність, ремонту.

4.3 Ревізія та ремонт [21]

Послідовність операцій при ревізії та ремонті теплообмінників приблизно однакова.

Промивання апарату. З трубного та міжтрубного простору через штуцера або спеціальні спускні муфти на кришках та корпусі видаляють вміст. Далі протягом часу, що визначається фізико-хімічними властивостями робочого середовища, їх промивають водою, потім пропарюють, для чого в трубопровідній обв'язці теплообмінників передбачається можливість підключення парової лінії, що надійно відглушується при роботі апаратів у робочому режимі. Промиванням і пропаркою досягають дві мети: підготовку апарату до розтину шляхом видалення вибухо - та пожежонебезпечних чи токсичних речовин та очищення поверхонь від відкладень. Слід мати на увазі, що промивання - єдиний можливий спосіб видалення відкладень із зовнішніх поверхонь труб і внутрішніх поверхонь корпусу. Тому промиванні міжтрубного простору теплообмінника необхідно приділяти особливу увагу.

Бажано промивати апарати гарячою водою, що підігрівається парою. На нафтопереробних установках практикують промивання апаратів сумішшю гарячої води та гасу. Гас розчиняє нафтопродукти, а кокс та інші механічні домішки відносяться потоком суміші. Ефективність такого промивання зростає, якщо одночасно трубний простір подавати пару. Для економії гасу та скорочення витрати тепла на підігрів відпрацьовану промивну суміш зливають у ємність, де вона відстоюється від бруду, а потім використовують знову (рис.

4.8). Як промивну рідину застосовують також підігріте до 100-120 °С солярове масло.

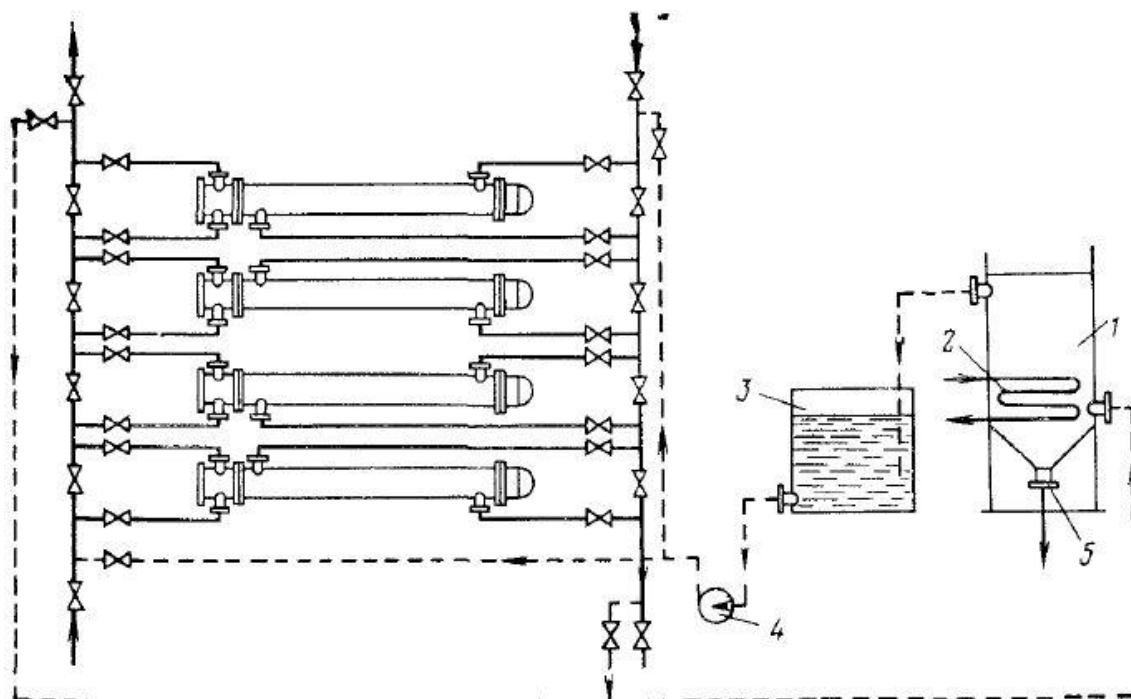


Рисунок 4.8 Схема хімічної чистки теплообмінників
1 – ємність для відстоювання промивної рідини; 2 – підігрівач; 3 – забірна ємність; 4 – насос; 5 – штуцер для вивантаження осаду

У тих випадках, коли відкладення на поверхнях погано розчиняються в гасі або солярській олії, застосовують кислотне очищення з використанням спеціальних інгібіторів, що запобігають інтенсивній корозії металу труб і корпусу. Зазвичай застосовують соляну кислоту у суміші з інгібітором «унікол». Тривалість промивки визначають на основі накопиченого досвіду для кожної групи теплообмінників залежно від фізико-хімічних властивостей відкладень.

Для великих груп теплообмінників доцільно мати стаціонарні промивні пристрої, що включають ємності для приготування та відстоювання промивної рідини, насоси та комунікації. Для невеликих теплообмінників, що не часто промиваються, практикується застосування пересувних установок, змонтованих на автомобільних або тракторних причепах.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

діаметра розвальцьованого кінця труби. Для нових з'єднань він повинен перевершувати вихідний діаметр 15-30% товщини труби.

Проте якщо теплообмінник перебуває в експлуатації, це може бути і наслідком зношування, а отже, не свідчить про фактичний стан з'єднання. Тому візуальний огляд та вимірювання можуть дозволити визначити цілісність та достатність товщини кінця труби, а щільність з'єднання можна встановити лише опресуванням.

Необхідно, щоб кінці труб виступали над поверхнею решітки на довжину, що дорівнює товщині труби, і були відбортовані. Дзвіночок (відбортована ділянка) кінця труби має бути цілим, без розривів і тріщин. Слід звертати увагу на ділянки переходу від розвальцьованої поверхні стінки труби до не розвальцьованої: вони мають бути плавними, без гострих підрізів стінок.

Стан зварного кріплення кінців труб у трубних решітках перевіряють за рівномірністю та товщиною зварного шва. Шви під дією корозії та ерозії зношуються, часто на них з'являються тріщини.

Дуже часто внутрішні поверхні теплообмінних труб неможливо достатньо очистити від відкладень тільки промиванням. У таких випадках застосовують механічне чищення. Процес механічного чищення трудомісткий. У найпростішому випадку труби вручну пронизують шомполами - довгими дротиками з наконечником - йоршем. Після цього (а іноді й одночасно) труби продувають паром, що подається в кожен з них окремо. При необхідності ці операції чергують кілька разів, поступово збільшуючи діаметр наконечника-йоржа.

На заводах знайшли застосування різні пристрої для механізації чищення. В основу їх покладено принцип обертального буріння. Наконечник-бур, що обертається, повільно проштовхується в очищувану трубу під дією власної ваги (у разі вертикально встановлених теплообмінників) або зусиллям робітника (у випадку горизонтально встановлених теплообмінників). Бур на

					<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

різьбленні з'єднаний з порожнистим (трубчастим) валом, довжина якого дорівнює довжині труби, що очищається. Вал приводиться у обертальний рух від пневмо - або електродвигуна через редуктор. Пристрій має золотниковий пристрій для подачі всередину труб промивної води, яка через наскрізні отвори на поверхні бура виходить назовні, змиваючи розпушений бруд. У деяких випадках замість води в труби подають водяну пару; при цьому слід особливо ретельно дотримуватися правил безпеки, щоб уникнути опіків.

На рисунку 4.9 наведено конструкцію пристосування та схеми його розташування при чищенні вертикальних та горизонтальних теплообмінників. За допомогою цих пристроїв чистять також труби інших теплообмінних апаратів, зокрема кожухотрубчастих з плаваючою головкою та теплообмінників типу «труба в трубі». Після механічного чищення труби промити гарячою водою.

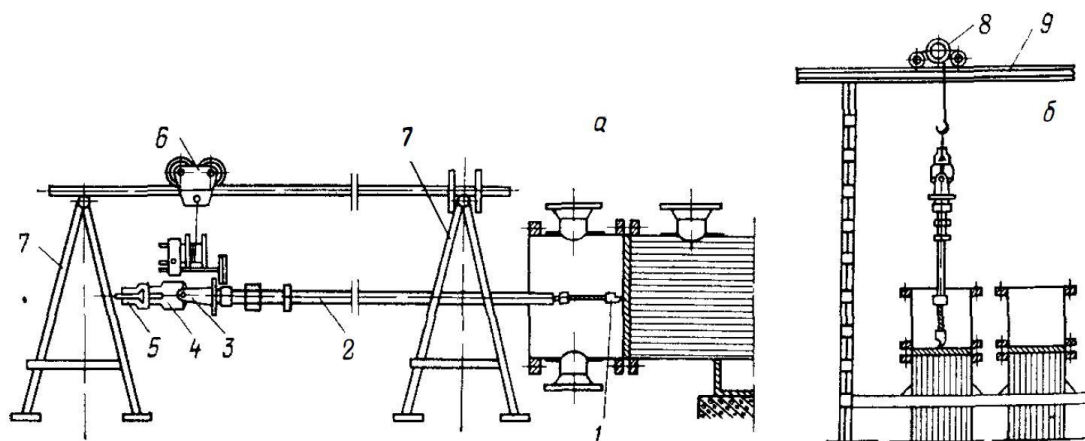


Рисунок 4.9 Пристосування для механічної чистки горизонтальних (а) та вертикальних (б) теплообмінників: 1 – бур; 2 – порожній вал; 3 – розподілювальний золотник; 4 – привід; 5 – упор; 6 – кошка; 7 – тринога; 8 – лебідка; 9 – підкранові шляхи

На практиці трубу, що вийшла з ладу, заглушають з двох кінців металевими конусними пробками. Число труб, що відглушуються, не повинно перевищувати 10% від загальної кількості труб в пучку, що припадають на один потік, інакше значно зросте гідравлічний опір і помітно зменшиться

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

поверхня теплообміну. У загальному випадку виявлення кількох дефектних труб у пучках давно працюючих теплообмінників вказує на можливість виходу з ладу всіх труб, оскільки вони працюють в однакових умовах. Тому відлущивши зношені труби, можна підтримати експлуатаційну придатність теплообмінника до найближчого капітального або середнього ремонту, під час якого теплообмінник або трубний пучок повністю замінюють новим.

Залежно від конструктивного рішення нещільні з'єднання кінців труб із трубними ґратами підвальцьовують або підварюють. Слід уникати надмірного підвальцьовування: воно не тільки не усуне нещільність, але може призвести до втрати міцності з'єднання. Зварювання кінців одних труб може послабити розвальцьовування поруч розташованих труб, тому останні профілактично підвальцьовують.

Необхідність ремонту корпусів кожухотрубчастих теплообмінників встановлюють за результатами вимірювань товщин та перевірки зварних швів. Враховуючи значно більшу товщину корпусів у порівнянні з товщиною теплообмінних труб, ремонтні роботи зазвичай обмежують підварюванням нещільних швів, виявлених під час опресування.

Перед повним складанням апарата слід провести опресування міжтрубного простору. При цьому виявляться нещільності в корпусі, у місцях з'єднання труб з трубними решітками, а також зношені теплообмінні труби (за появою опресувальної води). Апарат остаточно опресовують після збирання кришок. З апарата, що витримав випробування, зливають воду, а потім знімають заглушки.

5. Автоматика та автоматизація технологічного процесу

5.1 Оцінка рівня автоматизації технологічного процесу. [22]

В рамках розробленої технологічної схеми (рис. 5.1) на її основі можна провести аналіз рівня автоматизації технологічного процесу.

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

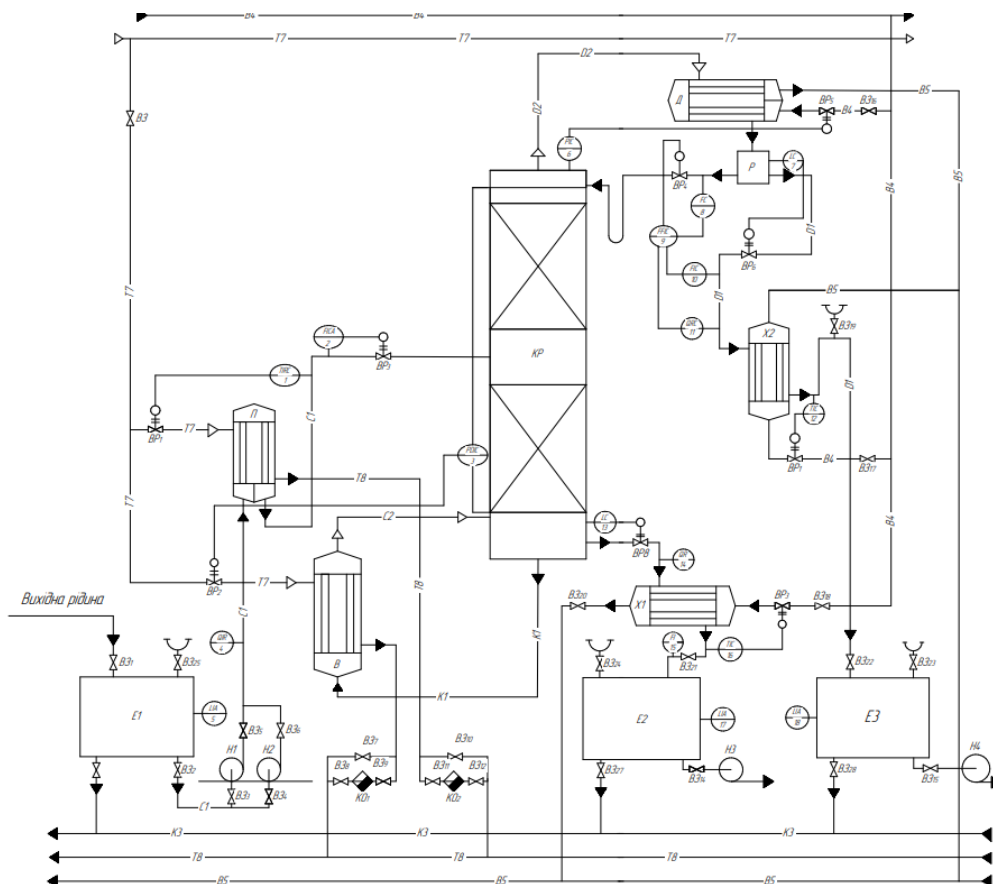


Рисунок 5.1 – Технологічна схема поєднана зі схемою автоматизації
 Для розуміння процесу ректифікації в установці для розділення суміші «метанол-етанол» наведено короткий опис основних етапів:

1. Подача вхідної суміші в ємність з відповідним контрольним і запірним обладнанням.
2. Підігрів вхідної суміші у теплообміннику перед випарником.
3. Випарювання суміші у випарнику, підтримуючи стабільні умови температури і тиску для подальшої ректифікації.
4. Основний процес ректифікації, у якому контролюються і регулюються температурні градієнти та концентрація продукту.
5. Конденсація та охолодження з використанням дефлегматора і холодильних апаратів.
6. Відведення готового продукту у відповідну ємність з контрольними точками якості

Для кожного з перелічених етапів встановлено автоматичне обладнання, яке дозволяє здійснювати точний контроль і підтримку параметрів:

Подача суміші та перекачування рідин: насоси керуються за рівнем рідини в ємностях для вхідної суміші та готового продукту. Це дозволяє автоматично подавати рідину при зниженні рівня і зупиняти подачу при його підвищенні.

Контроль температури у теплообмінниках (підігрівач і випарник): автоматичні регулятори температури разом із датчиками температури підтримують оптимальний температурний режим для переходу компонентів у парову фазу.

Ректифікаційна колона: автоматизація контролю температури на різних тарілках колони забезпечує стабільне розділення компонентів. Також встановлені датчики тиску та рівня для моніторингу умов у колоні.

Конденсація та охолодження: для дефлегматора і холодильних апаратів використовуються регулятори температури та тиску для стабільного конденсування, а також прилади для контролю витрати.

В ході аналізу також важливо зазначити обладнання, яке використовується для автоматизації процесу:

Датчики рівня, тиску, температури, витрати: забезпечують постійний моніторинг і передають дані до системи управління.

Контролери для регулювання параметрів, які безпосередньо впливають на стабільність і ефективність процесу (регулятори).

Клапани та вентилі (запірні, регулюючі та розподільчі): автоматично керують потоком рідини чи пари.

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

Для управління та регулювання використовується наступні засоби: Для підтримки температури застосовуються ПД-регулятори, які забезпечують стабільне підтримання потрібних температур на різних етапах. **Регулятори тиску** підтримують необхідний тиск у колоні, а також допомагають в управлінні конденсацією в дефлегматорі. Використання **програмованого контролера (PLC)** дозволить об'єднати в єдину систему управління всі

					<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>		59

контрольно-вимірювальні прилади й забезпечити автоматичну роботу установки за заданими параметрами.

Важливим елементом установки є **системи контролю якості**, які забезпечується приладами для вимірювання якості продукту, які можуть зберігати дані й сигналізувати про невідповідність. Та **системи безпеки**, які включають в себе датчики і сигналізацію для критичних параметрів (тиск, температура, рівень рідини), а також автоматичне блокування установки при аварійних ситуаціях.

Враховуючі все вище описане можна запропонувати для вдосконалення процесу такі позиції, як:

Впровадження системи для **оптимізації витрат енергії та балансування потоків**, що дозволить мінімізувати енерговитрати та знизити втрати продукту.

Використання **аналізу «історичних даних»** для прогнозування поведінки процесу і своєчасного обслуговування.

Використання **системи машинного навчання** для налаштування режимів роботи відповідно до якості вхідної сировини або змін навантаження на установку.

Рекомендація інтегрувати систему управління в єдину **SCADA-систему** для моніторингу та аналізу даних в режимі реального часу. Що дозволить оператору відслідковувати роботу всіх елементів процесу, а також оперативно реагувати на можливі відхилення.

Запровадження запронованих кроків з вдосконалення забезпечить більш ефективне, стабільне та безпечне управління процесом ректифікації. Впровадження SCADA-системи дозволить підвищити загальний контроль за процесом, а можливість інтеграції штучного інтелекту створить умови для підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат.

Ці заходи дозволять оптимізувати виробничий процес та підвищити його ефективність, що є важливим для сучасного автоматизованого 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>		60

5.2 Аналіз літературних рекомендацій з автоматизації технологічного процесу

Сучасні промислові процеси, зокрема ректифікація, потребують високого рівня автоматизації для досягнення стабільності, економічної ефективності та безпеки виробництва. Автоматизація дозволяє не лише контролювати та регулювати критичні параметри, такі як температура, тиск і рівень компонентів у реальному часі, але й оптимізувати витрати енергії, підвищувати якість продукції та знижувати ризики для персоналу. Вітчизняні та закордонні науковці й інженери розробили численні рекомендації з автоматизації технологічних процесів, адаптовані до різних умов і видів виробництва. У цьому розділі проаналізовано літературні джерела з автоматизації технологічних процесів ректифікації, узагальнено найкращі практики та методи, що можуть бути застосовані для ефективного управління процесом розділення.

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

Процес ректифікації є одним з основних процесів хімічної технології. Його ефективність визначається складом цільового продукту. Залежно від технологічних вимог, цільовим продуктом може бути як дистилят, так і кубовий залишок. Метою керування є підтримка стабільного складу цільового продукту.

					<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>		61

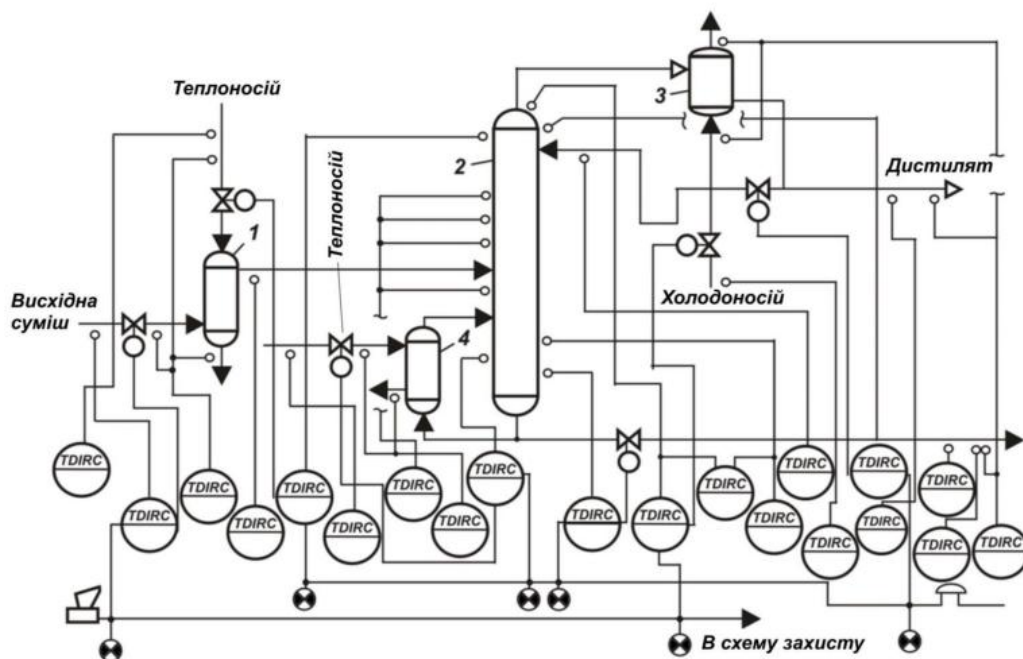


Рисунок 5.2 – Типова схема автоматизації процесу ректифікації:

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

Ректифікаційна установка являє собою складний об’єкт керування, що характеризується значним часом запізнення (наприклад, в деяких випадках вихідні параметри процесу починають змінюватися після зміни параметрів сировини лише через 1-3 години), великою кількістю взаємопов’язаних параметрів, їх розподіленістю в просторі та іншими особливостями

Складнощі керування процесом посилюються частотою та амплітудою збурень. На об’єкт впливають такі фактори, як зміни початкових параметрів вихідної суміші, параметрів тепло- та холодоносіїв, зміна характеристик поверхонь теплообміну, відкладення речовин на стінках та інші. Крім того, на технологічний режим ректифікаційних колон, що знаходяться під відкритим небом, впливають зміни температури атмосферного повітря.

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

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

де C_d, C_c, C_0 - концентрація шуканого компонента відповідно в дистилляті, вихідній суміші, залишку; G_c, G_0 - витрати відповідно вихідної суміші і залишку.

Дослідження рівняння свідчить про те, що концентрація C_d прямо залежить від початкових параметрів вихідної суміші. Їх зміна може призвести до появи найбільш істотних збурень, особливо через зміну складу вихідної суміші, який визначається попереднім технологічним процесом

Витрату G_c можна підтримувати на сталому рівні за допомогою регулятора витрати. Діафрагму та виконавчий механізм цього регулятора необхідно встановити перед теплообмінником, оскільки після нагрівання суміші до температури кипіння в ній може з'явитися парова фаза, що призведе до некоректної роботи автоматичних пристроїв.

Температура вихідної суміші має суттєвий вплив на процес ректифікації. Якщо суміш надходить в колону з температурою нижчою за температуру кипіння, вона нагрівається до цієї температури парами, що піднімаються з нижньої частини колони. Це призводить до збільшення конденсації пари та порушення усього режиму ректифікації. Тому температуру вихідної суміші стабілізують шляхом регулювання витрати теплоносія, що подається в теплообмінник, усуваючи таким чином один із збурюючих впливів.

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

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

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

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

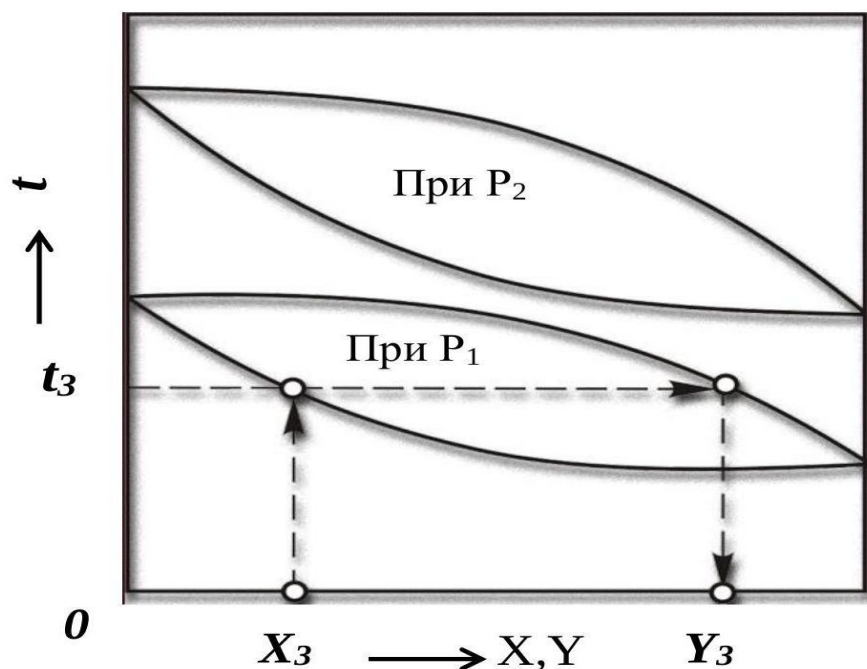


Рис. 5.3 Діаграма температура (t) - конієнтрація низькокиплячого компонента в рідині (x) і парах (y)

Підтримка стабільного тиску у верхній частині колони важлива не лише для отримання цільового продукту заданого складу, а й для забезпечення ефективної роботи колони. Зниження тиску може призвести до порушення гідродинамічного режиму - "захлинання" колони (висхідний потік пари перешкоджає нормальному стіканню рідини по тарілках), а його підвищення спричиняє зменшення швидкості парового потоку, що знижує продуктивність установки

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

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

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

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

Однак цього не можна сказати про температуру (склад) рідини в кубі. Як і у верхній частині колони, в кубі достатньо регулювати лише один параметр - тиск або температуру (склад). Але зміна витрати флегми для регулювання складу впливає на параметри в кубі із значним запізненням (кілька годин). Тому для забезпечення стабільної роботи куба необхідно окремо регулювати один з цих параметрів. Зазвичай вибирають регулювання температури, оскільки, по-перше, датчик температури простіший та надійніший за аналізатори складу, а по-друге, якщо цільовим продуктом є дистиллят, то вимоги до режиму роботи низу колони менш жорсткі, ніж до верхньої частини

Отже, у кубі колони варто регулювати температуру.

"Впливати на роботу нижньої частини колони можна, змінюючи витрату кубового залишку та витрату теплоносія, що надходить в кип'ятильник. Оскільки витрату кубового залишку доцільно використовувати для підтримки

матеріального балансу, тобто для стабілізації рівня рідини в кубі, то для регулювання температури залишається лише один варіант - зміна витрати теплоносія,.

Отже, якщо потрібно отримати дистилат заданого складу, регулюванню підлягають такі параметри: витрата вихідної суміші, температура вихідної суміші, тиск у верхній частині колони, склад рідини у верхній частині колони, температура та рівень рідини в кубі. Крім того, необхідно контролювати: витрати вихідної суміші, дистилату, флегми, кубового залишку, теплоносія та холодоагенту; склад та температуру кінцевих продуктів; температуру вихідної суміші, теплоносія та холодоагенту; рівень рідини в кубі колони; температуру по висоті колони, тиск у верхній та нижній частинах колони, а також перепад тиску між ними.

Сигналізацію необхідно передбачити для випадків значного відхилення складу цільового продукту, рівня рідини та тиску в колоні від заданих значень. Якщо тиск в колоні перевищує допустиме значення або припиняється подавання вихідної суміші, мають спрацювати автоматичні пристрої захисту, які зупиняють роботу ректифікаційної установки. При цьому перекриваються магістралі теплоносіїв, кубового залишку та дистилату, а магістралі холодоагенту та флегми повністю відкриваються.

5.3 Аналіз літературних рекомендацій з автоматизації заданого апарату

Так як конденсатори, як теплообмінні апарати є одними з найпоширеніших типових апаратів, що застосовуються для конденсації речовини, що призводить до зміни температури речовин та їх агрегатного стану виникає потреба в устаткуванні їх датчиками, правильним їх розміщенням та налаштуванням законів їх регулювання. [8].

Наявність контрольно-вимірювальних приладів стала важливою частиною сучасних прогресивних напрямків, як хімічне машинобудування, і оперативний контроль, аналіз і оцінка стали невід'ємною частиною сучасних виробництв.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						66
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Звісно ручне управління застаріло і вже не може стояти на ряду з можливістю регулювання процесів в апаратах за допомогою новітніх приладів-регуляторів, що стало сучасною, прогресивно, ефективною і економічно доцільною формою управління установкою.

Ручне управління не перспективне і досить не надійне, воно потребує величезних людських ресурсів, а якщо наприклад працівнику, що відповідає за процес стане погано то в кращій ситуації процес зупиниться, але в більшості ситуацій він стане неконтрольованим, що в кращому випадку знизить якість продукції, а то й взагалі забракує її чи навіть призведе до ушкодження апарату. А також треба не забувати що лише в одному апараті потрібно контролювати в більшості ситуацій декілька параметрів, що доволі не зручно при ручному керуванні.

Для того щоб апарат міг працювати з високою ефективністю, з достойною продуктивністю та мати гарну якість вихідного продукту до вибору систем керування та приладів автоматизації потрібно з розумом віднестися. Краще всього обирати прилади що випускаються серійно, щоб не виникало складності в заміні в разі виходу зі строю та приладів, що пройшли перевірку часом, адже експерименти на виробництві можуть бути критичними.

Встановлення датчика температури щонайближче до конденсатору, дозволяє уникнути транспортних запізнень при вимірах. На процес теплообміну можуть впливати певні фактори що відносяться на наступні групи[9]

Збурювання, що допускають стабілізацію - це незалежні технологічні параметри, які можуть випробовувати істотні коливання, однак за умовами роботи можуть бути стабілізовані за допомогою автоматичної системи регулювання. До таких параметрів звичайно відносяться деякі показники вхідних потоків. Так, витрату живлення можна стабілізувати, якщо перед апаратом є буферна ємність, що згладжує коливання витрати на виході з попереднього апарату; стабілізація температури живлення можлива, якщо перед апаратом установлений теплообмінник, і т.п. При проектуванні системи

					<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

керування доцільно передбачити автоматичну стабілізацію таких збурювань. Це дозволить підвищити якість керування процесом у цілому. У найпростіших випадках на основі таких систем автоматичної стабілізації збурювань будують розімкнуту (щодо основного показника процесу) систему автоматизації, що забезпечує стійке ведення процесу в рамках технологічного регламенту. [10]

Контрольовані збурювання - це ті збурювання, які можна виміряти, але неможливо або неприпустимо стабілізувати (витрата живлення, що подається безпосередньо з попереднього апарата; температура навколишнього з 6 середовища й т.п.). Наявність істотних збурювань, які не стабілізуються, вимагає застосування або замкнута по основному показнику процесу систем регулювання, або комбінованих АСУ, у яких якість регулювання підвищується введенням динамічної компенсації збурювання. [10]

Неконтрольовані збурювання - збурювання, які неможливо або недоцільно вимірювати безпосередньо. Перші - це, наприклад, падіння активності каталізатора в хімічних перетвореннях, зміна коефіцієнтів тепло- і масопередачі й т.п. Прикладом тому може служити тиск пари, що гріє, у заводській мережі, що коливається випадковим образом й є джерелом збурювання в теплових процесах. Виявлення можливих неконтрольованих збурювань - важливий етап у дослідженні процесу й розробці системи керування. Наявність таких збурювань вимагає, як й у попередньому випадку, обов'язкового застосування замкнута по основному показнику процесу систем автоматизації. [10]

Можливі регулюючі впливи. Це матеріальні або теплові потоки, які можна змінювати автоматично для підтримки регульованих параметрів. [10]

Вихідні змінні. З їхнього числа вибирають регульовані координати. При побудові замкнута систем регулювання як регульовані координати вибирають технологічні параметри, зміна яких свідчить про порушення матеріального або теплового балансу в апараті. [10]

Спрощена функціональна схема автоматизації теплообмінного апарату приведена на рис .5.4 [9].

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

Для контролю температури обираємо датчик температури, що дозволить заміряти її та електропневматичний перетворювач температури.

Датчик концентрації дає нам змогу контролювати концентрацію речовини в апараті, до нього в комплекті йде електронний міст.

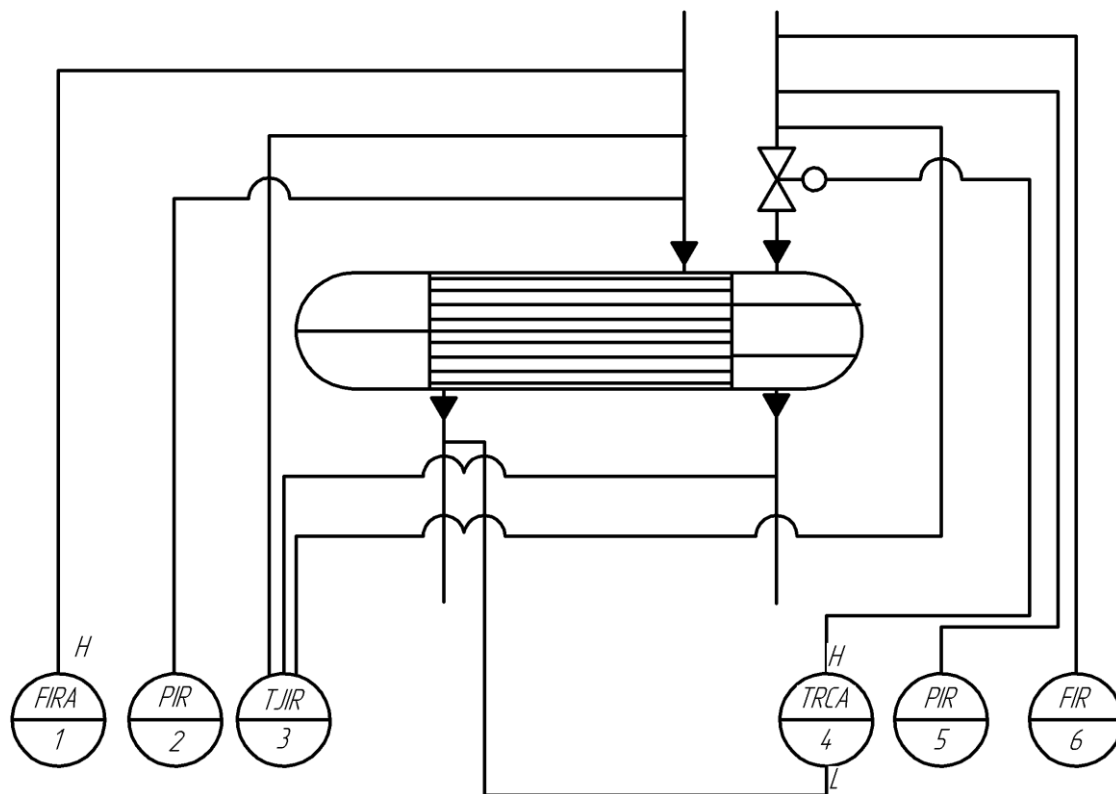


Рисунок 5.4 – Спрощена схема автоматизації теплообмінника

Для того щоб контролювати тиск мною було обрано перетворювач тиску, що хоч і має межі вимірювання до двох з половиною мега Паскаль, але це задовольняє наші потреби адже тиск в апараті менше допустимо можливого.

Вибір витратомірів та електропневматичних перетворювачів витрат дозволяє мати управління над витратами сировини в апараті.

Так як процес контролювати себе сам не може і не буде для контролю за ним обрано надійний контролер серії WinCon-8000, що показав себе як надійний, продуктивний та ефективний контролер розроблений компанією ICP DAS, що увібрав в себе найкращі напрацювання своїх попередників. Але хоч він і порівнюється зі старими системами контролю, він має нові можливості в зв'язку використанням нових можливостей що пов'язані з його

доволі таки високопродуктивними, як для контролера апаратним забезпеченням. [8]

Виконання контролеру попри своїй простоті, доволі продумане та не має нічого лишнього. Хоч і сам він виглядає як сірий пластмасовий блок з пластику, що до речі має стійкість до вогню, але його начинка, що складається з центрального процесору, джерела живлення, панелі управління, комунікаційних портів і об'єднавчої плати для установки модулів вводу-виводу. Особливістю контролеру є його легкий монтаж що не викликає потреби в додаткових конструктивних матеріалах. І в будь якому стані контролер має зручний доступ до панелі управління, слотів для установки або заміни модулів вводу-виводу і комунікаційним роз'ємів. Завдяки своїй прогресивності контролер має можливість підтримки будь яких модулів, навіть якщо це віддалені модулі. І попри своїй простоті всі модулі мають зручний спосіб підключення . Також контролер має носить зручні інтерфейси з можливістю підключення до інтернету чи до інших пристроїв[9].

Тому я вважаю обраний модуль для контролю процесів доволі ефективним і корисним. Використання його може допомогти в вирішенні багатьох автоматизаційних завдань в різних галузях промисловостей. Також корисним є те що цей контролер легко піддається контролю, та програмуванню в багатьох програмних комплексах, що призначені для цього. За рахунок новітніх рішень та модулів що можна приєднати до контролеру, система може мати більш складні конфігурації ніж та що потрібна для контролю розроблюваного апарату. [9]

Всі обрані елементи для контролю за апаратом є електропневматичними, що надає високої чутливості до змін в процесі, що дозволяє швидко реагувати на зміни та стабілізувати їх в потрібну сторону.

6.Охорона праці [23]

6.1 Потенційні небезпеки та шкідливості під час роботи на виробництві

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

Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник, що використовується для конденсації у складі ректифікаційної установки, несе в собі ряд потенційних небезпек та шкідливостей. Це пов'язано з агресивними властивостями метанолу, високими температурами в системі, а також з особливостями конструкції самого теплообмінника.

Потенційні небезпеки та шкідливості

Хімічні небезпеки:

Отруйність: метанол є токсичною речовиною, що може призвести до гострих і хронічних отруєнь при вдиханні, проковтуванні або контакті зі шкірою.

Корозійність: спирти агресивно діють на багато матеріалів, включаючи метали. Це може призвести до корозії теплообмінника та витіку шкідливих речовин.

Пожежна та вибухова небезпека:

Горючість: легко займистий, горить синюватим полум'ям.

Висока температура: Високі температури в зоні випарювання можуть призвести до перегріву металу та виникнення пожежі.(особливо якщо пам'ятити, що у метанолу низька температура кипіння (64.7°C))

Фізичні небезпеки:

Високий тиск: Робочий тиск у теплообміннику може бути значним, що створює ризик розгерметизації та витікання робочого середовища.

Гарячі поверхні: Поверхні теплообмінника під час роботи можуть бути сильно нагріті, що може призвести до опіків при дотику.

Шум: Робота насосів та іншого обладнання може створювати підвищений рівень шуму, що негативно впливає на здоров'я персоналу.

Екологічна небезпека:

Забруднення довкілля: Витік спирту може призвести до забруднення ґрунту, поверхневих і підземних вод.

Фактори, що впливають на рівень небезпеки:

					<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

Конструкція теплообмінника: Матеріал труб, товщина стінок, тип ущільнень.

Режим роботи: Температура, тиск, витрата робочого середовища.

Стан обладнання: Наявність корозії, тріщин, інших дефектів.

Кваліфікація персоналу: Дотримання правил експлуатації та техніки безпеки.

Наявність та ефективність систем безпеки: Захисні клапани, датчики тиску і температури, системи аварійної зупинки.

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

Інженерні заходи безпеки:

Конструктивні особливості:

Матеріали: Вибір матеріалів, стійких до корозії та високих температур (наприклад, спеціальні нержавіючі сталі).

Товщина стінок: Забезпечення достатньої міцності для витримання робочого тиску.

Зварні шви: Якісне виконання зварних швів та їхній контроль.

Ущільнення: Використання хімічно стійких ущільнень.

Системи захисту:

Системи аварійного скидання тиску: Захисні клапани, мембранні розривні диски.

Системи пожежогасіння: Автоматичні системи пожежогасіння, пожежні крани.

Системи вентиляції: Примусова вентиляція для відведення шкідливих парів.

Системи контролю та управління: Датчики тиску, температури, рівня, системи автоматичного управління.

Заземлення: Для запобігання статичної електрики та виникнення іскри.

Організаційні заходи безпеки:

Інструктажі: Регулярні інструктажі персоналу з питань безпеки роботи.

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

Доступ: Обмеження доступу до обладнання сторонніх осіб.

Медичні огляди: Періодичні медичні огляди персоналу.

Спецодяг та засоби захисту: Надання персоналу спецодягу, рукавичок, захисних окулярів, респіраторів.

Аварійні плани: Розробка та регулярне оновлення планів реагування на аварійні ситуації.

Екологічний моніторинг: Регулярний контроль за станом довкілля навколо обладнання.

Процедури безпечної експлуатації:

Пуск і зупинка обладнання: Чіткі інструкції та процедури.

Обслуговування: Регулярне технічне обслуговування та ремонт.

Контроль параметрів: Постійний контроль за тиском, температурою, рівнем рідини.

Огляд на корозію: Регулярний огляд обладнання на наявність корозії.

Проба на герметичність: Перед пуском та після ремонту.

Моніторинг та аналіз:

Аналіз повітря робочої зони: Регулярний контроль концентрації шкідливих речовин у повітрі.

Аналіз рідин: Аналіз якості робочих рідин на наявність домішок.

Аналіз матеріалів: Аналіз матеріалів обладнання на корозію.

Важливо розуміти, що безпека роботи з таким обладнанням є комплексною задачею, яка вимагає поєднання технічних, організаційних та індивідуальних заходів.

6.2 Безпеку експлуатації герметичних систем

При виконанні роботи було запропоновано в даному розділі написати про - безпеку експлуатації герметичних систем, що працюють під тиском.

Отже, герметичність – це непроникність рідинами та газами стінок та з'єднань, що обмежують внутрішні обсяги пристроїв та установок.

Принцип герметичності, тобто непроникності тією чи іншою мірою, використовують практично у всіх пристроях та установках, в яких як робоче

тіло застосовують рідину або газ. Цей принцип також є обов'язковим для вакуумних установок. Пристрої та установки, в яких використовується в процесі роботи принцип герметичності, можна назвати герметичними.

Внутрішні обсяги герметичних пристроїв та установок обмежують середовище, яке може бути або робочим тілом, або виконувати роль того середовища, в якому протікають основні робочі процеси. Тому параметри її стану (як і саме середовище) різні. Так, середовище може бути сильно нагрітим (мати температуру кілька тисяч градусів) або бути сильно охолодженим (мати температуру, близьку до абсолютного нуля); тиск усередині пристрою може вимірюватися тисячами мега Паскалів або мати значення, характерні для глибокого вакууму.

У ряді випадків порушення герметичності, тобто розгерметизація пристроїв і установок, не тільки небажана з технічної точки зору, але й небезпечна для персоналу, що обслуговує, і виробництва в цілому.

По-перше, порушення герметичності може бути пов'язане із вибухом. Тут слід розрізняти дві причини. З одного боку, вибух може бути наслідком порушення герметичності, наприклад, займання вибухової суміші всередині установки. З іншого, порушення герметичності може стати причиною вибуху, наприклад, при порушенні герметичності ацетиленового трубопроводу поблизу ділянок порушення утворюється ацетилен-повітряна суміш, яка може спалахнути найслабшими імпульсами. Непомічене тривале горіння призводить до такого сильного розігріву трубопроводу, що ацетилен у ньому самозаймається.

По-друге, при розгерметизації створюються небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що залежать від фізико-хімічних властивостей робочого середовища, тобто виникає небезпека:

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

- одержання опіків під впливом високих. або, навпаки, низьких температур (термічні опіки) та через агресивність середовища (хімічні опіки);
- травматизму, пов'язаного з високим тиском газу в системі, наприклад, порушення герметичності балона з газом при тиску 20 МПа з утворенням отвору діаметром 15 мм призведе до появи початкової реактивної тяги близько 3,5 кН; при масі балона 70 кг він може придбати прискорення 5g і перемістити на деяку відстань;
- радіаційна, що виникає, наприклад, при використанні в установках як теплоносіїв рідких радіоактивних металів, що мають високий рівень іонізуючого випромінювання;
- отруєння, пов'язані із застосуванням інертних та токсичних газів та ін. Таким чином, принцип герметичності, який використовується при організації робочого процесу ряду пристроїв і установок, є важливим з точки зору безпеки їх експлуатації.

Також дуже важливо розуміти побічні процеси в машинах, апаратах, їх вузлах та в інших установках, і найпопулярніші з них описані нижче.

Корозія – руйнування металу, що починається на поверхні під дією середовища, що омиває метал.

Найбільш агресивним середовищем є кислоти. Азотна кислота викликає корозію чорних металів, сірчана за концентрації менше 55% - сильну корозію сталі та чавуну; при концентраціях більше 80% ці метали стають стійкими, так як при великих концентраціях сірчана кислота має здатність поглинати вологу. Дуже сильний корозійний вплив мають лужні метали (літій, натрій, калій).

Розрізняють такі основні види корозії: суцільну (загальну); місцеву (локальну), прикладом якої може бути виразкова корозія, що призводить до утворення наскрізного отвору; міжкристалічну, при якій руйнування

відбувається за межами зерен (кристалів) металу; вибірково, за якої роз'їдання піддаються лише окремі компоненти сплаву.

Виразкова корозія веде безпосередньо до порушення герметичності. Однак найбільш небезпечною є суцільна корозія, особливо в тих випадках, коли вона протікає рівномірно, тобто відбувається рівномірне потоншення стінки, яке нелегко виявити. Витончення стінки може призвести до раптового вибуху.

Методи боротьби з корозією такі: зміна корозійного середовища у бік зменшення його агресивності; наприклад, якщо в якості робочого середовища використовується вода, то її знекислюють; збільшення корозійної стійкості конструктивного металу, що досягається ізоляцією металевих поверхонь від середовища шляхом нанесення відповідних покриттів або застосуванням корозійностійкого конструктивного матеріалу.

Поява накипу. У багатьох установках як теплоносія використовується вода. При нагріванні води може утворюватися накип. Це призводить до погіршення теплообміну і, зрештою, може призвести до аварії.

До найпоширеніших накипоутворних сполук відносяться: двовуглецеві кальцій і магній, сірчаноокислий кальцій гіпс і хлористий магній.

Двовуглецевий кальцій і магній мають позитивний термічний коефіцієнт розчинності і тому відкладаються у вигляді шламу на менш нагрітих поверхнях. На противагу їм розчинність, наприклад, гіпсу зменшується зі збільшенням температури, і тому сірчаноокислий кальцій - гіпс відкладається на гарячих поверхнях установки.

З метою зменшення утворення накипу в установках жорсткість води, що застосовується зазвичай обмежують. Так, вода системи охолодження компресорних установок повинна мати загальну жорсткість більше 7 мг-екв/л.

					<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>		76

Якщо відсутня вода необхідної якості, система охолодження компресорних установок повинна бути обладнана водоочисниками, в яких, зокрема, відбувається її пом'якшення.

Також існують багато технологічних факторів розгерметизації.

До технологічних факторів розгерметизації можна віднести дефекти, що з'являються в пристроях і установках при їх виготовленні, транспортуванні та зберіганні, наприклад, дефекти заклепок, тріщини в місцях згинів, відбортовок елементів, зміщення кромки елементів, що стикаються, розшарування і полони металу, вм'ятини, раковини і т.д. буд.

При виготовленні багатьох конструкцій дедалі ширше застосування знаходить зварювання. Однак у час найретельніша розробка технології зварювання досі дає гарантії від появи випадкових дефектів в зварних сполуках. До останніх відносять непровари, тріщини, подрізи, напливи, шлакові включення, газові пори та інших. Розглянемо деякі їх.

Непровари є відсутність сплавлення в зварному з'єднанні між прилеглими шарами металу. Непровари знижують міцність зварного шва і особливо небезпечні за наявності вібрацій. Тріщини (внутрішні та зовнішні) - результат дії температурної напруги (нагрівання металу до розплавлення і подальше його швидке охолодження, затвердіння). Тріщини є гострими концентраторами напруги, і їх слід вважати неприпустимою вадой.

Газові пори утворюються в металі шва за рахунок газів, які поглинаються рідким металом зварювальної ванни. Зазвичай, чим вище температура рідкого металу, тим більше кількість газів розчиняється в ньому. З охолодженням металу знижується розчинність газів, і вони прагнуть із нього виділитися. Однак кристалізація металу шва перешкоджає їх виходу, внаслідок чого частина газів залишається, утворюючи внутрішні пори та раковини. Причинами утворення газових пор можуть бути підвищений вміст вуглецю в основному або зварювальних металах, при вигоранні якого

					<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

виникатимуть пори, заповнені CO і CO₂, підвищена вологість електродного покриття,

флюсу, що призводить до утворення парів води, при дисоціації яких виділяється водень, розчинний у рідкому металі , і т. д. Пори зменшують робочий переріз шва, знижують міцність конструкції.

Шлакові включення - невеликі обсяги в зварному шві, заповнені неметалевою речовиною (шлаками, окислами). Вони завжди є у наплавленому металі. Погано виконаний шов має 2-3% шлакових включень від маси наплавленого металу. Шлакові включення послаблюють робочий переріз шва.

Ці приклади показують, що дія технологічних факторів може призвести до порушення герметичності за рахунок послаблення міцності конструкції або безпосередньо (тріщини, прожоги). Тому з ціллю своєчасного виявлення дефектів застосовують різні технічні методи контролю за виготовленням та станом машин, апаратів, їх вузлів та інших установок.

					<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>		78

Список літератури

1. Врагов А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв [Текст] : навч. посіб. / А. П. Врагов. — Суми : Університетська книга, 2006. — 260 с
2. Іванченко В. В. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів / В. В. Іванченко, О. І. Барвін, Ю. М. Штонда. — Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. — 208 с
3. Процеси та апарати хімічної технології: Підручник / За заг. ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. — Харків: НТУ «ХП». — 1016 с.
4. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. — Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. — 306 с., 108 іл., 117 табл., 48 бібліограф назв.
5. УДК 669.01 Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. — Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. — 348 с
6. ДСТУ ISO 1127:2013
7. Промислові прилади та засоби автоматизації: Довідник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безповська, В.А. Бек та ін.. Київ : Вид-во «Віста», 2017. — 847 с
8. Автоматизація виробничих процесів. — Кіровоград: Видавець – Лисенко В.Ф., 2016-352с.
9. КСК автоматизація [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://www.kck.ua/dir.html>
10. Абракітов В. Е. Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів» / В. Е. Абракітов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. — Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. — 80 с.
11. Врагов А. П. Оптимизационное проектирование ректификационных колонн с использованием ПЭВМ : учебное пособие / А. П. Врагов, Я. Э. Михайловский — Сумы : Изд-во СумГУ, 2000. — 65 с.

										XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							79

12. Юхименко Н. П. Методические указания к выполнению курсового и дипломного проектов по теме «Расчет и конструирование пневматических сушилок» курса «Процессы и аппараты химических производств» для студентов специальности 7.090220 дневной и заочной форм обучения / Н. П. Юхименко, Е. В. Донат – Сумы : Изд-во СумГУ, 2000. – 60 с.
13. Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник / О. Ю. Співак, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 113 с.
14. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / Оніщук Оксана Олександрівна, Жолт Олександрович Кормош. - Луцьк : Вежа-Друк, 2020 – 155 с.
15. Мікульонок І. О. М59 Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 340 с.: іл. – Бібліогр.: с. 330–332. – 500 прим.
16. Коваленко І. В. К56 Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / І. В. Коваленко, В. В. Малиновський. – К.: Норіта-плюс, 2007. – 216 с.: іл. – Бібліогр.: С. 209.
17. Дреус А.Ю. Збірник задач з тепломасообміну : навчальний посібник / А.Ю. Дреус, К.Є. Лисенко, В.О. Сясев. – Д., 2016. – 124 с.
18. 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.
19. ОСТ 26-2091-93. Опори горизонтальних посудів та апаратів. Конструкція. 1993. – 37 с.
20. І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів.

- Стропові пристрої. Опори. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2008. – 289 с., 100 іл., 65 табл., 25 бібліогр назв.
21. Яхненко С. М., Литвиненко А. В. Конспект лекцій по курсу:—Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв// Яхненко С. М., Литвиненко А. В. - Видавництво СумДУ 2018.
22. Кожухар В.Я. Автоматизовані системи керування хіміко-технологічними процесами : навчальний посібник / В.Я. Кожухар, В.В. Брем, О.В. Макаров. Одеса: ОП, 2021. 223 с.
23. Основи охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/9/883.html>

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						81
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		