

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ підпис, дата

## Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Газофракціонуюча установка. Розробити та модернізувати випарник пропанової колони

Виконав:  
студент групи ХМ.м-11

Муравицький Д.С.

\_\_\_\_\_ підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК

Керівник:

з оцінкою \_\_\_\_\_

к.т.н., доцент, Михайловський Я.Е.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

\_\_\_\_\_ підпис, дата

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

## Зміст

<b>Вступ</b>	<b>4</b>
<b>1 Огляд літературних джерел</b>	<b>6</b>
1.1 Основи процесу газофракціонування. Газофракціонуючі установки	6
1.2 Класифікація кожухотрубних теплообмінних апаратів	9
1.3 Фізична модель теплообмінного процесу	14
1.4 Технологічний розрахунок теплообмінного процесу	15
<b>2 Технологічна частина</b>	<b>17</b>
2.1 Опис технологічної схеми	17
2.2 Теоретичні основи процесу	19
2.3 Пристрій і принцип дії проєктованого апарата	24
2.4 Технологічний розрахунок	28
2.5 Конструктивний розрахунок	31
2.6 Визначення гідравлічного опору апарата	37
2.7 Вибір допоміжного обладнання	38
<b>3 Проектно-конструкторська частина</b>	<b>42</b>
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	42
3.2 Розрахунки на міцність, стійкість і герметичність	43
<b>4 Будівельно-монтажна частина</b>	<b>46</b>
4.1 Обґрунтування компоновки обладнання установки	46
4.2 Монтаж і ремонт основного технологічного обладнання	48
<b>5 Автоматика та автоматизація технологічного процесу</b>	<b>55</b>
<b>6 Охорона праці та навколишнього середовища. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів досліджуваного об'єкта</b>	<b>59</b>
<b>Висновки</b>	<b>70</b>
<b>Список літератури</b>	<b>71</b>

					<b><i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i></b>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Муравицький</i>			<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Михайловський</i>			3	73	
<i>Реценз.</i>					<b>СумДУ, ХМ.м-11</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							
<b>Випарник пропанової колони</b>							
<i>Пояснювальна записка</i>							

## Вступ

Розвиток хімічної промисловості є основою хімізації народного господарства. У зв'язку з цим, першочергового значення набувають розробки сучасних конструкцій машин і апаратів хімічних виробництв, інтенсифікації виробничих процесів, зниження вартості обладнання, розробка природоохоронних заходів, чому сприяє його правильний розрахунок і конструювання.

У хімічній промисловості здійснюються різноманітні процеси, в яких вихідні матеріали в результаті хімічної взаємодії зазнають глибоких перетворень, що супроводжуються зміною агрегатного стану, внутрішньої структури і складу речовин. Поряд з хімічними реакціями, які є основою хіміко-технологічних процесів останні зазвичай включають численні фізичні (в тому числі і механічні) і фізико-хімічні процеси. До таких процесів належать: переміщення рідин і твердих матеріалів, подрібнення і класифікація останніх, стиснення і транспортування газів, нагрівання та охолодження речовин, їх перемішування, розділення рідких і газових неоднорідних сумішей випарювання розчинів, сушка матеріалів та ін. При цьому спосіб проведення зазначених процесів часто визначає можливість здійснити, ефективність і рентабельність виробничого процесу в цілому. Таким чином, технологія виробництва найрізноманітніших хімічних продуктів і матеріалів (кислот і лугів, солей, мінеральних добрив барвників, полімерних і синтетичних матеріалів, пластичних мас) включає ряд однотипних фізичних і фізико-хімічних процесів, що характеризуються загальними закономірностями. Ці процеси в різних виробництвах проводяться в аналогічних за принципом дії машинах і апаратах.

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

Дана магістерська робота має елементи науково-практичної новизни та є самостійною працею, яку виконано у відповідності до методичних вказівок [6]. У даній кваліфікаційній роботі застосовувалися методи математичного моделювання, а також розрахунки та узагальнення одержаних результатів проводилися із використанням комп'ютерних прикладних програм.

Процеси і апарати, загальні для різних галузей хімічної технології отримали назву основних процесів і апаратів. Наприклад, одним з основних процесів є теплообмін. цей процес застосовується при отриманні багатьох речовин і продуктів.

Процеси теплообміну відіграють важливу роль в сучасній техніці. Особливо широко процеси теплообміну використовуються в хімічній, енергетичній, металургійній та харчовій промисловості.

Теплообмінними апаратами називаються пристрої, призначені для передачі тепла від одного теплоносія до іншого при здійсненні різних теплових процесів: нагріванні, охолодженні, кипінні, конденсації та ін. В промисловості використовуються різноманітні типи теплообмінного обладнання, однак найбільш широке застосування знаходять кожухотрубні теплообмінники. Ці теплообмінники не володіють особливою компактністю, але мають високу механічну міцність і можуть бути використані в різних областях. За винятком охолоджувача з оребренними трубами спеціального призначення, це фактично єдиний пристрій, яке можна застосовувати при великих площах поверхні теплообміну, тисках вище 2 МПа і температурах понад 250 ° С.

Як випливає з назви, кожухотрубний теплообмінник має кожух (судини високого тиску), що містить пучок труб. Труби, що кріпляться до трубних дошок, можуть бути гладкими або оребреними і розташовуються паралельно поздовжньої осі кожуха.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

Газофракційні установки, служать для поділу суміші легких вуглеводнів на індивідуальні, або технічно чисті, речовини. Установки такого типу входять до складу газобензинових, газопереробних, нафтохімічних і хімічних заводів. Для переробки до них надходить сировина - газові бензини, отримані з природних і нафтопереробних газів, продукти стабілізації нафти, гази піролізу і крекінгу. Поділ сумішей вуглеводнів здійснюється ректифікацією в колонних апаратах.

## 1 Огляд літературних джерел

### 1.1 Основи процесу газофракціонування. Газофракціонуючі установки [1]

Газофракціонування — процес розділення вуглеводневої сировини (нестабільного газового бензину) з метою одержання окремих легких вуглеводнів або вуглеводневих фракцій високої чистоти, що відрізняються температурою кипіння. Процеси газофракціонування використовують для отримання з нафтопереробних газів і газів низькотемпературних переробних установок окремих низькомолекулярних вуглеводнів C1-C6 (граничних і неграничних, нормальної або ізоструктури) або їх фракцій високої чистоти. Комбінація процесів конденсації, компресії, ректифікації та абсорбції знайшла застосування на газофракційних установках (ГФУ). Продукти газофракціонних установок залежно від масштабів виробництва, складу вихідної сировини, вимог до товарного газу та глибини переробки являють собою наступні вузькі вуглеводневі фракції або компоненти: метан-етан (іноді етан), пропан, бутан, ізобутан, пентан, ізопентан, пропан-пропілен, бутан-бутилен, етан-етилен, пентан-амілен. Перспективним також є отримання гексанової фракції або ізо- та нормального гексану. При використанні вузьких фракцій як сировини для нафтохімічних синтезів вміст основних компонентів у них має бути не менше 96...98%. Фракції

**XI.T.00.00.00 ПЗ**

Лист

6

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

вуглеводневих газів, які виходять з установки як кінцевий продукт, повинні відповідати технічним умовам згідно з діючими стандартами.

На практиці ГФУ класифікують за такими характеристиками:

за кількістю колонок (одноколонні та багатокolonні);

за режимом роботи колон (з низхідним, висхідним і змішаним тиском);

за типом установки (газофракціонування (ГФУ), абсорбційне-

газофракціонування (АГФУ), конденсаційне-ректифікаційне

газофракціонування (КРФУ) і комбіновані установки).

Одноколонні установки називаються установками стабілізації і призначені для розділення нестабільного бензину на стабільний бензин і скраплений газ.

Вуглеводневі конденсати, виділені в процесах низькотемпературної

переробки, мають різний склад і включають компоненти від етану до

гексану. Перед подальшою переробкою газоконденсатна сировина проходить

переробку на установці стабілізації конденсату. Традиційна установка

стабілізації конденсату включає одну колону стабілізації (ректифікації). У

результаті виділяються розчинені гази, які далі переробляються в скраплений

газ, і виходить стабільний бензин, який характеризується певним діапазоном

температур кипіння фракцій, що входять до його складу, і вмістом у ньому

вуглеводнів С3+. Якщо нестабільний конденсат розділяється на кілька

фракцій, то використовують газифракціонні установки (ГФУ), в яких

кількість ректифікаційних колон на одиницю менше кількості фракцій, що

відокремлюються. Використання у складі установок стабілізації конденсату

двох послідовно з'єднаних ректифікаційних колон (деетанізатора та

стабілізатора) дозволяє отримувати в першій колоні легкий газоподібний

бензин, а важкий бензин (температура кипіння 157...226 °С) і важку фракцію

конденсату (кип. температура 176... 328 °С), яка служить сировиною для

виробництва дизельного палива. На багатокolonних газифракціонуючих

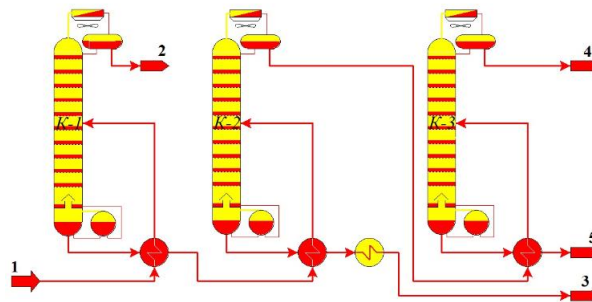
установках (рисунок 1.1) розділяють нестабільний бензин, стабільний бензин

і фракції індивідуальних вуглеводнів. Для поділу суміші на n фракцій

необхідно (n-1) ректифікаційних колон.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

Схеми з низхідним тиском характеризуються тим, що перетікання рідини з колони в колону відбувається під дією надлишкового тиску, схеми з висхідним тиском, що перетікання рідини з колони в колону відбувається за допомогою насосів. Характерними особливостями процесів, що протікають на газофракціонуючих установках різного типу, є те, що ректифікація конденсату відбувається в ГФУ, в АФУ виявлено поєднання попереднього розділення газів на легку і важку фракції абсорбційним методом з подальшою їх ректифікацією, в КРФУ відбувається часткова або повна конденсація газових сумішей з подальшою ректифікацією конденсатів. Принципова схема газофракціонуючої установки(ГФУ) представлена на рис. 1.1



1-нестабільний бензин (ШФЛВ); 2-пропан; 3-стабільний газовий бензин; 4-ізобутан;5-н-бутан.

Наявність ГФУ на нафтопереробних і газопереробних заводах і їх склад пов'язані з виробництвом специфічних хімічних продуктів.

При виборі режиму роботи колон користуються такими правилами:

на практиці найчастіше використовуються схеми з низхідним тиском.

При виділенні нестабільного бензину з високим вмістом бутанів економічно вигідніше використовувати схеми з потоками, що підвищуються тиску, або, при низькому тиску вихідної сировини, зі змішаним тиском.

При розділенні деетанізованого нестабільного бензину можна використовувати тільки дві схеми: з низхідним і висхідним тиском. І тут найбільшого поширення у промисловій практиці набула схема, за якою з деетанізованого нестабільного бензину послідовно виділяють пропанову і бутанову фракції.

## 1.2 Класифікація кожухотрубних теплообмінних апаратів [2, 4, 6]

У апаратах, де йде нагрів або охолодження, відбувається теплообмін між двома потоками, при цьому один з них нагрівається.

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до найбільш поширених апаратів. Їх застосовують для теплообмінних і термохімічних процесах між різними рідинами, парами і газами – як без зміни, так і зі зміною їх агрегатного стану.

Кожухотрубні теплообмінники застосовуються в якості конденсаторів, підігрівачів і випарників. Для експлуатації в важких умовах потрібні нагрівачі та охолоджувачі, випарники і конденсатори для різних органічних і неорганічних речовин. Теплообмінникам часто доводиться працювати із забрудненими рідинами при високих температурах і тисках, і тому їх необхідно конструювати так, щоб забезпечити легкість ремонту та очищення. У даний час їх конструкція в результаті спеціальних розробок з урахуванням досвіду експлуатації стала більш досконалою.

З роками кожухотрубні теплообмінники стали найбільш широко застосовуваним типом апаратів. Це обумовлено, перш за все, надійністю конструкції, великим набором варіантів виконання для різних умов експлуатації, зокрема:

- 1.2.1 однофазні потоки, кипіння і конденсація по гарячій та холодній сторонам теплообмінника з вертикальним або горизонтальним виконанням;
- 1.2.2 діапазон тиску від вакууму до високих значень;
- 1.2.3 в широких межах змінюються перепади тиску по обидва боки внаслідок великої різноманітності варіантів;
- 1.2.4 задоволення вимог по термічним напруженням без істотного підвищення вартості апарату;
- 1.2.5 розміри від малих до гранично великих (5000 м<sup>2</sup>);
- 1.2.6 можливість застосування різних матеріалів відповідно до вимог вартості, корозії, температурного режиму і тиску;

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9



Кожухотрубні теплообмінники складаються з пучків труб, закріплених в трубних дошках, кожухів, кришок, камер, патрубків та опор. Трубний і міжтрубний простір в цих апаратах роз'єднані, причому кожний з них може бути розділений перегородками на кілька ходів.

Схеми найбільш поширених типів кожухотрубних апаратів представлені на рис. 1.2.

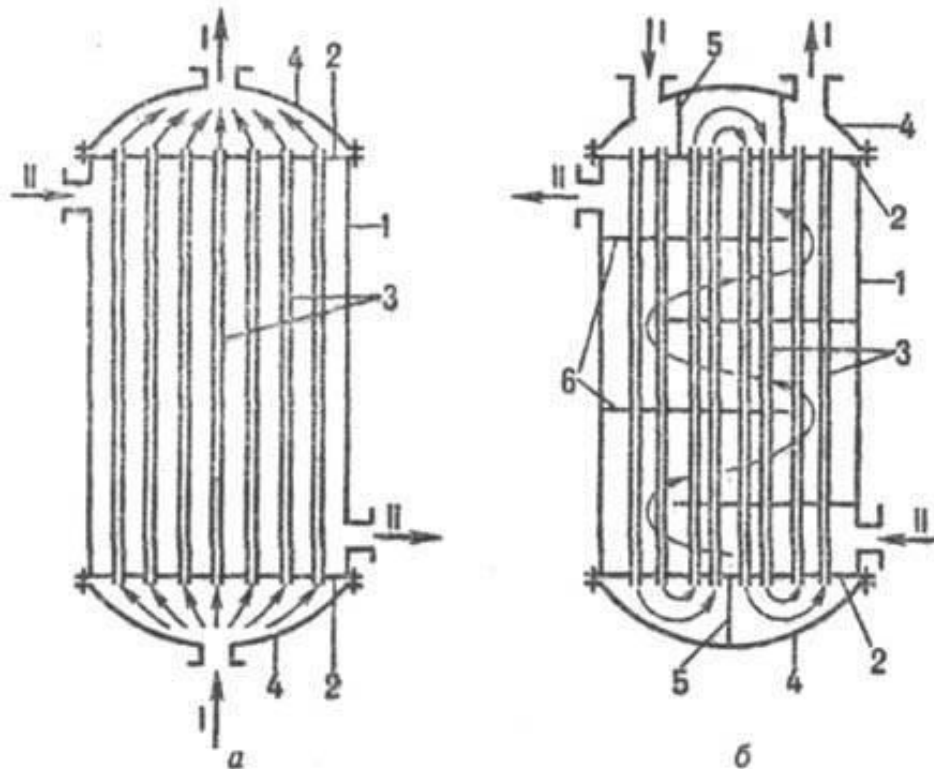


Рисунок 1.2 – Кожухотрубні теплообмінники: а) одноходовий; б) чотирьохходовий; I, II – теплоносії; 1 – корпус (кожух); 2 – трубні решітки; 3 – теплообмінні труби; 4 – кришки (розподільні камери); 5, 6 – перегородки відповідно до трубного і міжтрубного просторів

У кожухотрубних теплообмінниках теплообмін інтенсифікується збільшенням швидкості теплоносіїв шляхом установки в міжтрубному просторі поперечних перегородок і створення кількох ходів для теплоносія, що рухається по трубному простору.

Кожух (корпус) кожухотрубного теплообмінника є трубою, звареною з одного або декількох сталевих листів. Кожухи розрізняються головним чином способом з'єднання з трубою дошкою і кришками. Товщина стінки кожуха визначається тиском робочого середовища і діаметром кожуха, але повинна бути не менше 4 мм. До циліндричних країв кожуха приварюють фланці для з'єднання з кришками або днищами. На зовнішній поверхні кожуха прикріплюють опори апарату.

Трубочатка кожухотрубних теплообмінників виконується з прямих або вигнутих (U-подібних або W-подібних) труб діаметром від 12 до 57 мм. Слід надавати перевагу сталевим безшовним трубам.

У кожухотрубних теплообмінниках прохідний перетин в міжтрубному просторі в 2–3 рази більше прохідного перетину всередині труб. Тому при рівних витратах теплоносіїв з однаковим фазовим станом коефіцієнти тепловіддачі на поверхні міжтрубного простору невисокі, що знижує загальний коефіцієнт теплопередачі в апараті. Встановлення перегородок в міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника сприяє збільшенню швидкості теплоносія і підвищенню ефективності теплообміну.

Трубні дошки (решітки) служать для закріплення в них пучків труб за допомогою розвальцьовування, розбортовки, зварки, зпаювання або сальникові кріплення.

Трубні дошки приварюють до кожуха (рис. 1.3, а, в), затискають болтами між фланцями кожуха і кришки (рис. 1.3, б, г) або з'єднують болтами тільки з фланцем вільної камери (рис. 1.3, д, е). Матеріалом дошок служить зазвичай листовая сталь товщиною не менше 20 мм.

Кожухотрубні теплообмінники можуть бути:

- жорсткої (рис. 1.3, а, к), не жорсткої (рис. 1.3, г, д, е, з, і) і напів жорсткої (рис. 1.3, б, в, ж) конструкції;
- одноходові і багатоходові;
- прямоточні, протиточні і схрещені;
- горизонтальні, похилі і вертикальні.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

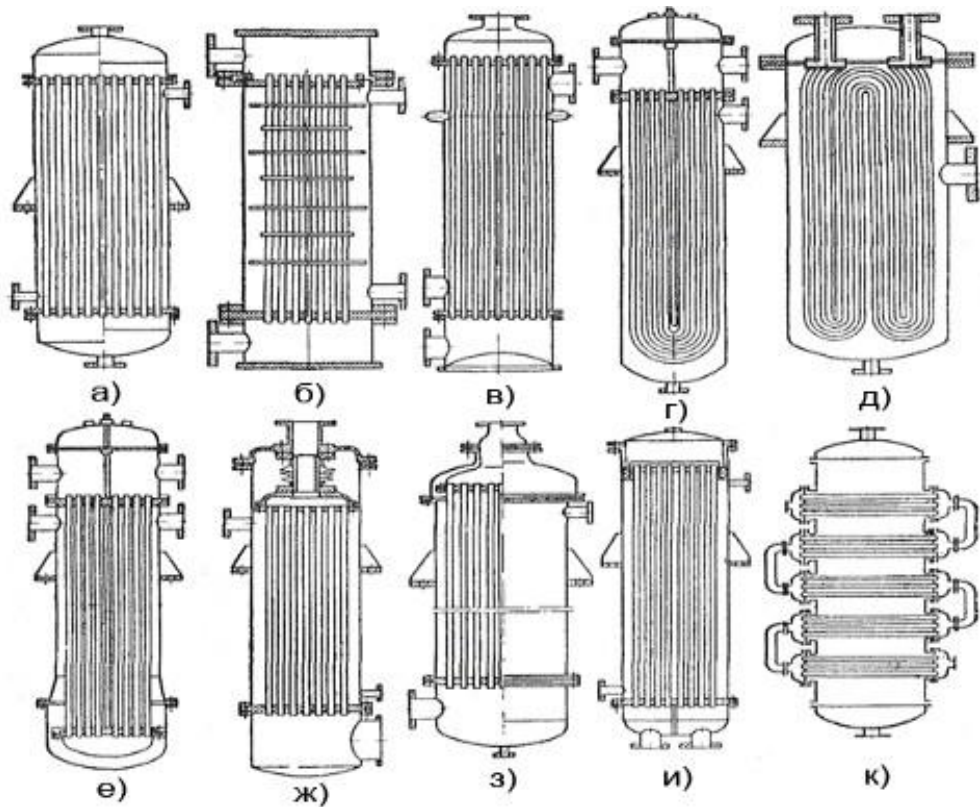


Рисунок 1.3 – Конструкції кожухотрубних теплообмінників

На рис. 1.2, а зображений одноходовою теплообмінник з прямими трубками жорсткої конструкції. Кожух і трубки пов'язані трубними ґратами і тому немає можливості компенсації теплових подовжень. Такі апарати прості за конструкцією, але можуть застосовуватися тільки при порівняно невеликих різницях температур між корпусом і пучком труб (до  $50^{\circ}\text{C}$ ). Вони мають низькі коефіцієнти теплопередачі внаслідок незначної швидкості теплоносія в міжтрубному просторі.

У парорідинних теплообмінниках пар проходить зазвичай в міжтрубному просторі, а рідина – по трубах. Різниця температур стінки корпусу і труб зазвичай значна. Для компенсації різниці теплових подовжень між кожухом і трубами встановлюють лінзові (рис. 1.3, в), сальникові (рис. 1.3, з, и) або сильфонні (рис. 1.3, ж) компенсатори.

Для усунення напружень в металі, обумовлених тепловими подовженнями, виготовляють також однокамерні теплообмінники з гнутими U- і W-образними трубами. Вони доцільні при високому тиску теплоносіїв,

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

так як виготовлення водяних камер і кріплення труб в трубних дошках в апаратах високого тиску - операції складні і дорогі. Однак апарати з гнучими трубами не отримали широкого поширення через труднощі виготовлення труб з різними радіусами вигину, складності заміни труб і незручності чистки вигнутих труб.

Компенсаційні пристрої складні у виготовленні (мембранні, сальфонні) або недостатньо надійні в експлуатації (лінзові, сальникові). Більш досконала конструкція теплообмінника з жорстким кріпленням однієї трубної дошки і вільним переміщенням другої дошки разом з внутрішньою кришкою трубної системи (рис. 1.3, е). Подорожчання апарату через збільшення діаметра корпусу і виготовлення додаткового днища виправдовується простотою і надійністю в експлуатації. Ці апарати отримали назву теплообмінників «з плаваючою головкою». Теплообмінники з схрещеними потоками (рис. 1.3, к) відрізняються підвищеним коефіцієнтом тепловіддачі на зовнішніх поверхнях внаслідок того, що теплоносій рухається поперек пучка труб. При перехресному тоці знижується різниця температур між теплоносіями, однак при достатньому числі трубних секцій відмінність в порівнянні з протитечійним режимом невелика. У деяких конструкціях таких теплообмінників при протіканні газу через міжтрубний простір і рідини в трубах для підвищення коефіцієнта тепловіддачі застосовують труби з поперечними ребрами.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

### 1.3 Фізична модель теплообмінного процесу [2, 3]

Принцип дії апарату заснований на процесі теплопередачі (теплообміну). Процес теплопередачі характеризується перенесенням теплоти всередині тіла або від одного тіла до іншого за рахунок різниці температур. Передача теплоти теплоносієм в різних теплових процесах може здійснюватися різними способами, або безпосередньою взаємодією теплоносіїв, або через роздільну перегородку (стінку труби). У нашому випадку теплообмін відбувається через стінки пучка трубопроводів малого діаметра. Процес теплопередачі характеризується трьома етапами:

- перший етап – перенесення теплоти від ядра потоку першого теплоносія до стінки (тепловіддача);
- другий етап – перенесення теплоти через стінку (теплопровідність);
- третій етап – перенесення теплоти від стінки до ядра потоку другого теплоносія (тепловіддача). При цьому кількість переданої теплоти визначається основним рівнянням теплопередачі як для стаціонарного режиму:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{CP}; \quad (1.3)$$

так і для нестационарного режиму:

$$Q' = K \cdot F \cdot \Delta t_{CP} \cdot \tau, \quad (1.4)$$

де  $Q, Q'$  – теплові потоки (кількість теплоти), передані в процесі теплопередачі, Вт (Дж);

$F$  – поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{CP}$  – рушійна сила процесу теплопередачі, °С;

$\tau$  – час, с;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup> К).

Температурне поле, що змінюється в часі називається нестационарним (несталим). Такому полю відповідає нестационарний, або несталий, тепловий режим і тепловий потік. При незмінній в часі температурі температурне поле – стаціонарне, або усталене. Відповідно тепловий режим і тепловий потік також стаціонарні.

## 1.4 Технологічний розрахунок теплообмінного процесу [2, 3]

Технологічний розрахунок установки включає:

- матеріальний баланс;
- тепловий баланс;
- технологічний розрахунок основного апарату;
- розрахунок і підбір допоміжного обладнання;
- гідравлічний розрахунок апарату.

Завданням розрахунку матеріального балансу є визначення витрати потоків, необхідних концентрацій; теплового балансу - визначення витрати нагріваючих і охолоджуючих агентів. Технологічний розрахунок апаратів виконується з метою визначення їх основних розмірів (діаметра, висоти, площі поверхні теплопередачі і т. п.). За розрахованими основними розмірами вибирається апарат за нормативними документами – ГОСТи, ОСТ і т. п.

Далі розраховуються або вибираються інші елементи апаратів (перемішуючі і контактні пристрої, штуцери, кришки і т. п.). При необхідності в цьому розділі виконується розрахунок теплової ізоляції. Необхідні для виконання розрахунків фізико-хімічні властивості речовин (густина, теплопровідність, теплоємність, в'язкість і ін.) знаходять за довідниками або розраховують за формулами. У цьому ж розділі виконується розрахунок інших апаратів установки (теплообмінників, циклонів, барометричних конденсаторів і ін.) та вибір їх по каталогам і ГОСТам.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

Розрахунок гідравлічного опору апаратів і трубопроводів здійснюється для розрахунку і вибору машин, які переміщують рідини і гази (насосів, вентиляторів, компресорів). Устаткування місткості для зберігання сировини і продукції розраховується і підбирається по нормалям, каталогам або ГОСТам з урахуванням конкретних умов їх роботи. Устаткування для зберігання сировини і продукції розраховується і підбирається по нормалям, каталогам або ГОСТам з урахуванням конкретних умов їх роботи. Усі розрахунки повинні виконуватися в Міжнародній системі одиниць вимірювань (СВ).

При виборі типу і конструкції теплообмінника враховуються такі чинники:

- призначення апарату і протікаючі в ньому процеси;
- питома теплова потужність апарату (кількість теплоти, переданої в одиницю часу через одиницю поверхні теплообміну при заданому тепловому режимі);
- гідравлічний опір;
- хімічна агресивність теплоносіїв до конструкційного матеріалу;
- ступінь забрудненості теплоносіїв і характер відкладень;
- термодинамічні параметри (температура, тиск, обсяги і агрегатний стан теплоносіїв);
- фізико-хімічні властивості;
- температурні навантаження, що виникають при різному тепловому подовженні різних частин теплообмінника;
- конструктивну досконалість: простота пристрою, малі маса і габаритні розміри, технологічність конструкції, високий ККД;
- собівартість продукції.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2 Технологічна частина

### 2.1 Опис технологічної схеми[3, 5]

Процес стабілізації газового бензину та отримання окремих вуглеводнів реалізується на газофракціонуючій установці, принципова схема якої наведена на рис. 1.1.

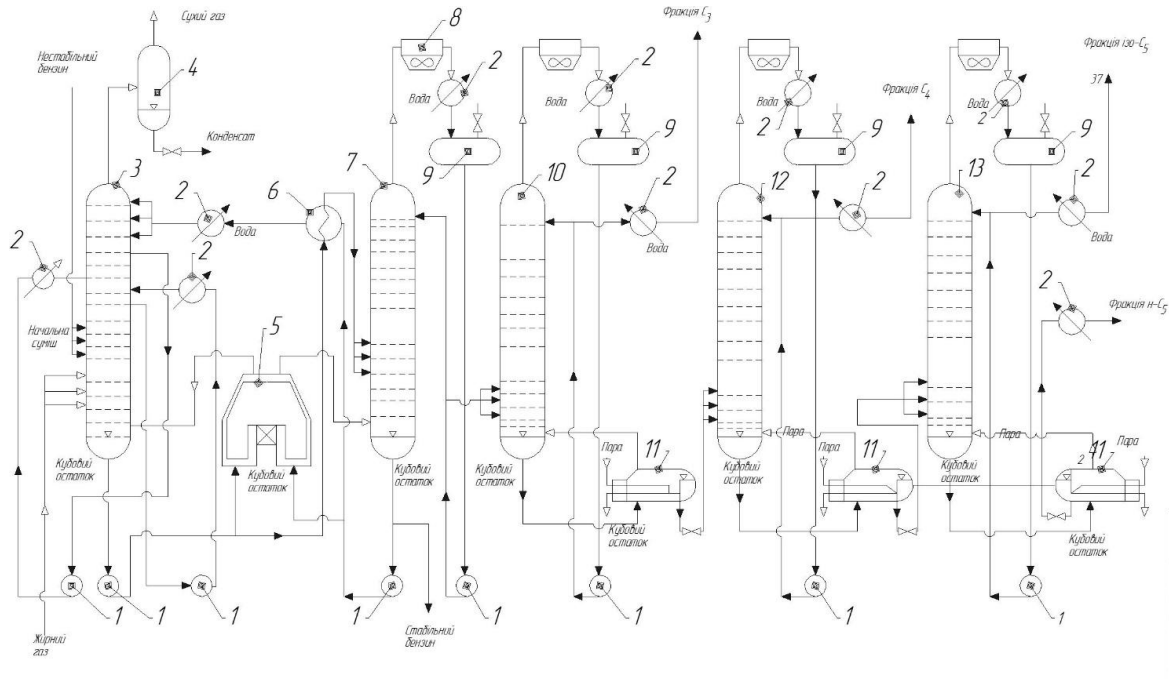


Рис. 1.1 – Технологічна схема газофракціонуючої установки.

Нестабільний бензин, а також компримований жирний газ надходять у середню частину фракціонуючого абсорбера 3. Із вершу абсорбера виходить сухий газ. У сепараторі 4 від нього відділяється конденсат, а сухий газ спрямовується у заводську паливну мережу. Абсорбер обладнаний системою циркуляційних зрошень для знімання тепла абсорбції. Тепло для відпарювання легких вуглеводнів від нестабільного бензину подається у нижню частину абсорбера за допомогою "гарячого струменя". Для цього продукт із низу абсорбера забирають насосом 1, нагрівається у трубчастій печі 5 та подається під нижню тарілку абсорбера. Регенований абсорбент (ненасичений стабільний бензин) через теплообмінник 6 та холодильник 2 подається на верх абсорбера. Деетанізований бензин після підігріву в теплообміннику 6 подається у стабілізаційну колону 7 для відділення зрідженого газу-рефлюксу (пропан, бутан і пентан).

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>		Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			17



Пари рефлюксу із верху колони 7 після конденсації в апараті повітряного охолодження 8 надходять у приймач 9.

Стабільний бензин із низу колони 7 забирають насосом 1, і частина його після нагрівання в трубчастій печі 5 подається “гарячим струменем” під нижню тарілку колони 7. Іншу частину стабільного бензину спрямовують на зрошення абсорбера 3. Частину конденсату із приймача 9 подають на зрошення колони 7, а надлишок – у пропанову колону 10. У депропанізаторі 10 пропанова фракція відділяється від бутанпентанової. Пропанові пари після конденсації в апараті повітряного охолодження 8 надходять у приймач 9. Частина пропанової фракції через холодильник 2 відводиться у товарний парк, а основна кількість подається на зрошення колони 10. Тепло у низ цієї колони підводиться за допомогою кип’ятильника 11, у трубний простір якого подається водяна пара. Частина продукту із кип’ятильника 11 спрямовується у бутанову колону 12 для відділення бутанової фракції від пентанової. Низ дебутанізатора 12 також обладнаний кип’ятильником 11, із якого через холодильник 2 у товарний парк відводиться пентанова фракція. Бутанові пари після конденсації в апараті повітряного охолодження 8 надходять у приймач 9, звідки частина конденсату йде на зрошення колони 12, а решта – на живлення колони 13. У ректифікаційній колоні 13 пентан суміш розділяється на ізопентан та нормальний пентан. [5].

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

## 2.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи процесу теплообміну, які представлені у данному підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [6–8].

Теплообміном називається процес перенесення теплоти між тілами, що мають різну температуру. При цьому теплота переходить мимовільно від більш нагрітого до менш нагрітого тіла. Теплообмін між тілами є обмін енергією між молекулами, атомами і вільними електронами, в результаті, якого інтенсивність руху частинок більш нагрітого тіла знижується, а менш нагрітого - зростає. Всі теплообмінні процеси можна умовно розділити на наступні групи: нагрівання, охолодження, конденсація, випаровування.

Нагрівання - підвищення температури матеріалів шляхом підведення тепла. Охолодження – зниження температури матеріалів шляхом відводу від них тепла. Конденсація - зниження пари якої-небудь речовини шляхом відводу від них тепла. Випаровування - перехід в пароподібний стан будь-якої рідини шляхом підведення до неї тепла. Окремим випадком випаровування є процес випарювання - концентрування при кипінні розчинів твердих нелетких речовин шляхом видалення рідкого летючого розчинника у вигляді пари.

Рухійною силою будь-якого теплообмінного процесу є різниця температур середовищ, при наявності якої тепло поширюється від середовища з більшою температурою до середовища з меншою температурою. Тіла, які беруть участь в теплообміні, називаються теплоносіями. Теплоносії з більш високою температурою називають гарячими, теплоносії з більш низькою температурою - холодними. Дуже важлива також схема руху теплоносіїв. Від неї сильно залежить характер процесу. Існує кілька схем руху потоків теплоносіїв. Прямоточна схема гарячий теплоносій взаємодіє з холодним через стінку при цьому потоки

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

спрямовані паралельно один одному і в одному напрямку, протинапрямкові потоки паралельні, але спрямовані в протилежні сторони, перехресні потоки спрямовані під кутом відносно один одного.

Тепловіддача при конденсації, а також тепловіддача при кипінні рідин протікають при зміні агрегатного стану теплоносіїв. Особливість цих процесів полягає насамперед в тому, що тепло підводиться або відводиться при постійній температурі.

Тепловіддача при конденсації насичених парів є складне явище одночасного переносу теплоти (визначається теплотою пароутворення) і маси (яка визначається кількістю сконденсованого пара). Конденсація насиченої пари на охолодженій поверхні призводить до значної інтенсифікації теплообміну в порівнянні, наприклад, з теплообміном від газу до стінки. При цьому механізм конвекції абсолютно інакший. Молекули пара не тільки переносяться до охолоджувальної стінки вихорами турбулентного потоку, а й створюють ще й власні поступальні рухи до стінки, так як в безпосередньому сусідстві з нею відбуваються конденсація пара і різке зменшення його обсягу. Утворений конденсат стікає по стінці, а до стінки підходить свіжий пар. Чим холодніша стінка, тим інтенсивніше відбувається конденсація і рух молекул пара до стінки. Перенесення теплоти з основної маси пара до стінки відбувається настільки швидко, що ступінь турбулізації потоку не істотно не впливає на процес і часто може не враховуватися в розрахунках.

На добре змочуваних поверхнях краплі конденсату, зливаючись один з одним, утворюючи рідку плівку, яка під дією сили тяжіння стікає.

У процесі теплопередачі перенесення тепла конвекцією супроводжують теплопровідність та теплообмін випромінюванням. Однак для конкретних умов переважаючим зазвичай є один із видів розповсюдження тепла.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

У безперервно діючих апаратах температури в різних точках не змінюються в часі і процеси теплообміну, що протікають, є встановленими (стаціонарними). У періодично діючих апаратах, де температури змінюються в часі (при нагріванні або охолодженні), здійснюються процеси теплообміну, що не встановилися, або нестаціонарні.

Розрахунок теплообмінної апаратури включає:

Визначення теплового потоку (теплове навантаження апарату), тобто. кількості тепла  $Q$ , яке має бути передано за певний час (у безперервно діючих апаратах за 1сек чи 1 год, у періодично діючих - за одну операцію) від одного теплоносія до іншого. Тепловий потік обчислюється шляхом складання та вирішення теплових балансів. Виникнення процесу кипіння можливе лише за наявності в рідині центрів пароутворення, якими є зважені частинки та нерівності, мікротріщини поверхні нагрівання, а також адсорбовані на поверхні нагрівання газу. При випаровуванні рідини в порожнині бульбашок обсяг їх збільшується, і бульбашки, досягнувши певного розміру, відриваються від стінки. Розмір міхура при обриві визначається умовами механічної рівноваги між підйомною силою, що прагне відірвати пляшечку від поверхні і силою поверхневого натягу, що утримує його на поверхні.

Після зародження парові міхури швидко ростуть, відриваються від поверхні та спливають, але невеликі частини їх залишаються на поверхні та служать зародками наступних міхурів (рис. 1.2) Самі бульбашки забирають від поверхні, що обігривається, трохи теплоти, але вони інтенсивно перемішують рідину у всьому обсязі і головне - в прикордонному шарі, приводячи до різкої інтенсифікації тепловіддачі до киплячої рідини в порівнянні зі звичайною природною конвекцією.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

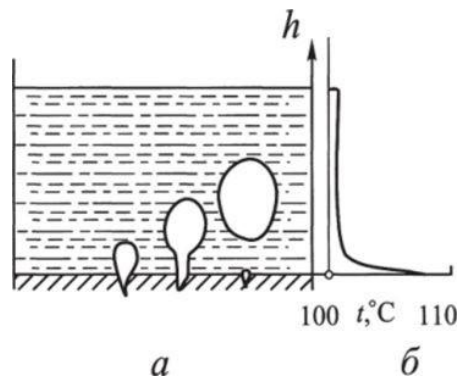


Рисунок 1.2 - Схема зародження парових міхурів в мікрої ретині поверхні, щообігривається (а) і розподіл температури по висоті судини з киплячою водою (б)

Для передачі теплоти від стінки до окропу необхідний перегрів стінки щодо температури насичення цієї рідини. На рис. 11-9 показана типова залежність коефіцієнта тепловіддачі та питомого теплового навантаження від температурного напору при кипінні рідини.

Тепловіддача при кипенні рідини  $T = T_{\text{СТ}} - T_{\text{КІП}}$  ( $T_{\text{СТ}}$  і  $T_{\text{КІП}}$  - відповідно температура стінки з боку киплячої рідини і температура кипіння).

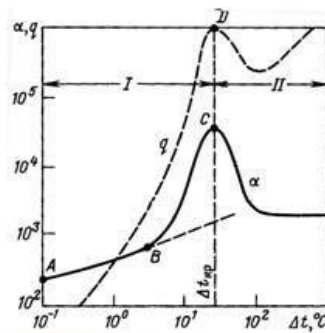


Рисунок 1.3 - Залежність коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  і питомого теплового навантаження  $q$  мг температурного напору

В області АВ Перегрів рідини малий ( тепловіддача при кипенні рідини  $T < 5 \text{ K}$ ), Мало також кількість активних центрів пароутворення - мікробашок, і інтенсивність теплообміну визначається в основному закономірностями тепловіддачі вільної конвекції. У цій області коефіцієнт тепловіддачі тепловіддача при кипінні рідин  $\sim$  тепловіддача при кипінні рідин. При подальшому підвищенні тепловіддачі при кипінні рідин  $T = T_{\text{СТ}} - T$

Збільшується число активних центрів пароутворення, і коефіцієнт тепловіддачі різко зростає (відрізок ВС На рис. 1.3). Цю область називають пухирчастим, або ядерним кипінням.

Визначення поверхні теплообміну апарату, що забезпечує передачу необхідної кількості тепла в заданий час. Величина поверхні теплообміну визначається швидкістю теплопередачі, яка залежить від механізму передачі тепла - теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням та їх поєднанням один з одним. Поверхня теплообміну знаходять із основного рівняння теплопередачі. Тепло, що віддається більш нагрітим теплоносієм, витрачається на нагрівання холоднішого теплоносія, і деяка відносно невелика частина тепла витрачається на компенсацію втрат тепла апаратом в навколишнє середовище. Величина теплових втрат в теплообмінних апаратах, покритих тепловою ізоляцією, не перевищує 3-5% тепла, що корисно використовується. Тому в розрахунках нею можна знехтувати. Тоді тепловий баланс виявиться рівністю

$$Q = Q_1 = Q_2,$$

де  $Q$  – теплове навантаження апарата;

$Q_1$  – тепло, що віддається гарячим теплоносієм;

$Q_2$  – тепло поглинається холодним теплоносієм.

Розрахунок теплообмінного апарату включає: визначення необхідної поверхні теплопередачі, вибір типу апарату і нормалізованого варіанти конструкції, які відповідають заданим технологічним умовами оптимальним чином. Необхідну поверхню теплопередачі визначають з основного рівняння теплопередачі:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

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

$\Delta t_{cp}$  - середня різниця температур, °С;

$K$  - коефіцієнт теплопередачі, Вт / (м<sup>2</sup> · К).

Теплове навантаження  $Q$  відповідно до заданими технологічними умовами знаходять по одному з наступних рівнянь:

Якщо агрегатний стан теплоносіїв не змінюється:

$$Q = G \cdot C \cdot (t_1 - t_2)$$

$t_1$  ,  $t_2$  - температури теплоносія на вході і виході з теплообмінника, °С. При випаровуванні рідини без попереднього нагрівання:

$$Q = G \cdot r$$

де  $r$  - питома теплота пароутворення, Дж / кг.

При випаровуванні рідини з попереднім підігрівом:

$$Q = G \cdot (I - C_i)$$

де  $C$  - теплоємність теплоносія, Дж/(кг · К)

### 2.3 Пристрій і принцип дії проектуваного апарата[12,13]

Кожухотрубний теплообмінник включає в себе кілька елементів конструкції: кожух (корпус), розподільна і спрямовуюча камери, внутрішня система трубок, трубні решітки; перегородки і ущільнення.

До корпусу приварюються два патрубки. Один із них відповідає за підведення робочого середовища, а інший – за його відведення. У торці кожуха приварюють спеціальні фланці.

Крім цього, до складу такого теплообмінника входять трубні решітки, між якими приварюються труби, оснащені дистанційними штифтами. Така конструкція утворює трубну систему рекуператора і дозволяє пристрою бути багатогодовим.

										Лист
										24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>					

До випаровувачів пред'являються ті ж вимоги, що і до інших видів теплообмінників: висока інтенсивність теплопередачі, мала витрата металу і ін. Залежно від конструктивних особливостей розрізняють кожухотрубні, кожухозмійовикові, вертикальнотрубні і ін. випаровувачі.

Випарник (рис. 1.4) являє собою горизонтальний циліндричний кожухотрубний теплообмінний апарат з паровим простором. Апарат утворений трубним і міжтрубним простором.

Трубний простір, в якому рухається гарячий теплоносій, в даному випадку водяна пара, утворена розподільною камерою і трубами.

Найбільшого поширення набули кожухотрубні випаровувачі

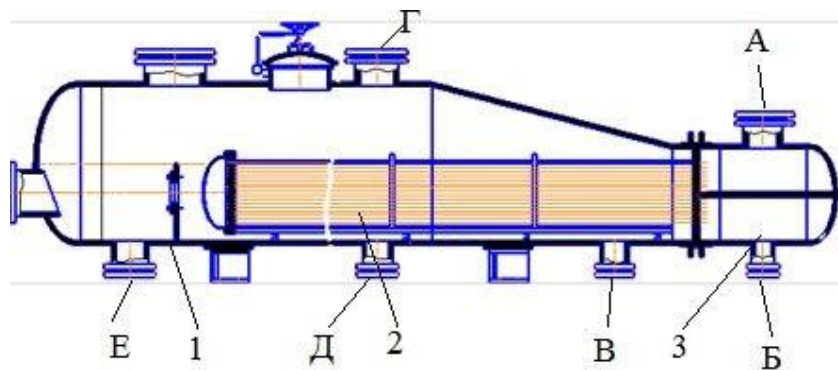


Рисунок 1.4 - Конструкція випарника з паровим простором 1 – корпус; 2 - трубний пучок; 3 – розподільна камера

А – Вхід пари; Б - Вихід конденсату; В – Вхід сировини; Г – Вихід парусировини; Д – Дренаж; Е – для зливу

Пар підводиться у верхню частину випаровувача в трубний простір.

Сировина подається в нижню частину випаровувача.



Перевагами кожухотрубних випаровувачів є простота і компактність конструкції, значна інтенсивність теплопередачі, можливість пристрою закритої системи циркуляції охолоджуючої середовища.

Матеріал кожуха, звичайний для випаровувачів, зварена з листової сталі обичайка. Труби обрані сталевими, які завальцьовані в трубну решітку.

Завданням конструктивного розрахунку випаровувача є визначення його основних розмірів.

Як і у всякому іншого типу теплообміннику в випаровувачі здійснюється передача теплоти від більш нагрітого теплоносія до менш нагрітого. Причому передача тепла від гарячого теплоносія до холодного здійснюється через розділяє поверхню теплообміну.

Корпус апарату виконаний у вигляді циліндричної обичайки з листового матеріалу, причому внутрішній діаметр корпусу приймається відповідно до стандартного значенням ряду чисел. Товщина стінки корпусу визначається з розрахунку на міцність. Кінці трубок закріплюють на ігровому полі. Трубна решітка представляє собою диск, в якому висвердлені отвори під трубки і служить разом з трубками для поділу трубного і міжтрубному простору. Розміщення отворів в решітці і їх крок регламентуються нормативними документами. Кріплення труб в трубній решітці повинна бути міцною, герметичним і забезпечувати легку заміну труб.

Розподільні камери і кришки призначені для розподілу потоку робочого середовища за теплообмінних труб. Для створення необхідного числа ходів розподільної камери встановлюють перегородки.

Також в конструкції теплообмінника присутні фланці, прокладки і

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

кріпильні елементи, які призначені для з'єднання складових частин апарату і повинні забезпечувати герметичність з'єднання. Труби в кожухотрубних теплообмінниках намагаються розмістити так, щоб зазор між внутрішньою стінкою кожуха і поверхнею, що обгинає пучок труб, був мінімальним, в іншому випадку значна частина теплоносія може минути основну поверхню теплообміну. Для зменшення кількості теплоносія, що проходить між трубним пучком і кожухом, в цьому просторі встановлюють спеціальні наповнювачі або глухі труби, які не проходять через трубні решітки та можуть бути розташовані безпосередньо у внутрішній поверхні кожуха.

У промисловості використовуються різноманітні типи жароміцного теплообмінного устаткування, проте найбільш широке застосування знаходять кожухотрубні теплообмінники. Ці теплообмінники не володіють особливою компактністю, але мають високу механічну міцність і можуть бути використані в різних областях. Як один з різновидів кожухотрубних теплообмінників, конденсатори також отримали дуже широке поширення в різних галузях промисловості.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

## 2.4 Технологічний розрахунок

### 2.4.1 Матеріальні баланси

Вихідні дані: Продуктивність за сировиною 20000 кг/год, мольна маса сировини 55 кг/кмоль. Холодний теплоносій (у міжтрубному просторі) – вуглеводнева рідина під тиском 1,47 МПа. Число молей вуглеводневої рідини, що надходить у випарник, (на 100 кмоль сировини) 158,4; її склад (% мол.): C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> – 8; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> – 72; C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> – 20. Початкова температура вуглеводневої рідини 105 °С. Гарячий теплоносій (у трубному просторі) – водяна пара, що конденсується під тиском 0,785 МПа. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник з паровим простором і плаваючою голівкою

Кількості, склади та температури потоків, що надходять у випарник і ті, що виходять з нього, наведені у табл. 1.1

Поток	Позначення	Склад		Число молей на 100 кмоль	Т. К
Флкгма з колони в випарник	R+V <sub>R</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,08	158,4	378
		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,72		
		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,2		
Нижній продукт колони	R	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,041	63,4	383
		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,666		
		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,293		
Пари з випарника в колону	V <sub>R</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,105	95	383
		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,76		
		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,135		

### 2.4.2 Теплові (енергетичні) баланси[4,5,12]

Теплове навантаження випарника.

Ця величина визначається рівняння теплового балансу випарника :

$$(R + V_R) q_{T_1}^* + Q'_p = R q_{T_1}^* + V_R q_{T_1}^u$$

де Q'p, - Витрата тепла у випарнику (теплове навантаження), кДж на 100 кмоль сировини; R і V<sub>R</sub> кількості потоків, кмоль на 100 кмоль

сировини (див. табл. 1.1);  $q_{T_1}^*$ ,  $q_{T_2}^*$ ,  $q_{T_2}^n$  - ентальні потоків при відповідних температурах, кДж/кмоль.

Попередньо знайдемо середні молекулярні маси потоків, користуючись даними табл. 2.1:

$$M_{R+VR} = 44 \cdot 0.08 + 58 \cdot 0.72 + 72 \cdot 0.2 = 59.68$$

$$M_R = 44 \cdot 0.041 + 58 \cdot 0.666 + 72 \cdot 0.293 = 61.53$$

$$M_{VR} = 44 \cdot 0.105 + 58 \cdot 0.76 + 72 \cdot 0.135 = 58.42$$

Знаходимо ентальпію потоків:

$$q_{T_1}^{ж'} = q_{378}^{ж'} = 410,3 \cdot 59,68 = 24486,7 \text{ кДж/кмоль}$$

$$q_{T_2}^{ж'} = q_{383}^{ж'} = 422,9 \cdot 61,5 = 26008,35 \text{ кДж/кмоль}$$

$$q_{T_2}^{ж'} = q_{383}^{ж'} = 690,8 \cdot 58,4 = 40342,7 \text{ кДж/кмоль}$$

Тоді

$$Q_p = 63.4 \cdot 26008 + 95 \cdot 40343 - (63.4 + 95) \cdot 24487 = 1.603 \cdot 10^6 \text{ кДж на } 100 \text{ моль}$$

сировини

Число молей сировини, що подається в колону:

$$G_1 = \frac{20000}{55} = 364 \text{ кмоль/год}$$

Годинна витрата тепла у випарнику:

$$Q_p = Q_p' \frac{G_1}{100} = 1.603 \cdot 10^6 \frac{364}{100} = 5.84 \text{ кДж/год} = 1622 \text{ кВт}$$

Витрата пари, що гріє.

Як гарячий теплоносій у випарнику використовується водяна пара.

Флегма, що надходить у випарник, нагрівається від  $T_1 = 378 \text{ К}$

до  $T_2 = 383 \text{ К}$  і частково випаровується за рахунок тепла конденсації водяної пари. На основі даних промислової експлуатації аналогічних випарників і з метою забезпечення достатнього температурного напору при теплопередачі від водяної пари, що конденсується, до киплячої флегми параметри гріючої пари: тиск  $P = 785 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ; температура  $T_s = 443 \text{ К}$ ; теплота конденсації  $r = 2049,5 \text{ кДж/кг}$ .

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Витрата пари визначимо з наступної рівності:

$$G_n = \frac{Q_p}{r\eta_T}$$

де  $\eta_T$  коефіцієнт використання тепла в апараті, що приймається рівним 0,95

$$G_n = \frac{1622 \cdot 10^6 \cdot 3,6}{2049,5 \cdot 0,95} = 2999 \text{ кг/год}$$

Щільність парової фази визначимо за рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$\rho_n = \rho_0 \frac{T_0}{T_s} \cdot \frac{\pi}{\pi_0}$$

де  $\rho_0$  - щільність пари за нормальних умов,  $\text{кг/м}^3$ :  $T_0 = 273 \text{ К}$ ;  $\pi = 1,47 \cdot 10^6 \text{ Пар}$ -тиск у випарнику;  $\pi_0 = 98,1 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ;

$$\rho = \frac{MVR}{v} = \frac{58,42}{22,4} = 2,6$$

Після підстановки всіх величин формулу отримаємо:

$$\rho_n = 2,6 \frac{273}{383} \cdot \frac{1,47 \cdot 10^6}{98,1 \cdot 10^3} = 28 \text{ кг/м}^3$$

Відносну густину рідини (залишку) можна визначити за формулою Мамедова

$$\rho_{277}^{293} = \frac{0,590 M_R - 6,479}{0,693 M_p + 7,581}$$

де  $M_a = 61,53$  Отримаємо:

$$\rho_{277}^{293} = \frac{0,590 \cdot 61,5 - 6,479}{0,693 \cdot 61,5 + 7,581} = 0,6$$

Після цього за ціми формулами або графіками знаходимо щільність залишку при температурах:

$$\begin{aligned} T_2 = 383 \text{ К} & \quad \rho_{ж} = 528 \text{ кг/м}^3 \\ T = 288 \text{ К} & \quad \rho_{ж} = 602 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Температурний тиск по поверхні нагрівання випарника.

Температура гарячого теплоносія — водяної пари, що конденсується, — залишається незмінною і рівною  $T_s = 443$  К. Отже, температурний напір у випарнику буде однаковим по всій його поверхні та рівним

$$\Delta T = T_s - T_2 = 433 - 383 = 60 \text{ К}$$

Вибір типу апарату. Для знаходження стандартного типорозміру апарату необхідно визначити орієнтовну поверхню теплообміну репранового холодильника з огляду на те, що у ньому йде процес часткової конденсації вуглеводневої суміші.

## 2.5 Конструктивні розрахунки апарата [5,12]

Орієнтовна поверхня теплообміну розраховується за такою формулою:

$$F = \frac{Q_1}{K_0 \Delta t_{cp}}$$

де  $K_0$ —орієнтовний коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Відповідно до рекомендації коефіцієнти теплопередачі в конденсаторах-випарниках практично знаходяться в межах  $230\text{--}580$   $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Для цього випадку приймається, що коефіцієнт теплопередачі  $K=450$   $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Середній температурний напір в апараті дорівнює:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\text{макс}} - \Delta t_{\text{мін}}}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\text{макс}}}{\Delta t_{\text{мін}}}}$$

$\Delta t_{\text{макс}}$  та  $\Delta t_{\text{мін}}$ — максимальна та мінімальна різниця температур,  $^\circ\text{C}$ .

З боку пару, що кипить у міжтрубному просторі, температура залишається постійною і рівною  $t_s = 170^\circ\text{C}$

									Лист
									31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\Delta t_{\text{макс}} = t_s - t_1 = 170 - 105 = 65^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{мін}} = t_s - t_2 = 170 - 110 = 60^\circ\text{C}.$$

Середня різниця температур визначається по середньологарифмічній залежності:

$$Dt_{cp} = \frac{Dt_6 - Dt_m}{2.3 \ln \frac{Dt_6}{Dt_m}} = \frac{65 - 60}{2.3 \ln \frac{65}{60}} = 62,5^\circ\text{C},$$

Тоді поверхня теплообміну буде рівна:

$$F = \frac{1622 \cdot 10^3}{450 \cdot 62,5} = 57,6 \text{ м}^2$$

По отриманих числовому значенні поверхні теплообміну вибираємо горизонтальний випарник з плаваючою головкою.

За ГОСТ 14248-79 найближче підходить випарник з паровим простором, який має параметри:

Діаметр кожуха

$$D = 1000 \text{ мм};$$

Число ходів  $Z = 2$ ;

Число труб  $n_T = 132$ ;

Поверхня теплообміну  $F = 62 \text{ м}^2$ ;

Довжина труб  $H = 6,0 \text{ м}$ ;

Площа перетину трубного простору  $f_{\text{тр}} = 0,04 \text{ м}^2$ ;

Площа перетину міжтрубного простору

$$F_{\text{мтр}} = 0,785 \cdot (D^2 - d_n^2 \cdot n_T)$$

$$F_{\text{мтр}} = 0,785 \cdot (1^2 - 0,025^2 \cdot 132) = 0,735$$

Периметр, що змочується сировиною

$$\Pi = \pi \cdot (D^2 - d_n^2) \cdot n_T$$

$$\Pi = \pi \cdot (D^2 - d_n^2) \cdot n_T = 3,14 \cdot (1^2 - 0,025^2 \cdot 132) = 2,88 \text{ м.}$$

Еквівалентний діаметр міжтрубного простору

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f_{\text{мтр}}}{\Pi}$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f_{\text{мтр}}}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,735}{2,88} = 1,02 \text{ м.}$$

Швидкість руху сировини

$$\omega_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot f_{\text{мтр}}}$$

$$\omega_1 = \frac{5,555}{528 \cdot 0,735} = 0,014 \text{ м/с.}$$

Виконуємо уточнюючий розрахунок теплообмінника

Для випадку конденсації водяної пари всередині горизонтальних труб значення коефіцієнта тепловіддачі знаходимо за формулою

$$\alpha_k = 1,36 \cdot A \cdot q_k^{0,5} \cdot l^{0,35} \cdot d^{-0,25},$$

де  $q_k$  – питоме теплове навантаження при конденсації пари;  $l$  – довжина труб,  $l = 6 \text{ м}$ ;

$d$  – внутрішній діаметр труб,  $d = 25 - 4 = 21 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт  $A$  при конденсації водяної пари усередині горизонтальної труби наведено на рис. 4-8 [2].

Значення  $A$  для пари береться за температури  $t_{\text{кон}} = 170^\circ\text{C}$

$$A = 8,0.$$

$$\alpha_k = 1,36 \cdot 8,0 \cdot q_k^{0,5} \cdot 6^{0,35} \cdot 0,021^{-0,25} = 53,3 \cdot q_k^{0,5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку киплячого пропану знаходимо за формулою 4-78.

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \cdot \phi \cdot p^{0,4} \cdot q^{0,7}.$$

Для пропану приймаємо  $\phi = 0,45$ .

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$\varphi$  – множник, що враховує фізичні властивості рідин

$$\text{При } \rho = 4.1 \text{ кг/см}^3.$$

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \cdot 0,45 \cdot q^{0,7} \cdot 4.1^{0,4} = 2,15 \cdot q^{0,7}$$

При процесі теплообміну, що встановився.

$$q_{\text{конд}} = q_{\text{ст}} = q_{\text{кип}},$$

де

$$q_{\text{конд}} = \alpha_{\text{конд}} \cdot (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}})$$

$$q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{ст1}} - t_{\text{ст2}}}{\Sigma r_{\text{ст}}}$$

$$q_{\text{кип}} = \alpha_{\text{кип}} \cdot (t_{\text{ст2}} - t_{\text{кип}})$$

Приймаємо теплову провідність забруднень з боку пари, що конденсує.

$$\frac{1}{r_{\text{загр1}}} = 5800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

з боку киплячого пропану [2]:

$$\frac{1}{r_{\text{загр2}}} = 5000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Теплопровідність сталі

$$\lambda = 46,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Таким чином, термічний опір стінки складе

$$\Sigma r_{\text{ст}} = r_{\text{загр1}} + r_{\text{ст}} + r_{\text{загр2}} = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5000} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Оскільки  $t_{ст1}$  і  $q$  заздалегідь невідомі, далі розраховуємо методом послідовних наближень. Тобто за різними прийнятими значеннями  $t_{ст}$  знаходимо залежність  $q$  від  $t_{ст}$ . Величина  $t_{ст}$  повинна перебувати в межах  $170^{\circ}$ -  $166^{\circ}$ С.

Розрахунок зводимо до таблиці 1.1

$t_{ст1}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{конд} - t_{ст1},$	$q_1 = 4445 (170 - t_{ст1}) 0,75$	$\Delta t_{ст} = 4,5 \cdot 10^{-4} q_1$	$t_{ст2} = t_{ст1} - \Delta t_{ст}$	$\Delta t_2 = t_{ст2} - 170$	$q_2 = 13460 \cdot \Delta t_2$
170	1	5634	0,77	175,2	5,2	70000
168	2	5601	1,3	173,7	3,7	50000
166	4	5534	1,76	172,2	2,24	30000

Розрахунок  $\alpha_k$  знаходимо за формулою

$$\alpha_k = 53,3 \cdot q_k^{0,5} = 53,3 \cdot [\alpha_k \cdot (t_{конд} - t_{ст1})]^{0,5}$$

$$\alpha_k = 53,3 \cdot \alpha_k^{0,5} (t_{конд} - t_{ст1})^{0,5} = 53,3 \cdot \alpha_k^{0,5} \cdot \Delta t_1^{0,5}$$

Звідки

$$\alpha_k^{0,5} = 53,3 \cdot \Delta t_1^{0,5}$$

$$\alpha_k = 53,3^2 \cdot \Delta t_1 = 2840 \cdot \Delta t_1$$

За результатами третього розрахунку знаходимо середній тепловий потік

$$q_{ср} = \frac{q_1 + q_3}{2} = \frac{30000 + 70000}{2} = 50000 \text{ Вт/м}^2.$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі

$$K_{\text{вип}} = \frac{q_{\text{ср}}}{\Delta t_{\text{ср}}} = \frac{50000}{62,5} = 800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

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

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}$$

де  $V$  і  $G$  - об'ємний і масовий витрати рідини або пари відповідно,  $\text{м}^3/\text{с}$  і  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $\rho$  - щільність потоку середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$w$  - швидкість витікання середовища,  $\text{м} / \text{с}$ .

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв (відповідно до [2-4]): для рідин 0,1 ... 0,5 м/с при протіканні і 0,5 ... 2,5 м / с в напірних трубопроводах;

- для пара 20 ... 40 м/с;

- для газів 5 ... 15 м/с.

Діаметр патрубку для входу сировини в апарат  $d_n$ , м:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 2}} = 0,096 \text{ м}$$

Відповідно до ГОСТ 14248-79 приймаємо штуцер для вводу сировини  $D_y = 100$  мм.

Діаметр патрубку для виходу парової фази з апарату  $d_k$ , м:

$$d_{\text{кx}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,833}{3,14 \cdot 4,1 \cdot 30}} = 0,093 \text{ м}$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до ГОСТ 14248-79 приймаємо штуцер для виводу парової фази  $D_y = 300$  мм

Діаметр патрубка для входу пара в апараті  $d_{вх}$ , м

$$d_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,833}{3,14 \cdot 4,1 \cdot 30}} = 0,093 \text{ м}$$

Відповідно до ГОСТ 14248-79 приймаємо штуцер для вводу пара  $D_y = 100$  мм

Діаметр патрубка для виходу конденсата пара в апараті  $d_{вх}$ , м:

$$d_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,833}{3,14 \cdot 998 \cdot 1}} = 0,01 \text{ м}$$

Відповідно до ГОСТ 14248-79 приймаємо штуцер вивода конденсата з пара  $D_y = 25$  мм.

## 2.6 Визначення гідравлічного опору апарата

Розрахунок гідравлічного опору теплообмінника виконано у відповідності до методики [10].

Повний гідравлічний опір теплообмінника:

$$\Delta P = \Delta P_{тр} + \Delta P_{м} = \left( \lambda \frac{L}{d - 2s} + \sum \xi_{м} \right) \frac{w_{г}^2 \rho_{г}}{2}$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя;

$\xi_{м}$  – коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в гідравлічно шорстких трубах:

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

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

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

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

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в апараті:

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

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

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

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

## 2.7 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі сировини в теплообмінник.

Витрата сировини

$$V = \frac{5,555}{528 \cdot 0,735} = 0,014 \text{ м}^3$$

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

Геометрична висота підйому 2 м. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлений один нормальний вентиль, на лінії нагнітання - один нормальний вентиль і дросельна заслінка, є також два коліна під кутом 90°. Прийmemo швидкість сировини у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однаковою, рівною 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}},$$

де  $\omega$  - швидкість пропану, м / с;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 2}} = 0,096 \text{ м.}$$

Приймаємо трубопровід зі сталі марки 12X13, діаметром 100 × 3 мм  
Визначаємо величину критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{1 \cdot 0,098 \cdot 520}{1,19 \cdot 10^{-3}} = 46780,$$

отже - режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість стінок труб,  $e = 0,2$  мм [2],  
ступінь шорсткості

$$\frac{d}{e} = \frac{98}{0,2} = 490.$$

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

За рис 1.5 [2, с. 22] знаходимо значення коефіцієнта тертя  $\lambda = 0,031$ .

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів [4, с.26]: для всмоктуючої лінії

- вхід в трубу  $\varepsilon = 0,5$ ;

- нормальний вентиль, для  $d = 0,056$  мм,  $\varepsilon = 5,4$ ;

$$\Sigma \varepsilon_{\text{вс}} = 0,5 + 5,4 = 5,9;$$

для нагнітальної лінії

- вихід з труби  $\varepsilon = 1,0$ ;

- нормальний вентиль  $\varepsilon = 5,4$ ;

- дросельна заслінка  $\varepsilon = 0,9$ ;

- коліно під кутом  $90^\circ$

$$\varepsilon = 1,6. \text{ отже, } \Sigma \varepsilon_{\text{н}} = 1 + 5,4 + 0,9 + 2 \cdot 1,6 = 10,5$$

Визначаємо втрати напору: у всмоктувальній лінії

$$h_{\text{вс}} = \left( 0,031 \cdot \frac{3}{0,098} + 5,9 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,42 \text{ м.}$$

нагнітальної лінії

$$h_{\text{н}} = \left( 0,031 \cdot \frac{20}{0,098} + 10,5 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,35 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

$$h_{\eta} = 0,42 + 1,35 = 1,77 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір [2]

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_r + h_n$$

де  $\Delta p$  - тиск, Па;  $H_r$  - геометричний напір.

$$H = \frac{0,15 \cdot 10^6}{520 \cdot 9,81} + 2 + 1,77 = 29,43 \text{ м.}$$

Корисна потужність насоса

$$N_n = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot V}{1000}$$

де  $V$  - витрата сировини, м<sup>3</sup>/с;

$$N_n = \frac{520 \cdot 9,81 \cdot 29,43 \cdot 0,014}{1000} = 0,659 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

$$N_{дв} = \frac{N_n}{\eta_n \cdot \eta_{п}}$$

де  $\eta_n$ - к.к.д. насоса;  $\eta_{п}$ - к.к.д. передачі.

$$N_{дв} = \frac{0,659}{0,6 \cdot 1,0} = 1,08 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{уст} = \frac{1,2 \cdot N_{дв}}{\eta_{дв}} = \frac{1,2 \cdot 1,08}{0,8} = 1,6 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо при  $V = 0,014 \text{ м}^3/\text{с} = 27 \text{ м}^3/\text{год}$  відцентровий насос марки ХМ 200-32 з наступною характеристикою: продуктивність 0,02 м<sup>3</sup>/с, напір 32 м. Насос забезпечений електродвигуном номінальною потужністю 2,2 кВт і частотою обертання 2900 об / хв.

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.Проектно-конструкторська частина

#### 3.1 Вибір конструкційних матеріалів

Згідно з рекомендаціями [11-13] для даної суміші запропоновані наступні марки сталей, стійких в даному середовищі і рекомендованих при конструюванні хімічної апаратури: Стали ХІ7, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т, 16ГС; антегмиты АТМ-1, АТМ-1 Г, АТМ-10. Розглянувши якісні та експлуатаційні характеристики запропонованих марок сталей, їх механо- технологічні властивості і загальну оцінку корозійної стійкості , вибираємо сталь 16ГС.

Сталь 16ГС ГОСТ 19282. Замінники: Сталь 17ГС, Сталь 15ГС, Сталь 20Г2С, Сталь 20ГС, Сталь 18Г2С.

Основні фізико-механічні властивості:

модуль пружності Е, МПа.....	200000
модуль зсуву G, МПа.....	77000
густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> .....	7850
межа міцності $\sigma_B$ , МПа, щонайменше .....	360
межа плинності $\sigma_T$ , МПа, щонайменше.....	180
відносне звуження $\psi$ , %.....	56
відносне подовження $\delta$ , % .....	25
твердість по Брінеллю, НВ.....	115

Дана марка стали застосована для виготовлення основних вузлів проектного апарату [11, с.24- 29, табл.2.1], [10, с.260-270, табл.3.2]. Важливим показником при виборі конструкційного матеріалу є його економічна характеристика. Сталь 16ГС є менш дорогою, крім того, вона менш дефіцитна. Остаточо приймаємо для виготовлення апарату сталь 16ГС.

Для виготовлення частин корпусу апарату, що не контактують з робочим середовищем, вибираємо вуглецеву сталь марки Вст3, матеріал прокладок - фторопласт-4. Сталь Ст3 ГОСТ 380-94. Замінники: Сталь Сталь Ст2, Сталь Ст5, Сталь Ст6. Призначення: прокат профільний,

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

рами, каркаси, щитки, кожухи -для зварних і клепаних конструкцій.

### 3.2 Розрахунки на міцність, стійкість і герметичність

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\phi = 0,9$  (ручне дуговеелектрозварювання), напруга для сталі 16ГС при  $t = 110^\circ \text{C}$  [6]

$$\sigma = 176 \text{ МПа.}$$

Тиск в міжтрубному просторі

$$p = 1,47 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

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

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 2.1

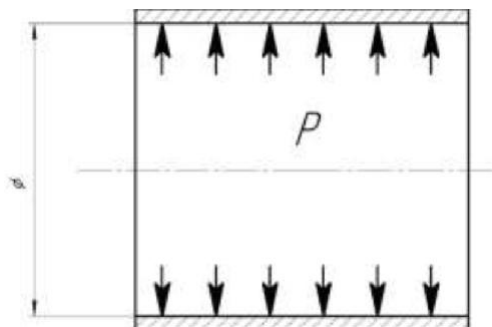


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки кожуха

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

де  $D$  – внутрішній діаметр обичайки

$$s_p = \frac{1,47 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 176 - 1,47} = 4,66 \text{ мм.}$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщині за весь термін служби (15 років) апарату  $s = 3,0$  мм, тоді виконавча товщина стінки кожуха

$$c = 0,03 \times 15 = 0,45 \text{ мм}$$

$$s = 4,66 + 0,45 = 5,11 \text{ мм.}$$

З урахуванням напружень стиску від маси, а також з урахуванням рекомендацій [4, с.113] приймаємо товщину стінки

$$s = 8 \text{ мм.}$$

#### Розрахунок товщини стінки еліптичної кришки

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 16ГС при  $t = 110^\circ \text{C}$  [6]

$$\sigma = 176 \text{ МПа.}$$

Тиск в міжтрубному просторі

$$p = 1,47 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

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

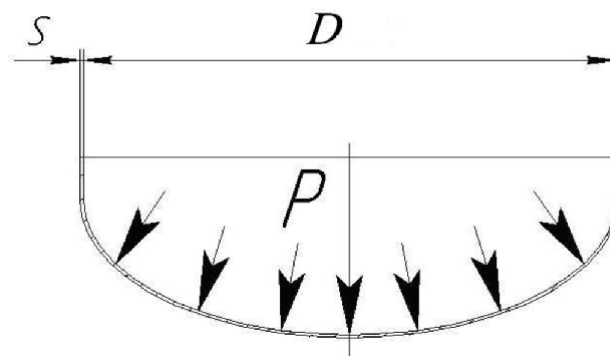


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема днища еліптичного

Розрахункова товщина стінки кришки

$$s_p = \frac{1,47 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 176 - 1,47} = 4,66 \text{ мм.}$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщині за весь термін служби (15 років) апарату  $s = 3,0$  мм, тоді виконавча товщина стінки кожуха

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$c = 0,03 \times 15 = 0,45 \text{ мм}$$

$$s = 4,66 + 0,45 = 5,11 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $s = 8,0 \text{ мм.}$

### Розрахунок зміцнення стінок у зоні отворів

Корпус апарату, днище, кришка забезпечуються необхідною кількістю штуцерів для підключення його до технологічних ліній, огляду і ремонту апарату і тому подібне. Отвори не тільки зменшують площу матеріалу корпусу або днища, що несе, кришки, але і викликають високу концентрацію напруги поблизу краю отвору.

Приймаємо конструктивно на корпусі апарату отвор:

-  $D_y = 300 \text{ мм}$  – люк для огляду внутрішніх устроїв. Люк 2-300-16-33 ОСТ 26-2004-77.

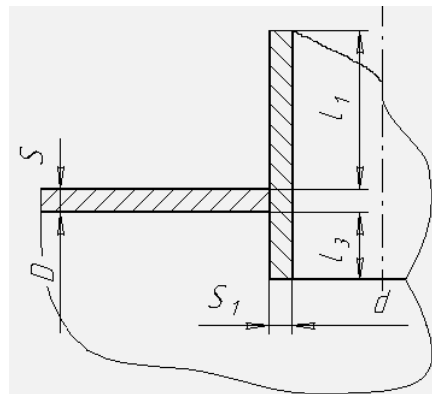


Рисунок 3.2 – Ескіз зміцнення отвору.

Найбільший діаметр отвору, що не вимагає зміцнення в еліптичній кришці корпусу 150 мм, визначається по формулі:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_s \cdot (s-c)}$$

де:  $s_p$  – розрахункова товщина стінки кришки,  $s_p = 0,8 \text{ мм.}$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{8-0,45}{4,66} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1000 \cdot (8-0,45)} = 427,3 \text{ мм.}$$

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Отже, отвор зміцнення не вимагає. Так запас міцності перевищує потрібний, то від застосування накладного листа можна відмовитися, зміцнення отвору відбудеться за рахунок надмірної товщини стінки кришки і патрубка.

## 4 Будівельно-монтажна частина

### 4.1 Обґрунтування компоновки обладнання установки [14, 15]

Вибираємо відкритий варіант компоновки – обладнання розміщується на відкритому майданчику, що зменшує капітальні витрати на виробництво, зменшує загазованість і вплив теплових виділень, вибухо- та пожежобезпечність, покращує умови роботи устаткування, полегшує доступ до важкого обладнання, а також забезпечує гарну вентиляцію. Ми вибрали такий варіант компоновки у зв'язку із зазначеними вище перевагами, а також із урахуванням його масопотоків (газових та рідинних), мас і габаритних розмірів різних типів обладнання, специфіки технологічного обладнання (вибухо- і пожежонебезпека, токсичність, нечутливість до умов навколишнього середовища тощо).

Компоновку основного технологічного обладнання проводять так, щоб обслуговування усієї технологічної схеми було максимально зручним, швидким і ергономічним.

#### ***Вимоги до розміщення обладнання на відкритих майданчиках:***

1. При розміщенні обладнання необхідно передбачити проходи, які забезпечать безпечне обслуговування обладнання, рух людей і транспорту, а також зручний механізм очищення робочих поверхонь обладнання. Прогоди між найбільш виступаючими частинами обладнання беруться не менше 1 м.

2. Технологічне обладнання, яке створює на робочих місцях вібрацію і шум рекомендують встановлювати на спеціальних фундаментах і амортизаторах.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

3. Розміщення обладнання починають із виділення груп апаратів, об'єднаних певними ознаками.

Одним із найбільш важливих і важких етапів проектування є розробка схеми трубопроводів. Вихідними даними для завдання трасування є фізико-хімічні властивості речовин, що транспортуються, дані з етапу розрахунку апаратного оформлення процесу (число і тип апарату), дані, які отримані в результаті рішення задачі розміщення.

***Групи трубопроводів:***

I – трубопроводи для пожежо- і вибухонебезпечних агресивних і токсичних речовин незалежно від тиску і температури;

II – трубопроводи для продуктів, які мають низьку корозійну, токсичну і вогнебезпечну активність, а також трубопроводи для лугів;

III – усі інші трубопроводи.

Прямую прокладку, так мовити «від штуцера до штуцера», слід допускати лише у виняткових випадках (коли поява зайвого коліна може викликати вібрацію і т. ін.). Шлемові труби (тобто самі верхні труби, які виходять із шолома апарату) необхідно прокладати з таким розрахунком, щоб:

- по-перше, вони по найкоротшій відстані прямували до наступного апарату;
- по-друге, вони не повинні перетинати обслуговуючі майданчики апарату.

***Правила трасування трубопроводів:***

1. Трубопроводи треба розміщувати одним пучком, перетин яких має просту форму (горизонтальні або вертикальні ряди), на такій відстані один від одного і від будівельних конструкцій, яка забезпечить можливість обслуговування фланцевих з'єднань та інших пристроїв.

2. Гарячі трубопроводи розміщують на відстані 3–5 діаметрів труби. Якщо трубопровід працює при температурі вище 20°C і має значну довжину, то необхідно передбачити на ньому П-подібні ділянки для компенсації температурних напружень.

3. Для запобігання гідравлічних ударів необхідно на довгих трубопроводах забезпечити відведення рідини з мішків. На газопроводах необхідно передбачити дренажні трубки діаметром 20–40 мм для відведення конденсату.

4. При необхідності трубопроводи теплоізолюються.

Для забезпечення найменших гідродинамічних втрат при проектуванні і монтажу необхідно виконувати такі основні вимоги:

- відсутність зайвих поворотів траси;
- використання випрямлення траси з метою зменшення її довжини і кутів повороту;
- установка трійників таким чином, щоб головний потік середовища проходив трійник без повороту;
- відсутність високих коефіцієнтів опору засувок (засувки зі звуженим проходом); у разі вимушеного застосування таких засувок необхідно до і після таких засувок мати прямі ділянки (до засувки 10–12 діаметрів, після неї – не менше 5 діаметрів труби), щоб уникнути різкого підвищення гідродинамічних втрат;
- при великих швидкостях середовища в напірних патрубках насосів (досягаючих 5–7 м/с) відразу за патрубком повинен встановлюватися перехід на більший діаметр, а потім зворотний клапан і засувка;

при розгалуженні трубопроводу на два меншого діаметру повинен використовуватися трійник, діаметр якого дорівнює діаметру трубопроводу, що підводять.

#### **4.2 Монтаж і ремонт основного технологічного обладнання [16, 17]**

Найбільш раціональне розміщення обладнання, будівель, споруд, трубопроводів і комунікацій в просторі проектованого об'єкта досягається компонуванням, яке є відповідальним етапом проектування, що вимагає

<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>



обліку і оптимізації численних факторів: технічних, економічних, надійності, безпеки тощо.

Під раціональним розміщенням устаткування, будівель і споруд мається на увазі така компоновка об'єкта, в якій при дотриманні вимог діючих норм і правил одночасно забезпечується:

1. Технологічна послідовність процесу виробництва;
2. Мінімально можлива протяжність усіх комунікацій;
3. Мінімально можливі габарити будівель і споруд, розміри виробничих площ і територій об'єкта в цілому;
4. Надійність, безпека та зручність експлуатації об'єкта;
5. Зручність проведення ремонтних робіт на об'єкті;
6. Максимальне блокування будівель і будівельно-монтажна технологічність зведення об'єкта.

Основою для компонування служать: технологічна схема, специфікація технологічного обладнання та технологічні завдання на розробку всіх суміжних частин проекту.

При проектуванні виробництв одним із найважливіших завдань є забезпечення транспортування речовин між окремими апаратами технологічної схеми. Вибір способу транспортування речовин і типу пристроїв залежить від фізико-хімічних властивостей і агрегатного стану середовища, що транспортується, від часу, протягом якого необхідно провести транспортування, від режиму роботи апаратів (періодичний, безперервний), а також від економічної доцільності. Велику роль при виборі способу транспортування речовин відіграє забезпечення безпеки виробництва.

**Трасування трубопроводів.** У структурі з'єднань трубопроводів можна виділити два види з'єднань трубопроводів: просте – зв'язує тільки два апарати; і розгалужене – зв'язує три і більше апаратів, один із яких, як правило, – джерело, а решта – стоки або навпаки.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

- Слід дотримуватися певних правил трасування трубопроводів, а саме:
- вибір напрямків трасування трубопроводів повинен відповідати вимогам технологічної схеми і умов економічної доцільності;
  - траси трубопроводів слід проектувати уздовж проходів всередині контейнерів блоків і доріг;
  - у місцях прокладки трубопроводів слід передбачати можливість безперешкодного переміщення засобів пожежогасіння, а також підйомних механізмів і обладнання;
  - трубопроводи слід проектувати з ухилом, що забезпечує можливо повне спорожнення їх в технологічну апаратуру або дренажні ємності.

Прийнята в проєкті конструкція трубопроводу повинна забезпечувати:

- безпечну та надійну експлуатацію в межах нормативного терміну;
- ведення технологічного процесу відповідно до проєктних параметрів;
- виробництво монтажних і ремонтних робіт індустріальним методом із застосуванням засобів механізації;
- захист трубопроводу від корозії, вторинних проявів блискавки і статичної електрики;
- запобігання утворенню крижаних, гідратних і інших пробок в трубопроводі;
- можливість нагляду за технічним станом трубопроводу;
- вибір діаметра трубопроводів повинен проводитися на підставі гідравлічного розрахунку і з урахуванням його продуктивності, а також в'язкості продукту, що транспортується.

**Технологія монтажу** кожухотрубчастих теплообмінників, зокрема конденсатора, залежить від їх місця і способу установки: вони можуть встановлюватися на відкритому майданчику (на нульовій позначці); на постаменті (висотній металокопструкції) або в будівлі; горизонтально або вертикально.

Для горизонтальних теплообмінників, як у нашому випадку, розміщених на відкритому майданчику на нульовій позначці фундаменти виконують у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. Під теплообмінники, монтвані на висотних металокопструкціях і в будівлях,

<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

спеціальні фундаменти не влаштовують, а кріплять їх до металоконструкцій або балок перекриття будівель.

Горизонтальні теплообмінники при монтажі встановлюють на нерухому і рухому опори. Гайки на болтах не закручують повністю (залишають зазор 1–2 мм), щоб апарат міг вільно переміщуватись в горизонтальній площині. При установці коткових опор перевіряють рівномірність прилягання ковзанок до опорних поверхонь і їх перпендикулярність осі апарату. Горизонтальність апарату перевіряють за рівнем.

У деяких випадках при монтажі проводять контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубчастих теплообмінників. При цьому перевіряють наявність прокладок, комплектність знімних деталей, правильність їх взаємного розташування.

Для виявлення дефектів в розвальцьовуванні і обварці трубок трубний пучок спресовують (при знятій розподільній камері і кришці) шляхом подачі води в міжтрубний простір. При цьому також оглядають корпус теплообмінника. Дефекти розвальцьовування або обварки усувають.

Горизонтальне обладнання монтують за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Спосіб підйому і вантажопідйомність кранів вибирають в залежності від розміру і маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту під обладнання, наявності розташованих поруч будівельних конструкцій та ін.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів (рис. 4.1).

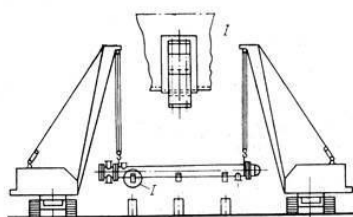


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника за допомогою двох кранів

Зм.

Лист

№ докум.

Підпис

Дата

Монтаж починають з підйому апарату з вихідного горизонтального положення без відриву апарату від землі. На рис. 7 показані найбільш сприятливі умови роботи кранів при монтажі апаратів. Коли установка одного з кранів із зовнішньої сторони фундаментів неможлива, монтаж апаратів виробляють тільки маневруванням стріли крана. У тих випадках, коли при підйомі апаратів неможливо розташувати крани із зовнішньої сторони фундаментів і проїхати між фундаментами, збільшують виліт стріли кранів або переміщують крани з піднятим апаратом в межах їх вантажної характеристики.

Теплообмінники з трубною системою мають підвищену надійність, що дозволяє їм функціонувати без збоїв протягом довгих років. Але не варто забувати, що планове технічне обслуговування просто необхідне для профілактики поломок. Циркулюючий теплоносій з часом засмічує тонкі стінки трубок, осідаючи на них і перешкоджаючи вільному потоку. Уникнути передчасного виходу обладнання із ладу і зберегти енергоефективність дозволить регулярне чищення трубок. Завдяки систематичному промиванню можливо довгострокове підтримання робочих параметрів у нормі. Безпосередньо ж ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зносу обладнання.

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є:

- 1) Виривання трубок з трубних дощок. Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти зачистка місця розриву і обварки трубки заново;
- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заварювання (заглушка) трубки.

Якщо встановлюються заглушки на дефектні трубки, необхідно враховувати, що опір даної траси зростає, а також трохи погіршується теплообмін.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

Зазвичай, теплообмінники розраховують таким чином, щоб без сильного впливу на технологічний процес можна було заглушити до 10 % трубок. У кожному разі це питання треба вивчати окремо.

2) Наскрізна корозія трубок. Дана проблема зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубчатки. Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заварювання (заглушка) трубки

Також, як і в описаному вище випадку, при встановленні заглушок необхідно дотримати вимоги з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що з великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити з ладу такі трубки.

Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

- 3) Наскрізна корозія корпусу або камер. Дана проблема, також як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубок. Варіанти вирішення: висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заварювання (заглушка) трубки.

Також, як і в описаному вище випадку, при встановленні заглушок необхідно дотримати вимоги з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що з великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити з ладу такі трубки.

Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного

пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

3) Наскрізна корозія корпусу або камер. Дана проблема, також як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубок. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери (корпусу).

4) Засмічення по трубках або по міжтрубному просторі. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв НЕ фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (при роботі з вихлопними газами).

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

У тому випадку, якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації середовищ, рекомендується установка необхідних фільтрів. У тому випадку, якщо відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

Подібні роботи слід проводити на місці експлуатації. У разі необхідності фахівці повинні виїхати на місце і провести цю роботу, але в більшості випадків ці операції виробляє експлуатаційний персонал.

5) Покриття вапном (накипом) або іншими відкладеннями міжтрубного простору або самих трубок. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв є рідина (вода) з невідповідним для даного процесу хімічним складом (наприклад, надмірно мінералізована). Варіанти вирішення: очистка за допомогою спеціальних хімічних засобів.



У разі появи великого шару мінеральних відкладень (накипу) хімічне очищення може бути неефективним. У такому випадку трубний пучок не підлягатиме ремонту і буде необхідно виготовити новий трубний пучок.

Дефектні штуцера і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину замінюються.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюють свердлами діаметром 3–4 мм. Некрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки розправляються під заварку односторонньою вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50–60°. При тріщині понад 100 мм зварювання проводять оберненоступеневим методом. Наскрізні і некрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізкою. При появі гніздових тріщин пошкоджені місця вирізають і закривають латками без гострих кутів. Латки вваривать в рівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати площі листа апарату.

Надійність ліквідації поверхневих дефектів контролюють магнітною або ультразвуковою дефектоскопією. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження. Усі поверхні ущільнювачів слід контролювати магнітною або ультразвуковою дефектоскопією на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

## **5 Автоматика та автоматизація технологічного процесу [18, 19]**

Теплообмінні апарати є частиною більшості технологічних процесів, тому завдання автоматизації кожухотрубних теплообмінних апаратів є дуже важливою.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

Процеси передачі тепла за допомогою теплообмінників від одного рідкого середовища до іншого знаходять дуже широке застосування в промисловій та комунальній сфері, побутовому секторі тощо.

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до найбільш поширених апаратів. Їх застосовують для теплообміну і термохімічних процесів між різними рідинами, парами і газами – як без зміни, так і зі зміною їх агрегатного стану. Теплообмінники як об'єкти регулювання температури мають більші запізнюваннями, тому слід приділяти особливу увагу вибору місця установки датчика і закону регулювання [18].

Розвиток автоматизації виробничих процесів вимагає визначення найбільш прогресивних напрямків, розробки методів аналізу та оцінки автоматичних ліній. Оперативний контроль за роботою установки неможливий без наявності контрольно-вимірювальних приладів.

Перехід установки на автоматичне регулювання, тобто регулювання за допомогою відповідних приладів-регуляторів, є більш ефективною формою управління установкою.

Ручне управління – це трудомісткий процес, який вимагає великих людських ресурсів, і при цьому необхідно контролювати найчастіше кілька параметрів в одному апараті. Втрата контролю хоча б за одним параметром неминуче відіб'ється на якості продукції.

Технологічний режим роботи установки встановлюють таким, щоб отримати необхідну продуктивність установки, якість і вихід одержуваного продукту. Вибір приладів автоматизації повинен проводитися з тих засобів автоматизації, які випускаються серійно і вже себе зарекомендували.

Для зменшення транспортних запізнень датчик температури необхідно розміщувати якомога ближче до теплообмінника. Із урахуванням реальних умов роботи, усі істотні фактори, що впливають на процес теплообміну, розбиваються на наступні групи [19]:

Контрольовані збурювання – це ті збурювання, які можна виміряти, але неможливо або неприпустимо стабілізувати (витрата живлення, що

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

1. подається безпосередньо із попереднього апарату; температура навколишнього середовища і т. ін.). Для досліджуваного процесу такими збуреннями є: температура теплоносія, а також температура і витрата потоку на вході в апарат.

2. Неконтрольовані збурювання – це ті збурювання, які неможливо або недоцільно вимірювати безпосередньо. Перші – це падіння активності каталізатора зміна коефіцієнтів тепло- і масопередачі і т. п. У якості неконтрольованих збурень в даному об'єкті може виступати накип, що утворилася на поверхні трубок всередині теплообмінника, а також тиск пари, що бере участь в теплообміні.

3. Вихідні змінні. Із їх числа вибирають регульовані координати. При побудові замкнених систем регулювання у якості регульованих координат вибирають технологічні параметри, зміна яких свідчить про порушення матеріального або теплового балансу в апараті. До них відноситься температура теплоносія.

4. Керуючі змінні – вхідні сигнали об'єкта управління, за допомогою яких можна впливати на режим роботи об'єкта: величина витрат теплоносія.

Спрощена функціональна схема автоматизації теплообмінного апарату приведена на рис. 5.1 [19].

Для зміни температури вибираємо датчик температури і електропневматичний перетворювач температури.

Замір концентрації здійснюється датчиком концентрації, в комплект якого входить також електронний міст.

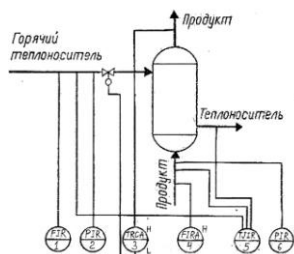


Рисунок 5.1 – Спрощена схема автоматизації теплообмінника

Для контролю тиску обраних перетворювач тиску, який працює в межах вимірювання до 2,5 МПа.

Для контролю і регулювання витрат обрані витратоміри і електропневматичні перетворювачі витрати.

Контролери серії WinCon-8000 являють собою останнє покоління промислових контролерів виробництва компанії ICP DAS. Увібравши в себе усі кращі характеристики серій I-7000 і I-8000, зберігши наступність з ними, WinCon-8000 придбав нові можливості завдяки використанню високопродуктивного процесора Intel Strong ARM з тактовою частотою 206 МГц і оперативною пам'яттю 64 Мб [18].

WinCon виконаний у вигляді окремого блоку з негорючого пластика, який містить центральний процесор, джерело живлення, панель управління, комунікаційні порти і об'єднану плату для установки модулів вводу-виводу. Контролер може бути без праці встановлений на DIN-рейку або на панель, причому для монтажу не потрібно ніяких додаткових конструктивних елементів. При цьому забезпечується відкритий і зручний доступ до панелі управління, слотів для установки або заміни модулів вводу-виводу і комунікаційним роз'ємів. Контролер підтримує всі модулі вводу / виводу сигналів, як з паралельним, так і з послідовним інтерфейсом. Окрім того, може працювати з віддаленими модулями вводу / виводу. Усі модулі мають зручні знімні клеми із гвинтовою фіксацією зовнішніх проводів. WinCon-8000 мають не тільки інтерфейси RS-232 і RS-485, але і інтерфейси USB і Ethernet, а також інтерфейси VGA і PS / 2 для підключення клавіатури, миші і монітора.

Таким чином, промисловий контролер має функціональність персонального комп'ютера, що значно полегшує його програмування і розширює сферу застосування. Так, налагодження та редагування керуючої програми можна здійснювати безпосередньо на контролері. Крім того, за рахунок наявності інтерфейсів клавіатури і монітора, WinCon може поєднувати у собі функції контролера і операторської станції. Контролер має вбудовану операційну систему Microsoft Windows CE .NET [24].

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

WinCon-8000 може застосовуватися для вирішення найрізноманітніших завдань автоматизації у багатьох галузях промисловості. До нього можна підключати не тільки модулі віддаленого вводу-виводу аналогових і дискретних сигналів, але і будь-які інші пристрої: принтери, модеми, POS- термінали, інші комп'ютери та контролери, словом усе, що може обмінюватися даними через послідовний або USB порт. Таким чином, завдяки новому контролеру ваша система або окремий її сегмент можуть мати досить складну конфігурацію і топологію, залишаючись при цьому надійною і простою у налаштуванні і управлінні.

Усі комплекти приладів контролю і регулювання є електропневматичними, що обумовлює компактність, високу чутливість змін процесу який контролюється і дозволяє тактовно реагувати навіть на найдрібніші зміни і коливання технологічного процесу [18, 19].

Усі перераховані вище обрані пристрої автоматизації успішно виконують поставлене завдання з необхідним класом точності і допустимою похибкою.

## **6. Охорона праці та навколишнього середовища. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів досліджуваного об'єкта[20,21]**

Для роботи на газофракційній установці допускаються працівники не молодше 18 років, які пройшли медичну перевірку під час вступу на роботу і періодичну перевірку з урахуванням комплексу діючих шкідливих факторів виробництва. До самостійної роботи допускаються особи, які пройшли відповідне навчання, склали іспит кваліфікаційній комісії, після оформлення відповідної документації, в тому числі і наказу по цеху про допуск до самостійної роботи в цеху .

Перед проведенням дослідно-виробничих робіт робітники отримують під розписку інструктаж з техніки безпеки.

						<i>Лист</i>
					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	59
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Не дозволяється перебування на робочому місці сторонніх осіб без дозволу адміністрації. Допуск до роботи бригад ремонтних організацій здійснюється після цільового інструктажу і оформлення відповідної документації з дозволу начальника цеху і начальника зміни. Пуск установки в експлуатацію обладнання здійснюється відповідно до затверджених інструкцій з урахуванням вимог чинного регламенту.

До робочої зони можуть потрапляти шкідливі речовини (природний газ з топки, пари аміаку і пил при порушенні герметичності обладнання і трубопроводів), а на робочий персонал негативний вплив можуть надавати небезпечні виробничі фактори відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ [25]:

- наявність рухомих машин і механізмів;
- відхилення параметрів мікроклімату в робочій зоні: температури, відносної вологості, швидкості руху повітря (при поломці систем вентиляції);
- наявність поверхонь з підвищеною температурою;
- підвищений рівень шуму на робочих місцях (від компресорів);
- підвищений рівень вібрації на робочих місцях (від роботи вентиляторів, компресорів тощо);
- відсутність або недостатній рівень штучного освітлення робочої зони;
- підвищений рівень статичної електрики;
- наявність обладнання, що працює під тиском;
- токсичність розчинників, що входять до складу фарб застосовуються під час ремонту;
- можливість ураження струмом при дотику до кабелю, електричним приводам, і електроустаткування, що знаходиться під напругою;
- вплив на організм пилу при роботі без респіратора в умовах підвищеного рівня запиленості робочих місць, внаслідок розгерметизації обладнання та несправності систем аспірації.

З метою забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці, виключення аварійних ситуацій і нещасних випадків слід дотримуватись таких вимог техніки безпеки:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

- усі працівники повинні бути навчені безпечним методам роботи відповідно до «Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони»;

- систематично перевіряти знання виробничого персоналу;

- дотримуватися вимог інструкцій, правил, норм;

- при виробництві, транспортуванні, зберіганні речовин необхідно дотримуватись вимог до виробничого обладнання та технологічного процесу відповідно до ГОСТ 12.2.003-91 і ГОСТ 12.3002-75.

При ремонтних роботах на висоті перевищує 1,5 м над рівнем підлоги відповідно до інструкції з техніки безпеки необхідно використовувати стаціонарні підмостки, огорожі та стаціонарні пояса безпеки. Працювати на висоті тільки в присутності дублера, при цьому працює, має закріпитися карабіном за надійний предмет.

Основним обладнанням у виробництві є: колони, компресори, ресивери, кожухотрубчасті теплообмінники, апарати повітряного охолодження, сепаратор.

У виробництві використовується обладнання, що працює під тиском. Виготовлення, монтаж, експлуатація, ремонт, гідравлічні випробування, реєстрація і технічний огляд устаткування і судин під тиском повинні виконуватися відповідно до «ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Забороняється експлуатація обладнання, що працює під тиском, з простроченим терміном експлуатації, без клейма. Для безпеки експлуатації систем під підвищеним тиском застосовується запірна арматура, прилади контролю і запобіжні пристрої. Апарати, які знаходяться під тиском, виготовлені з металу, добре зварюється. На апараті повинні бути вказані такі дані [21]:

- допустимий тиск в апараті;

- дата, місяць і рік останнього гідравлічного випробування апарату;

- дата наступного гідравлічного випробування.

Концентрації шкідливих хімічних речовин в повітрі робочої зони виробничого приміщення повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-88.

Зм.

Лист

№ докум.

Підпис

Дата



Періодичність контролю за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони згідно з ГОСТ 12.1005-88 п.4. Вимоги до методів і способів вимірювання концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони згідно з ГОСТ 12.1005-88 п.5.

Вимоги до методів вимірювання та контролю показників мікроклімату по ГОСТ 12.1005-88 п.2. Відповідно до санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених наказом МОЗ України. Показниками, що характеризують мікроклімат, є [20]:

- 1) температура повітря;
- 2) відносна вологість повітря;
- 3) швидкість руху повітря;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання.

Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано для постійних і непостійних робочих місць. Допустимі величини показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли за технологічними вимогами, технічних і економічних причин не забезпечуються оптимальні норми. У кабінах, на пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших виробничих приміщеннях при виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням, повинні дотримуватися оптимальні величини температури повітря 22–24 °С, його відносної вологості 60–40 % і швидкості руху (не більше 0,1 м/с). Перелік інших виробничих приміщень, в яких повинні дотримуватися оптимальні норми мікроклімату. При забезпеченні оптимальних показників мікроклімату температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій робочу зону (стін, підлоги, стелі та ін.), Або пристроїв (екранів і т.п.), а також температура зовнішніх поверхонь технологічного устаткування або огорожувальних його пристроїв не повинні виходити більш ніж на 2 °С за

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

межі оптимальних величин температури повітря. При температурі поверхонь конструкцій нижче або вище оптимальних величин температури повітря робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Санітарно-гігієнічний контроль систем вентиляції та промислових приміщень проводиться силами вентслужб або санітарних лабораторій згідно МУ 4425-87 в такі строки [21]:

система місцевої витяжної і місцевої проточною вентиляції – 1 раз на рік;

- системи загальнообмінної механічної і природної вентиляції – 1 раз в 3 роки.

Викиди забрудненого повітря в атмосферу повинні відповідати вимогам ДСП 201-97 і не повинні перевищувати щорічних сумарних викидів, які наведені в регламенті виробництва. Технологічні стоки виробництва (кількість і хімічний склад) повинні відповідати вимогам СанПіН 4630-88.

Вимоги до температури зовнішньої поверхні технологічного обладнання згідно з ГОСТ 12.1.005-88 п.1.11. Температура поверхні апаратів при виробництві добрив на місцях, де можливий контакт їх з персоналом, не повинна перевищувати 45 °С. Забороняється робота на технологічній лінії при пошкодженні теплоізоляції на поверхні паропроводів, апаратів і газоходів шлях проходження гарячих газів.

Заходи, які використовуються на даному об'єкті, по нормалізації мікроклімату: вентиляція приміщення, кондиціонування повітря, застосування теплоізоляції устаткування (корпуси апаратів, трубопроводів, топки) і раціональне розміщення обладнання. Роботи середнього та легкого категорії тяжкості Іб і ІБ, згідно допустимим параметрам мікроклімату.

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

У результаті вжитих заходів мікроклімат в приміщенні відповідає допустимим нормам згідно з ГОСТ 12.1.006 - 88 і ДБН 3.36 - 042 - 99.

Використовувані на підприємстві засоби попередження про пожежу – пожежний зв'язок і сигналізація.

Фізичні фактори визначаються (вимірюються) не рідше 1 разу на рік і після ремонту обладнання. Необхідно стежити за кріпленням трубопроводів, не допускати вібрації трубопроводів, що працюють під тиском. Негайно усувати виявлені витіки газу і технологічних розчинів.

Усі роботи на газофракційній установці, проводити відповідно до «Правил безпеки в газовому господарстві» і «Інструкції з техніки безпеки та пожежної безпеки при обслуговуванні установок, що працюють на газовому основі».

На фіксованих місцях установки обладнуються і укомплектовуються аптечки першої медичної допомоги з наявністю перев'язувальних, нейтралізують і протиопікових засобів. Обслуговуючий персонал повинен мати спецодяг і індивідуальні засоби захисту, відповідно до типових норм.

Кожен робітник повинен вміти надавати допомогу потерпілому залежно від характеру нещасного випадку [21]:

а) при попаданні аміаку на тіло або в очі, пошкоджене місце необхідно швидко промити струменем чистої води і негайно звернутися в медпункт за медичною допомогою;

б) при термічних опіках, незалежно від ступеня опіку, на уражене місце необхідно накласти стерильну пов'язку, не допускаючи пошкодження обпаленої шкіри, і негайно звернутися до лікаря;

в) при закритих переломах кісток кінцівок необхідно накласти шину або інший допоміжний матеріал (дошку, планку) до пошкодженої кінцівки і викликати швидку допомогу;

г) якщо працівник уражений електричним струмом, йому необхідно надати допомогу відповідно до «Інструкції по надання першої допомоги при ураженні електричним струмом».

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

- підвищений рівень статичної електрики;
- наявність обладнання, що працює під тиском;
- токсичність розчинників, що входять до складу фарб застосовуються під час ремонту;
- можливість ураження струмом при дотику до кабелю, електричним приводам, і електроустаткування, що знаходиться під напругою;
- вплив на організм пилу при роботі без респіратору в умовах підвищеного рівня запиленості робочих місць, внаслідок розгерметизації обладнання та несправності систем аспірації.

З метою забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці, виключення аварійних ситуацій і нещасних випадків слід дотримуватись таких вимог техніки безпеки:

- усі працівники повинні бути навчені безпечним методам роботи відповідно до «Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони»;
- систематично перевіряти знання виробничого персоналу;
- дотримуватись вимог інструкцій, правил, норм;
- при виробництві, транспортуванні, зберіганні речовин необхідно дотримуватись вимог до виробничого обладнання та технологічного процесу відповідно до ГОСТ 12.2.003-91 і ГОСТ 12.3002-75.

При ремонтних роботах на висоті перевищує 1,5 м над рівнем підлоги відповідно до інструкції з техніки безпеки необхідно використовувати стаціонарні підмости, огорожі та стаціонарні пояса безпеки. Працювати на висоті тільки в присутності дублера, при цьому працює, має закріпитися карабіном за надійний предмет.

Основним обладнанням у виробництві є: компресори, ресивери, кожухотрубчасті теплообмінники, апарати повітряного охолодження, сепаратор.

У виробництві використовується обладнання, що працює під тиском. Виготовлення, монтаж, експлуатація, ремонт, гідравлічні випробування.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						<b>65</b>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Розрахунок потенційно небезпечного фактора [21]

Розрахувати заземлення для стаціонарної установки. Заземлювачі занурені і розміщені в один ряд (глибина занурення  $h = 80$  см). Характеристика заземлювача представлена в табл. 6.1, схема розміщення – нарис. 6.1.

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

Питомий опір ґрунту (чорнозему), рекомендований для розрахунків, становить  $\rho_{\text{табл.}} = 2000$  Ом·см [21].

Таблиця 6.1 – Характеристика вертикального заземлювача

Показник	стрижень
Довжина заземлювача $l_{\text{Г}}$ , см	280
Діаметр заземлювача $d_{\text{ГР}}$ , см	4
Ширина сполучної смуги $b_{\text{с}}$ , см	6
Ґрунт	чорнозем
Кліматична зона	III

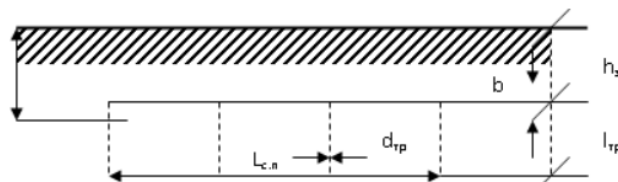


Рисунок 6.1 – Схема розміщення вертикального заземлювача в ґрунті:  $h$  — глибина розміщення заземлювача в ґрунті, м;  $l$  — довжина заземлювача, м;  $d$  — діаметр заземлювача, м;  $t$  — відстань від поверхні ґрунту до середини заземлювача, м

Підвищувальні коефіцієнти [26] в залежності від кліматичної зони:

- для труб вертикальних заземлювачів  $K_{\text{ПТ}} = 1,4 \div 1,6$ ; приймаємо
- $K_{\text{ПТ}} = 1,5$ ;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

- для сполучної смуги  $K_{ПС} = 2,5 \div 4$ ; приймаємо  $K_{ПС} = 3,25$ .

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

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

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

Питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (сполучної смуги):

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

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

Відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача

$$t = h_3 + \frac{l_T}{2}, \text{ см}$$

де  $h_3$  — глибина закладки заземлювача,  $h_3 = 80$  см;  $l_T$  — довжина заземлювача,

$$l_T = 280 \text{ см}$$

$$t = 80 + \frac{280}{2} = 220 \text{ см}$$

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

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

де  $d_{ТР}$  — діаметр заземлювача,  $d_{ТР} = 4$  см.

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{3000}{280} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 280}{4} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 220 + 280}{4 \cdot 220 - 280} \right) = 8,98 \text{ Ом}$$

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		67

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T = \frac{R_T}{R_3}$$
$$n_T = \frac{8,98}{4} = 2,25$$

Приймаємо  $n_T = 3$ .

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

$$L = c \cdot l_T, \text{ см}$$
$$L = 1 \cdot 280 = 280 \text{ см}$$

Визначаємо коефіцієнт екранування труб при числі труб  $n_T$  і співвідношенні з [21]:  $\eta_{ET} = 0,78$  при  $n_T = 3$ .

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{TE} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{ET}}$$
$$n_{TE} = \frac{8,98}{4 \cdot 0,78} = 2,88$$

Приймаємо  $n_{TE} = 3$ .

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

$$R_{\text{розр. T}} = \frac{R_T}{n_{TE} \cdot \eta_{ET}}, \text{ Ом}$$
$$R_{\text{розр. T}} = \frac{8,98}{3 \cdot 0,78} = 3,84 \text{ Ом}$$

Довжина сполучної смуги:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

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

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

Опір розтікання струму в сполучній смузі:

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

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

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{6500}{588} \cdot \lg \frac{2 \cdot 588^2}{80 \cdot 6} = 12,78 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт екранування  $\eta_{Е.З.С.}$  для сполучної смуги [21]:

$$\eta_{Е.З.С.} = 0,77.$$

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

$$R_{розр.С} = \frac{R_{3.C.}}{\eta_{ЕС} \cdot \eta_{ЕЗС}}, \text{ Ом}$$

$$R_{розр.С} = \frac{12,78}{1 \cdot 0,77} = 16,6 \text{ Ом}$$

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

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

$$R_{заг.розр.} = \frac{1}{\frac{1}{3,84} + \frac{1}{16,6}} = 3,12 \text{ Ом}$$

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат



## Висновки

У даній кваліфікаційній роботі представлено опис технологічної схеми газофракційної установки. Розглянуто теоретичні основи процесу теплообміну, особливості конструкції конденсатора, обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів, наведені їх фізико-механічні та технологічні властивості. Також було виконано технологічний, конструктивний розрахунки, розраховано гідравлічний опір апарату, вибрано і розраховане допоміжнеобладнання, а саме насос.

Проведеними розрахунками на міцність, стійкість та герметичність підтверджена механічна надійність і конструктивну досконалість спроектованого апарату, що є неодмінною умовою тривалої та безперебійної роботи обладнання.

Розглянуто компоновку обладнання установки, було стисло описано монтажні та ремонтні роботи проектованого апарату.

Розроблено схему автоматизації. У розділі «Охорона праці» дано аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації обладнання установки, запропоновані заходи по їх усуненню. Було виконано розрахунок захисного заземлення.

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

## Список використаних джерел

1. [https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/5821/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/5821/index.html)
2. Процеси та апарати хімічної технології : Підручник: У 2 ч. – Ч 2 / Л. Л. Товажнянський, А. П. Готлінська, В. О. Лещенко та ін.; За ред. Л. Л. Товажнянського; Пер. з рос. Л.А. Копієвської. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 540 с.
3. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с
4. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. – М. : Химия, 1995. – 768 с
5. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи. Учебное пособие для студентов ВТУЗ, обучающихся по специальности "Машины и аппараты химических производств" / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982.
6. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с
7. Таубман Е. И. Контактные теплообменники / Е. И. Таубман [и др.]. : Химия, 1987. – 256 с.
8. Григорьев В.А., Крохин Ю.И. Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники : Учебное пособие для вузов. – М. : Энергоиздат, 1982. – 312 с.
9. Таубман Е. И. Контактные теплообменники / Е. И. Таубман [и др.].
10. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		71

11.Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

12.Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

13.Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

14.Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

15. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укладачі: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.

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

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

18.Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности / Е. Г. Дудников, А. В. Казаков, Ю. Н. Софиева, А. Э. Софиев, А. М. Цирлин. – М. : Химия, 1987. – 368 с.

19.Лапшенков Г. И. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / Г. И. Лапшенков, Л. М. Полоцкий. – М. : Химия, 1982. – 377 с

20.Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.

						<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			72

21.Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков [и др.]. – 7-е изд. – М.: Высш. школа, 2007. – 616 с

					<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		73