

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 6.133 "Галузеве машинобудування"

Тема роботи: Виробництво бензолу. Кожухотрубчастий випарник толуолу потужністю 12 т/год.

Виконав:

студент групи ХМ-71ш

Кривой Микола Геннадійович

Залікова книжка

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник:

Банишевський В.В.

підпис

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Шосткинський інститут

Кафедра «Хімічна технологія високомолекулярних сполук»

Спеціальність 6.133 "Галузеве машинобудування"

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту Кривому Миколі Геннадійовичу.

Курс 4 Група ХМ-71ш Семестр 8

1. Тема роботи: Виробництво бензолу. Кожухотрубчастий випарник толуолу потужністю 12 т/год.

2. Вихідні дані:

Початкова температура толуолу - 25°C, тиск робочого середовища – $1,5 \cdot 10^5$ Па.

3. Перелік необхідного графічного матеріалу (аркуші А1):

Технологічна схема 1,0 арк.

Складальне креслення апарату 1,0 арк.

Додаткові види апарату 1,0 арк.

4. Необхідна література:

Соколов В.Н. (ред.) Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / Под общ. ред. В.Н. Соколова. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 1992. - 327 с.

5. Етапи виконання курсового проекту:

Етап та розділ проектування	ТИЖДЕНЬ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Введення	x													
Технологічна частина		x	x	x	x									
Конструкторські розрахунки та розрахунки на міцність						x	x	x						
Розробка креслень									x	x	x	x		
Оформлення записки													x	
Захист проекту														x

6. Дата видання завдання лютий 2021 р.

7. Термін для здачі захисту червень 2021 р.

Керівник Банишевський В.В.

ПІБ

підпис

ЗМІСТ

НАЗВА ЗАГОЛОВКУ	С
РЕФЕРАТ	4
ВВЕДЕННЯ	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Характеристика готового продукту	6
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3. Опис технологічного процесу	12
1.4 Опис конструкції основного апарату	15
1.5 Вибір конструкційного матеріалу	18
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ	19
2.1 Технологічні розрахунки та підбір апарату	19
2.3 Гідравлічний опір колони	24
2.4 Підбір стандартного обладнання	26
3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ	30
3.1 Розрахунок товщини стінки теплообмінника	30
3.2 Розрахунок опори	32
3.3. Розрахунок герметичності фланцевого з'єднання	34
4. МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА	48
4.1 Монтаж апарата	48
4.2 Ремонт апарата	50
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	53
5.1 Техніка безпеки при роботі на нафтопереробних підприємствах	53
5.2 Характеристика продукту за ступенем токсичності	55
5.3 Засоби індивідуального захисту	56
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 ст., 4 рис., 6 табл., 17 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних елементів апарату - всього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Виробництво бензолу. Кожухотрубчастий випарник толуолу потужністю 12 т/год».

У бакалаврській роботі розглянута технологія виробництва бензолу і важливий процес технології – випарювання толуолу.

Розглянуті теоретичні основи процесу випаровування та пояснена різниця між випаровуванням та кипінням. Надані основні фізико-хімічні характеристики готового продукту – бензолу. Описана технологія виробництва бензолу через каталітичний риформінг. Розглянуто пристрій випарників та обрана основна конструкція.

Проведено технологічні розрахунки апарату. Визначено основні технологічні параметри толуолу та розрахована необхідна площа поверхні теплообміну, завдяки чому підібрано стандартний теплообмінник. Розраховано гідравлічний опір теплообмінника. Підібрано допоміжне обладнання у вигляді відцентрового насосу. Розрахунками на міцність підтверджена працездатність теплообміннику.

Описано основні правила монтажу та ремонту теплообмінника, обґрунтована охорона праці для робітників нафтопереробних підприємств.

Ключові слова: БЕНЗОЛ, ТОЛУОЛ, КАТАЛІТИЧНИЙ РИФОРМІНГ, ВИПАРОВУВАННЯ, КИПІННЯ.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Хімічну переробку нафти називають крекінгом. Якщо перекласти це слово з англійської, то вийде «розщеплення» або «розпадання». Такий спосіб переробки нафтопродуктів є деструктивним, спрямованим на створення нових речовин з існуючих [1].

Нафтопереробка або крекінг може протікати у вигляді [1]:

1. піролізу, коли сировина обробляється при температурі в 700-900°C і під низьким тиском;
2. каталітичного крекінгу, коли на нафтопродукти впливають каталізаторами і високою температурою;
3. глибокого каталітичного крекінгу з алюмосилікатами, при якому виходить високоякісний базовий бензин;
4. каталітичного риформінгу (промисловий процес переробки бензинових фракцій на ароматичні вуглеводні);
5. каталітичної ізомеризації;
6. гідрогенізаційних процесів, в які входять гідроочищення і гідрокрекінг.

Крім перерахованих видів крекінгу нафти ще існують лужне, сірчано-кислотне, селективне і адсорбційне очищення. За допомогою цих процесів виробляють чисті нафтові дистилати, кислий гудрон і масла.

У цій бакалаврській роботі розглядається процес каталітичного риформінга, продуктом якого є бензол. Основною стадією процесу, згідно завдання, є випарювання після отримання риформату.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

Бензол — перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів. Молекулярна формула - C_6H_6 , молекулярна маса – 78 г/моль [2].

Густина бензолу складає 0.88 г/см³. Температура кипіння – 80,1°C кипить, а температура замерзання – 5,5°C. Замерзає в білу кристалічну масу [2].

Бензол - безбарвна летка рідина з характерним запахом. Завдяки своїй симетричності є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш (91.17 мас%) з температурою кипіння 69.25°C. З більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин. [2].

Бензол нафтовий має відповідати вимогам, наведеним в ГОСТ 9572-93. Більш детальні характеристики наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники нафтового бензолу [3]

Назва показника	Норма для марки			
	Вища очистка	Очищений	Для синтезу	
			Вищий сорт	Перший сорт
1	2	3	4	5
1. Зовнішній вигляд і колір	Прозора рідина, яка не містить сторонніх домішок і води			
2. Густина при 20°C, г/см ³	0,878-0,880			
3. Межі перегонки 95%, ° C, не більше (включаючи температуру кипіння чистого бензолу 80,1°C)	-	-	0,6	0,6
4. Температура кристалізації, °C, не нижче	5,40	5,40	5,35	5,30
5. Масова частка основної речовини,%, не менше	99,9	99,8	99,7	99,5

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
6. Масова частка домішок, %, не більше:				
н-гептану	0,01	0,06	0,06	-
метилциклогексану+толуолу	0,05	0,09	0,13	-
метилциклопентану	0,02	0,04	0,08	-
толуолу	-	0,03	-	-
7. Забарвлення сірчаної кислоти, номер зразкової шкали, не більше	0,1	0,1	0,1	0,15
8. Масова частка загальної сірки, %, не більше	0,00005	0,00010	0,00010	0,00015
9. Реакція водної витяжки	99,9	99,8	99,7	99,5

Нафтовий бензол належить до токсичних продуктів 2-го класу небезпеки за ГОСТ 12.1.005. Пари бензолу при високих концентраціях діють наркотично, шкідливо впливають на нервову систему, надають подразнюючу дію на шкіру та слизові оболонки очей [3].

Гранично допустима концентрація парів бензолу в повітрі робочої зони складає 15/5 мг/м³ (максимальна/середньозмінна) по ГОСТ 12.1.005. Бензол в повітрі робочої зони визначають методом газової хроматографії [3].

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ

Кипіння, як і випаровування, є одним із способів пароутворення. На відміну від випаровування, кипіння може відбуватися лише при певній температурі і тиску. Також, випаровування відбувається на поверхні речовини, а кипіння – у всій речовині. Однак дані процеси відбуваються в одному апараті і мають схожу основу [4].

Кипіння - перехід рідини в пару, що відбувається з утворенням в об'ємі рідини бульбашок пари або парових порожнин. Бульбашки ростуть внаслідок випаровування в них рідини, спливають, і насичений пар, що міститься в бульбашках, переходить в парову фазу над рідиною. Кипіння починається, коли при нагріванні рідини тиск насиченої пари над її поверхнею стає рівним зовнішньому тиску. Температура, при якій відбувається кипіння рідини, що знаходиться під постійним тиском, називається температурою кипіння ($T_{\text{кип}}$) [5].

Строго кажучи, $T_{\text{кип}}$ відповідає температурі насиченої пари (температурі насичення) над плоскою поверхнею киплячої рідини, так як сама рідина завжди перегріта по відношенню до $T_{\text{кип}}$. При стаціонарному кипінні температура киплячої рідини не змінюється. З ростом тиску $T_{\text{кип}}$ збільшується [5].

Граничною температурою кипіння є критична температура речовини. Температура кипіння при атмосферному тиску у літературі надається зазвичай як одна з основних фізико-хімічних характеристик хімічно чистої речовини. Для підтримання кипіння до рідини необхідно підводити теплоту, яка витрачається на пароутворення і роботу пара проти зовнішнього тиску при збільшенні обсягу парової фази. Таким чином, кипіння нерозривно пов'язане з теплообміном, внаслідок якого від поверхні нагрівання до рідини передається теплота. Теплообмін при кипінні - один з видів конвективного теплообміну [5].

У киплячій рідині встановлюється певний розподіл температури: у поверхонь нагріву (стінок ємності, труб і т. п.) рідина помітно перегріта ($T > T_{\text{кип}}$).

Величина перегріву залежить від ряду фізико-хімічних властивостей як самої рідини, так і граничних твердих поверхонь. Ретельно очищені рідини,

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позбавлені розчинених газів (повітря), можна при дотриманні особливих запобіжних заходів перегріти на десятки градусів без закипання. Коли така перегріта рідина закипає, то процес кипіння протікає досить бурхливо, подібно вибуху. Таке кипіння супроводжується розпліскуванням рідини, гідравлічними ударами, іноді навіть руйнуванням посудини. Теплота перегріву витрачається на пароутворення, тому рідина швидко охолоджується до температури насиченої пари, з яким вона перебуває в рівновазі. Можливість значного перегріву чистої рідини без кипіння пояснюється ускладненням виникнення початкових маленьких бульбашок (зародків). Їх утворення заважає взаємному притяганню молекул рідини [5].

Інша справа, коли рідина містить розчинені гази і різні дрібні зважені частинки. У цьому випадку вже незначний перегрів викликає стійке і спокійне кипіння, так як початковими зародками парової фази служать газові бульбашки і тверді частинки. Основні центри пароутворення знаходяться в точках нагрівуючої поверхні, де є дрібні пори з адсорбованим газом, а також різні неоднорідності, включення і нальоти, що знижують молекулярне зчеплення рідини з поверхнею. Утворювана бульбашка росте тільки в тому випадку, якщо тиск пари в ній перевищує суму зовнішнього тиску, тиску вищого шару рідини і капілярного тиску, обумовленого кривизною поверхні бульбашки. Для створення в бульбашці необхідного тиску пар і навколишня його рідина, що знаходиться з паром в тепловій рівновазі, повинні мати температуру, що перевищує $T_{кип}$ [5].

У повсякденній практиці спостерігається саме цей вид кипіння (наприклад, кипіння води в чайнику), його називають бульбашковим. Бульбашкове кипіння відбувається при невеликому перевищенні температури T поверхні нагрівання над температурою кипіння, тобто, при незначному температурному напорі [5]:

$$DT = T - T_{кип} \quad (1.2.1)$$

Зі збільшенням температури поверхні нагріву число центрів пароутворення різко зростає, все більша кількість бульбашок спливає в рідині, викликаючи її інтенсивне перемішування. Це призводить до значного зростання теплового потоку від поверхні нагрівання до киплячої рідини (зростання коефіцієнта тепловіддачі) [5]:

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a = \frac{q}{DT} \quad (1.2.2)$$

де q - густина теплового потоку на поверхні нагрівання.

При досягненні максимального (критичного) значення теплового потоку (q_{\max}) починається другий, перехідний режим кипіння. При цьому режимі велика частка поверхні нагрівання покривається сухими плямами через прогресуюче злиття бульбашок пари. Тепловіддача і швидкість пароутворення різко знижуються, оскільки пара має меншу теплопровідність, ніж рідина, тому q і a різко знижуються. Настає криза кипіння [5].

Коли вся поверхня нагріву обволікається тонкою паровою плівкою, виникає третій, плівковий режим кипіння. При ньому теплота від розжареної поверхні передається до рідини через парову плівку шляхом теплопровідності і випромінювання. У тому випадку, коли рідина не змочує стінку (наприклад, ртуть, легована сталь), кипіння відбувається тільки в плівковому режимі [4].

Всі три режими кипіння можна спостерігати в зворотному порядку, коли масивне металеве тіло занурюють у воду для його загартування: вода закипає, охолодження тіла йде спочатку повільно (плівкове кипіння), потім швидкість охолодження починає швидко збільшуватися (перехідне кипіння) і досягає максимальних значень в кінцевій стадії охолодження (бульбашкове кипіння). Тепловідведення в режимі бульбашкового кипіння є одним з найбільш ефективних способів охолодження; воно знаходить застосування в атомних реакторах і при охолодженні реактивних двигунів [4].

Широко застосовуються процеси кипіння також в хімічній технології, харчовій промисловості, при виробництві і розподілі зріджених газів, для охолодження елементів електронної апаратури та ін. Найбільш широко режим бульбашкового кипіння води використовується в сучасних парових котлах на теплових електростанціях для отримання пари з високими значеннями тиску і температури. Плівкове кипіння в парових котлах неприпустимо, воно може привести до перегріву стінок труб і вибуху котлів [4].

Отже, при виробництві бензолу відбувається саме процес кипіння, оскільки метою є повне випаровування толуолу для подальших технологічних операцій.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Бензол є продуктом каталітичного реформінгу.

Вміст бензолу в сирій нафті становить, зазвичай, не більше 0,5-1,0%. Цього недостатньо для того, щоб виправдати витрати на обладнання, необхідне для виділення бензолу з сирої нафти. Набагато важливішим і комерційно вигідним джерелом отримання бензолу є процес каталітичного риформінгу, на частку якого припадає велика частина виробленого в світі бензолу [6].

Каталітичний риформінг призначений для підвищення октанового числа прямогонних бензинових фракцій шляхом хімічного перетворення вуглеводнів, що входять до їх складу, до 92-100 пунктів. Процес ведеться в присутності алюмо-платино-ренієвого каталізатора. Підвищення октанового числа відбувається за рахунок збільшення частки ароматичних вуглеводнів. Продукти, отримані в результаті риформінгу вузьких бензинових фракцій, піддаються дистиляції з отриманням бензолу, толуолу і суміші ксилолів [6].

Сировиною для каталітичного риформінгу служить важка бензинова фракція (нафта, чи лігроїн) - суміш парафінів, нафтенів і ароматичних вуглеводнів фракції С6-С9. В ході каталітичного риформінгу склад нафти змінюється наступним чином [6-7]:

- парафіни перетворюються в ізопарафіни,
- парафіни перетворюються в нафтени,
- нафтени перетворюються в ароматичні вуглеводні, включаючи бензол.

Також утворюються побічні продукти [7]:

- парафіни і нафтени можуть розпадатися з утворенням бутану і більш легких газів,
- бічні ланки ароматичних з'єднань і нафтенів можуть відщеплюватися і також давати бутан і більш легкі гази.

Установки риформінгу існують 2-х основних типів - з періодичною і безупинною регенерацією каталізатора - відновленням його первісної активності, яка знижується в процесі експлуатації [6].

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

При регенерації здійснюється випалювання утвореного в ході експлуатації каталізатора коксу з поверхні каталізатора з подальшим відновленням воднем і рядом інших технологічних операцій. На установках з безперервною регенерацією каталізатор рухається щодо реакторів, розташованих один над одним, а потім подається на блок регенерації, після чого повертається в процес [6].

Продукти, отримані в результаті риформінгу вузьких бензинових фракцій, піддаються дистиляції з отриманням бензолу і толуолу - центральну фракцію, киплячу в вузькому інтервалі температур. Для кінцевого виділення бензолу використовують один з двох процесів: витяг розчинником або екстрактивна перегонка [7].

Технологічний процес отримання бензолу шляхом риформінгу наведено на рис. 1.3.1.

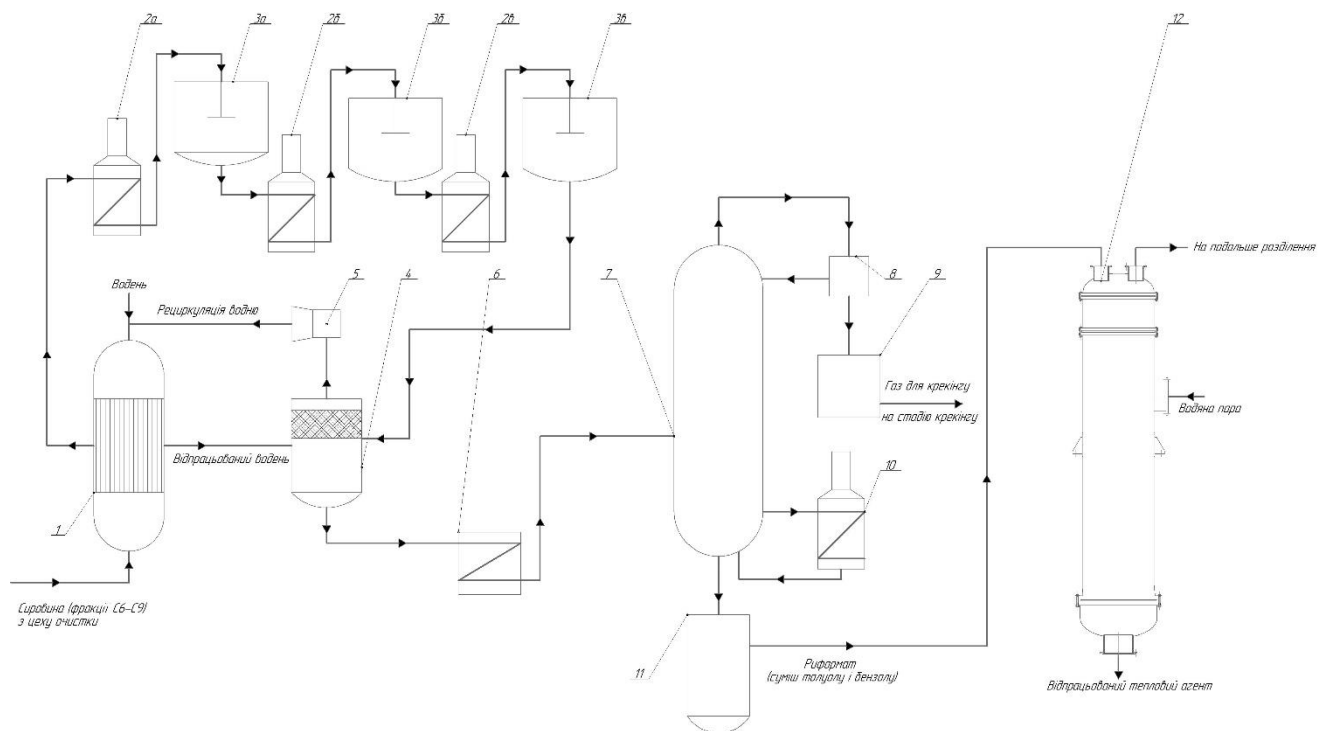


Рис. 1.3.1 – Технологічна схема отримання бензолу

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Оптимальною сировиною є важка бензинова фракція з інтервалами кипіння 85-180°C. Сировина піддається попередній гідроочистці - видалення сірчистих і азотистих сполук, навіть в незначних кількостях необоротно отруючих каталізатор риформінгу. З цеху очистки сировина подається в каталітичну колону (поз. 1). Цей процес здійснюється в присутності біфункціональних каталізаторів - платини, чистої або з добавками ренію, іридію, галію, германію, олова, нанесеної на активний оксид алюмінію з додаванням хлору.

Основний процес здійснюється при температурі 500-530°C і тиску 18-35 атм послідовно в 3 окремих реакторах (поз. 3а, 3б та 3в), об'ємом від 40 до 140 м³, перед кожним з яких продукти піддаються нагріву в трубчастих печах (поз. 2а, 2б та 2в).

Вихідна з останнього реактора суміш відокремлюється від водню в сепараторі (поз. 4), і через ємність, в якій проміжний продукт циркулює по трубчастій пічі (поз. 6) подається в колону-стабілізатор (поз. 7). Результатом стабілізації становлять крекінг газу, які через розподільник (поз. 8) направляються в холодильник (поз. 9), звідки їх направляють на інші стадії. Отриманий продукт - стабільний риформат – направляється через проміжну ємність (поз. 11) на подальше очищення, де і є необхідним наш основний випарний апарат (поз. 12). Оскільки методів розділення суміші багато і конкретний не дано, існує ймовірність, що риформат буде очищуватися за допомогою ректифікації, або екстракції.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.4 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНОГО АПАРАТУ

Об'єкт для розрахунків – вертикальний випарник для випарювання толуолу.

Підігрівачі з паровим простором служать, як правило, для випарювання нафтопродуктів, як, наприклад, кубових залишків в ректифікаційних колонах, або для нагріву рідких нафтопродуктів [8].

Основною частиною випарника є один або кілька трубних пучків з плаваючою головкою або з U-образними трубами. Пучок (один або два, три) монтується всередині циліндричного вертикального корпусу. Схема установки випарника з паровим простором представлена на рис. 1.4.1 [8].

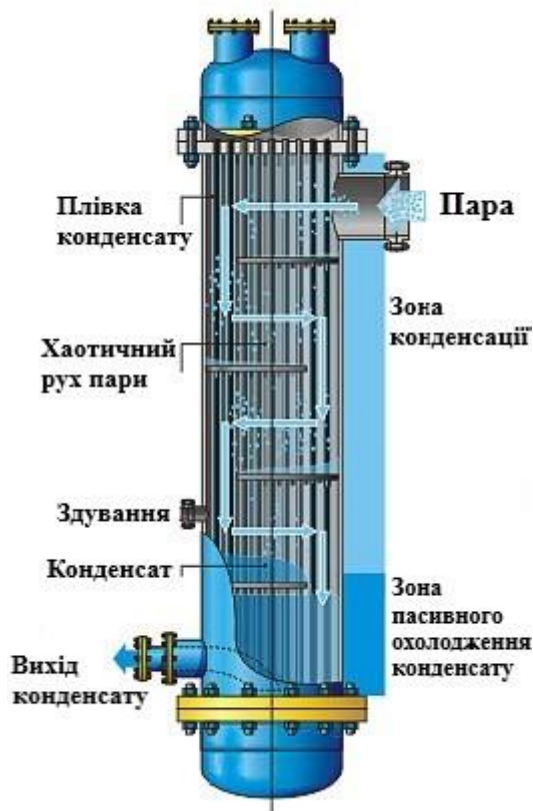


Рис. 1.4.1 - Принципова схема установки випарника з паровим простором

Як правило, нафтопродукт, який надходить в корпус апарату, нагрівається водяною парою, і пропускається через трубні пучки. В результаті нагрівання відбувається випарювання легких фракцій [8].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ

Арк.

14

Використовуючи для випарників нормальні трубні пучки з плаваючою головкою або з U-образними трубками (коли теплоносієм є водяна пара, що конденсується), кількість труб розподіляють по ходам нерівномірно: так, щоб в подальших ходах багатоходових трубних пучків число труб було менше, ніж в першому ході [9].

За перегородкою автоматична підтримка рівня рідини в корпусі випарника досягається регулюванням рівня, без чого не може бути порушена нормальна робота насоса в результаті попадання в нього пари. Неприпустимо надмірне підняття рівня води в підігрівачі, оскільки це порушує нормальну роботу апарату [9].

У задньому днище і в перегородці апарату, як правило, передбачається штуцер і люк, через який вводиться тяговий трос, що приєднується до рухомих ґрат пучка при монтажі останнього [9].

У штуцера для подачі нафтопродукту в випарник усередині корпусу апарату встановлюють відбійник, що сприяє більш раціональному обтіканню рідини всередині пучка. У деяких випадках для цієї ж мети ставлять дірчасту перегородку, яка разом з тим захищає прилеглі від штуцера труби від ерозії [9].

Щоб надати трубному пучку жорсткість, встановлюють поперечні перегородки товщиною ~ 10 мм. Перегородки встановлюють один від одного на рівній відстані і закріплюють чотирма тягами, укрученими в нерухому трубу решітку і забезпеченими дистанційними розпірні трубками. Відстань між перегородками з метою забезпечення необхідної жорсткості приймається рівним (30 ... 50) dН, де dН - зовнішній діаметр теплообмінних трубок [9].

Для підтримки трубного пучка в корпусі встановлюються балки, на яких знаходяться прогони з куточка. При витягуванні пучка і демонтажі його він ковзає по цим прогонам [9].

Як правило, вертикальний випарник підвішують на 2 лапи.

На основні розміри і параметри вертикальних випарників з паровим простором прийнято ГОСТ 15119-79.

Отже, приймаємо вертикальний випарник з плаваючою голівкою та еліптичними днищами.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.5 ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Оскільки середовище в апараті корозійне (толуол), але корозійна активність відносно низька, використовувати дорогу високолеговану сталь недоцільно. Тому, приймаємо для даного апарату сталь аустенітного класу 16ГС.

Цю сталь застосовують для корпусів апаратів і інших деталей будівництва ємностей, що працюють під тиском і при температурі до 475°C. Вона відрізняється також стійкістю до зносу [10].

Сталь добре деформується в гарячому і холодному стані і легко зварюється, що полегшує виготовлення корпусних деталей методом гнуття і забезпечує високу якість зварювальних швів. Хімічний склад і механічні властивості даної сталі наведені в таблиці 1.5.1 [11].

Таблиця 1.5.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 16ГС [11].

C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	Cr, %	Cu, %	$E \cdot 10^{-5}$ МПа	σ_T МПа	σ_B МПа	δ %
0,14- 0,2	0,4- 0,6	1-1,4	0,3	0,04	0,035	0,3	0,3	2,05	335	490	23

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів, що не мають контакту з середовищем апарату, приймаємо конструкційну сталь Вст3сп5 ГОСТ 1050-88. Вибір на користь цієї сталі заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями [10].

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ ТА АПАРАТА

2.1 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ПІДБІР АПАРАТУ

Згідно умови, маємо наступні вихідні параметри:

1. продуктивність по толуолу $G_{пр} = 12000$ кг/год;
2. тиск робочого середовища під час процесу $P = 0,15$ МПа;
3. початкова температура толуолу $t_1 = 25^\circ\text{C}$

Приймаємо в якості кип'ятильника (випарника) винесений вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник. Толуол подається в трубний простір, а в міжтрубний - насичена водяна пара [8].

При абсолютному тиску парів толуолу $P = 0,15$ МПа із табл. 2.1 маємо:
температура кипіння толуолу $t = 123^\circ\text{C}$.

питома теплота пароутворення толуолу $r_{п} = 354,5$ кДж/кг.

Таблиця 2.1 - Абсолютний тиск насичених парів і питома теплота пароутворення толуолу

Рідина	Температура, °C					
	60	80	100	120	123	140
Толуол	<u>0,186</u> 388,5	<u>0,386</u> 378,7	<u>0,743</u> 368,7	<u>1,312</u> 356,3	<u>1,5</u> 354,5	<u>2,180</u> 344,0

Примітка: У чисельнику наведено абсолютний тиск насичених парів ($p \cdot 10^{-5}$ Па), в знаменнику - питома теплота пароутворення $r_{п}$, кДж/кг.

Приймаємо різницю температур між конденсованою водяною парою і киплячим толуолом $\Delta t = 15^\circ\text{C}$. У цьому випадку температура конденсуючої пари:

$$t_{\text{кон}} = 123 + 15 = 138^\circ\text{C} \quad (2.1.1)$$

а її тиск:

$$P_K = 0,35 \text{ МПа}$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо попередньо довжину труб апарату $l = 2000$ мм.

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від водяної пари знайдемо властивості конденсату при температурі $t_{\text{кон}} = 138^\circ\text{C}$:

Густина плівки конденсату $\rho_p = 928$ кг/м³;

В'язкість конденсату $\mu = 0,0002$ Па · с;

Теплопровідність конденсату $\lambda = 0,685$ Вт/(м · К);

теплота конденсації пари $r_{\text{кон}} = 2160$ кДж/кг

За цими даними для вертикальних труб, знаходимо:

$$\alpha_1 = C \cdot \left(\frac{r \rho_p^2 \lambda^3 g}{\mu l \Delta t_{\text{кон}}} \right)^{0,25} \quad (2.1.2)$$

де $C = 1,15$ – коефіцієнт, що враховує виконання випарника;

$r_{\text{кон}}$ – теплота конденсації пари, Дж / кг;

ρ_p – густина плівки конденсату, кг/м³;

λ – теплопровідність конденсату, Вт/(м · К);

μ – в'язкість конденсату, Па · с;

l – довжина труби, м;

$\Delta t_{\text{кон}}$ – перепад температур в плівці конденсату.

$$\alpha_1 = 1,15 \cdot \left(\frac{2160 \cdot 10^3 \cdot 928^2 \cdot 0,685^3 \cdot 9,81}{0,0002 \cdot 2 \cdot \Delta t_{\text{кон}}} \right)^{0,25} = 7110 \cdot \Delta t_{\text{кон}}^{-0,25}$$

Тут $\Delta t_{\text{кон}} = 138 - t_{\text{ст1}}$.

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні толуолу складас:

$$\alpha = 600 \cdot \varphi \cdot P^{1,33} \cdot \Delta t_{\text{кип}}^{2,33} \quad (2.1.3)$$

де $\varphi = 0,025$ – коефіцієнт, що враховує властивості киплячої рідини;

P – тиск в апараті, МПа;

$\Delta t_{\text{кип}}$ – температура кипіння рідини при заданому тиску, °С.

$$\alpha = 600 \cdot 0,025 \cdot 0,15^{1,33} \cdot \Delta t_{\text{кип}}^{2,33} = 1,2 \cdot \Delta t_{\text{кип}}^{2,33}$$

Приймаємо термічний опір забруднень:

з боку конденсату $r_1 = 0,4 \cdot 10^{-4}$ м² · К/Вт;

з боку толуолу $r_2 = 2 \cdot 10^{-4}$ м² · К/Вт.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Термічний опір стінки труби:

$$\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = \frac{0,002}{46,5} = 0,000043 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (2.1.4)$$

де $\lambda_{ст}$ – теплопровідність матеріалу стінки труби.

Загальний термічний опір стінки:

$$\sum r = r_1 + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_2 \quad (2.1.5)$$

де r_1 – термічний опір забруднень з боку конденсату, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

$\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$ – співвідношення товщини шару забруднень до теплопровідності матеріалу труб;

r_2 – термічний опір забруднень з боку толуолу, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

$$\sum r = 0,4 \cdot 10^{-4} + 0,000043 + 2 \cdot 10^{-4} = 0,000283 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Так як густина теплового потоку для апарату встановлюється мимовільно в залежності від температур стінки труби, проведемо її розрахунок методом підбору, керуючись рівнянням:

$$q = \alpha_{кон} \cdot (138 - t_{ст1}) = \frac{t_{ст1} - t_{ст2}}{\sum r} = \alpha_{кип} (t_{ст2} - 123) \quad (2.1.6)$$

Для наглядної демонстрації заносимо результати розрахунків в таблицю 2.1.2.

Таблиця 2.1.2 - Розрахунок основних термодинамічних характеристик

$t_{ст1}$	$\Delta t_{кон} = 138 - t_{ст1}$	$\alpha_{кон} = 7110 \div \Delta t_{кон}^{0,25}$	$q_1 = \alpha_{кон} \cdot \Delta t_{кон}$	$\sum r_{ст}$	$t_{ст2} = t_{ст1} - \Delta t_{ст}$	$\Delta t_{кип} = t_{ст2} - 123$	$\alpha_{кип} = 1,2 \Delta t_{кип}^{2,33}$	$q_2 = \alpha_{кип} \cdot \Delta t_{кип}$
З боку пари				На стінці	З боку толуолу			
137,5	0,5	8470	4235	1,20	136,3	13,3	498,0	6623
137,3	0,7	7754	5442	1,54	135,8	12,8	452,7	5776

Середня густина теплового потоку (згідно табл. 2.1.2):

$$q_{\text{ср}} = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{5442 + 5776}{2} = 5609 \text{ Вт/м}^2$$

Загальний тепловий потік в апараті складає:

$$Q = \frac{G_T c_T (t_2 - t_1)}{3600} + \frac{G_T \cdot r_T}{3600} \quad (2.1.7)$$

де G_T – продуктивність апарата за толуолом, кг/с;

$c_T = 2047 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ – питома теплоємність толуолу;

t_1 – початкова температура толуолу, °С;

t_2 – кінцева температура толуолу (температура кипіння), °С;

$r_T = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ – питома теплота випаровування толуолу.

$$Q = \frac{12 \cdot 10^3 \cdot 2047 \cdot (123 - 25)}{3600} + \frac{12 \cdot 10^3 \cdot 3,5 \cdot 10^5}{3600} = 1\,835\,353,33 \text{ Вт}$$

Необхідна площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q}{q_{\text{ср}}}$$

де Q – загальний тепловий потік в апараті, Вт;

$q_{\text{ср}}$ – середня густина теплового потоку, Вт/м².

$$F = \frac{1835353,33}{5609} = 327,2 \text{ м}^2$$

З табл. 2.1.2 випливає, що середня температура стінки труби:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{ст1}} + t_{\text{ст2}}}{2} = \frac{137,3 + 134,56}{2} = 135,93^\circ\text{С}$$

Тобто, близька до температурі конденсованого пару $t_k = 138^\circ\text{С}$.

Для розрахунку температури кожуха апарату t_k приймаємо:

$$\alpha_{\text{л.к.}} = 9,3 + 0,06 \cdot t_k \quad (2.1.8)$$

де t_k – кінцева температура, °С.

Тоді:

$$\alpha_{\text{кон}} \cdot (t_{\text{кон}} - t_k) = \alpha_{\text{л.к.}} \cdot (t_k - t_{\text{п}}) \quad (2.1.9)$$

де $t_{\text{кон}}$ – температура конденсованого пару, °С;

$t_{\text{п}} = 25$ – початкова температура, °С

$\alpha_{\text{кон}}$ – коефіцієнт тепловіддачі конденсованого пару, Вт/м²*К;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

t_k – температура кожуха апарату, °С;

$$13835,05 \cdot (138 - t_k) = (9,3 + 0,06 \cdot t_k)(t_k - 25)$$

$$1\,909\,236,9 - 13835,05t_k = 9,3t_k - 232,5 + 0,06t_k^3 - 1,5t_k$$

$$0,06t_k^3 + 13\,842,85t_k - 1\,909\,469,4 = 0$$

Звідки виходить $t_k = 137,85^\circ\text{C}$.

Різниця температур становить:

$$\Delta t = 137,85 - 135,93 = 1,92^\circ\text{C}$$

Отже, обрана конструкція теплообміннику задовольняє технологічні умови процесу.

Таким чином, за результатами розрахунку остаточно приймаємо наступний теплообмінник:

Теплообмінник ТК-1200 ВПВ-1,5-М1-3/20-4-1 гр. А ГОСТ 15119-79, де:

В - випарник;

П – з плаваючою головою;

В – вертикальний

1,5 – тиск у трубах, ат.;

М1 – виконання за матеріалами;

3 – звичайний температурний режим;

20 – діаметр труб, мм;

4 – довжина труб, м;

1 – число ходів труб;

Гр. А - категорія речовини всередині - вибухобезпечна і пожежобезпечна

Цей теплообмінник має наступні геометричні параметри:

площа поверхні теплообміну якого складає $F = 426 \text{ м}^2$;

внутрішній діаметр апарату $D = 1,2 \text{ м}$.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.2 РОЗРАХУНОК ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ АПАРАТУ

Розрахунки для цього розділу ведуться згідно формул з джерела [8].

Загальний гідравлічний опір трубного простору апарату:

$$\Delta p = \Delta p_1 + z \cdot (\Delta p_2 + \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_3) + \Delta p_4 \quad (2.2.1)$$

де Δp_1 – втрата тиску при виході потоку зі штуцера в розподільну камеру теплообмінника, Па;

Δp_2 – втрата тиску при вході потоку із розподільної камери в труби теплообміннику, Па;

$\Delta p_{\text{тр}}$ – втрата тиску на тертя в трубах теплообміну, Па;

Δp_3 – втрата тиску при виході потоку із труб, Па;

Δp_4 – втрата тиску при вході потоку в штуцер теплообмінника, Па;

z – число ходів в теплообміннику.

Втрата тиску на певній ділянці теплообміннику:

$$\Delta p_i = \zeta_i \cdot \frac{\rho \omega_i^2}{2} \quad (2.2.2)$$

де ζ_i – коефіцієнт місцевого опору на розглянутій ділянці теплообмінника (див. табл. 2.2.1);

ω_i – швидкість рідини у вузькому перетині ділянки, м/с.

Таблиця 2.2.1 – Значення коефіцієнтів місцевого опору в кожухотрубних теплообмінниках

Вид місцевого опору	ζ
Вхід в розподільну камеру	1
Поворот потоку і вхід в труби	1
Вихід із труб і поворот потоку	1,5
Вихід із розподільної камери	0,5
Поворот в трубах апарату типу ТУ	0,5
Вхід в міжтрубний простір	1,5
Вихід з міжтрубного простору	1,5

Попередньо приймаємо швидкість рідини 2 м/с, а швидкість пари – 20 м/с, а густини рідкого толуолу $\rho_p = 866 \text{ кг/м}^3$ і газоподібного толуолу $\rho_r = 3,1 \text{ кг/м}^3$.

Тоді:

$$\Delta p_1 = 1 \cdot \frac{866 \cdot 2^2}{2} = 866 \text{ Па}$$

$$\Delta p_2 = 1 \cdot \frac{866 \cdot 2^2}{2} = 866 \text{ Па}$$

$$\Delta p_3 = 1,5 \cdot \frac{3,1 \cdot 20^2}{2} = 930 \text{ Па}$$

$$\Delta p_4 = 1 \cdot \frac{3,1 \cdot 20^2}{2} = 620 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\nu} \quad (2.2.3)$$

де ω – швидкість рідкого толуолу, м/с;

d – діаметр труб, м;

ρ – густина рідкого толуолу, кг/м³;

ν – в'язкість толуолу, Па·с.

$$Re = \frac{2 \cdot 0,02 \cdot 866}{9,4 \cdot 10^{-6}} = 3685106$$

Зі співвідношення:

$$\frac{d}{\Delta} = \frac{16}{0,25} = 64$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,048$$

Втрата тиску в трубах:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l}{d_{\text{в}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} \quad (2.2.4)$$

де $\lambda_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя;

$l, d_{\text{в}}$ – довжина труб та їх внутрішній діаметр, м;

ρ – густина рідкого толуолу, кг/м³;

ω – швидкість рідкого толуолу, м/с;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,048 \cdot \frac{4}{0,016} \cdot \frac{866 \cdot 2}{2} = 10392 \text{ Па}$$

$$\Delta p = 866 + 1 \cdot (866 + 10392 + 930) + 620 = 13674 \text{ Па}$$

2.3 ПІДБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Ведеться підбір насосу для подачі вихідного риформату [4].

Визначаємо швидкість розчину в трубопроводі і діаметр трубопроводу:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{3600 \cdot \rho \cdot \pi \cdot \omega}} \quad (2.3.1)$$

де $G = 12000$ кг/год – продуктивність по толуолу;

ρ – густина толуолу ($\rho = 866$ кг/м³);

$\omega = 2$ м/с – швидкість перекачування рідких розчинів.

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12000}{3600 \cdot 866 \cdot 3,14 \cdot 2}} = 0,049 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр трубопроводу $d_{\text{тр}} = 0,05$ м. Тоді, швидкість розчину в трубопроводі:

$$\omega = \frac{G}{3600 \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{12000}{3600 \cdot 866 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4}} = 1,96 \text{ м/с}$$

Визначаємо режим руху для визначення втрат на тертя і місцеві опори:

$$Re = \frac{d_{\text{тр}} \cdot \rho \cdot \omega}{\mu} \quad (2.3.2)$$

де $d_{\text{тр}}$ – діаметр трубопроводу, м;

ρ – густина рідкого толуолу, кг/м³;

ω – швидкість розчину в трубопроводі, м/с;

μ – в'язкість толуолу, Па · с.

$$Re = \frac{0,05 \cdot 866 \cdot 1,96}{9,4 \cdot 10^{-6}} = 9028510,6$$

Приймаємо абсолютну шорсткість:

$$\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Тоді:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,05} = 0,004$$

Далі отримуємо:

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\frac{1}{e} = 250$$

$$\frac{10}{e} = 2500$$

$$\frac{560}{e} = 140000$$

$$Re > 140000$$

Таким чином в трубопроводі сильне тертя. Тоді λ знаходимо за формулою:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(l + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(5,5 + \frac{68}{9028510,6} \right)^{0,25} = 0,168$$

Розраховуємо суму коефіцієнтів місцевих опорів для всмоктувальної лінії:

- 1) Вхід в трубу (приймаємо $\zeta = 1$)
- 2) прямоточні вентиля для $d = 0,05$ м - $\zeta = 0,05$.
- 3) Втрати на коліні $\zeta = 0,38$;
- 4) Відводи: A = 1; B = 0,15; $\zeta = 0,15$;

Отже, сума коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \zeta = \zeta_1 + 2\zeta_2 + 4\zeta_3 + 4\zeta_4 = 1 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,38 + 4 \cdot 0,15 = 4,12$$

Знаходимо втрати тиску на тертя у всмоктувальній трубі:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\left(\frac{\lambda \cdot l_{\text{вс}}}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \rho \cdot \omega^2}{2} \quad (2.3.3)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

$l_{\text{вс}} = 2$ м – довжина всмоктувальної лінії;

d – діаметр трубопроводу, м;

$\sum \zeta$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів;

ρ – густина рідкого толуолу, кг/м³;

ω – швидкість толуолу в трубопроводі, м/с.

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\left(\frac{0,168 \cdot 2}{0,05} + 4,12 \right) \cdot 866 \cdot 1,96^2}{2} = 18031,4 \text{ Па}$$

Втрати тиску на тертя в нагнітальній трубі:

$$\Delta P_{\text{н.т.}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (2.3.4)$$

де ΔP_1 – втрати тиску на ділянці від нагнітального трубопроводу до теплообмінника:

$$\Delta P_1 = \frac{\lambda \cdot l_{\text{н}}}{d} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \quad (2.3.5)$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

де λ – коефіцієнт тертя;

$l_n = 5$ м – довжина напірної лінії;

d – діаметр трубопроводу, м;

ρ – густина початкової суміші, кг/м³;

ω – швидкість розчину в трубопроводі, м/с.

$$\Delta P_1 = \frac{0,168 \cdot 5}{0,05} \cdot \frac{866 \cdot 1,96^2}{2} = 2945,3 \text{ Па}$$

ΔP_2 – втрати тиску в теплообміннику, приймаємо 650 Па;

ΔP_3 – втрати тиску на виході з теплообмінника, приймаємо 450 Па.

Тоді:

$$\Delta P_{н.т.} = 2945,3 + 650 + 450 = 4045,3 \text{ Па}$$

Загальні втрати тиску:

$$\sum \Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{тр} + \Delta P_{н.т.} + \rho_p \cdot g \cdot H_{геом} + P_{гидр} \quad (2.3.6)$$

де $\Delta P_{тр}$ - втрати тиску на тертя у всмоктувальній трубі, Па;

$\Delta P_{н.т.}$ - втрати тиску на тертя в нагнітальній трубі, Па;

ρ_p – густина рідкого толуолу, кг/м³ ;

$H_{геом}$ – висота, на яку доставляють толуол(приймаємо $H_{геом} = 5,5$ м);

$P_{гидр} = 13674$ Па – гідравлічний опір трубного простору основного апарату.

$$\sum \Delta P_{\Sigma} = 18031,4 + 4045,3 + 866 \cdot 5,5 \cdot 9,81 + 13674 = 82475,73 \text{ Па}$$

Знаходимо повний напір насоса:

$$H = \frac{\sum \Delta P_{\Sigma}}{\rho_p \cdot g} \quad (2.3.7)$$

де $\sum \Delta P_{\Sigma}$ - загальні втрати тиску, Па;

ρ_p – густина початкової суміші, кг/м³.

$$H = \frac{82475,73}{866 \cdot 9,81} = 9,7 \text{ м}$$

Корисна потужність двигуна:

$$N = \frac{G_{п} \cdot g \cdot H}{3600} \quad (2.3.8)$$

де $G_{п}$ - масові витрати розчину, що надходить, кг/год;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

H – повний напір насоса, м.

$$N = \frac{12000 \cdot 9,81 \cdot 9,7}{3600} = 317,19 \text{ Вт}$$

Для відцентрового насоса приймаємо ККД $\eta = 0,6$. Тоді потужність, яка необхідна двигуну:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta} \quad (2.3.9)$$

де N - корисна потужність двигуна, кВт;

η – ККД відцентрового насоса.

$$N_{\text{дв}} = \frac{317,9}{0,6} = 529,8 \text{ Вт} = 0,53 \text{ кВт}$$

Об'ємна продуктивність:

$$Q = \frac{12000}{3600 \cdot 866} = 0,00385 \text{ м}^3/\text{с} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

За даними параметрами приймаємо насос Х20/18 з такими параметрами [4]:

продуктивність $Q = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

загальний напір $H = 10,5 \text{ м}$;

число обертів $n = 48,3 \text{ рад/с}$;

ККД $\eta_{\text{н}} = 0,6$.

Для такого типу насоса підбираємо двигун АО2-41-2 з потужністю $N_{\text{н}} = 3 \text{ кВт}$ та ККД $\eta_{\text{дв}} = 0,83$.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

3.1 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ СТІНКИ ТЕПЛООБМІННИКА

Розрахунковий тиск приймаємо як тиск пари, що гріє (середовища) без урахування гідростатичного P , який менше 5% від робочого P_p :

$$P = P_p = 0,15 \text{ МПа} \quad (3.1.1)$$

Розрахункову температуру беремо максимально можливу температуру в робочому стані випарника - температуру середовища при $p_{абс} = 0,15 \text{ МПа}$:

$$t = 138^\circ\text{C}$$

Надбавка на корозію:

$$c = \Pi \cdot \tau, \quad (3.1.2)$$

де $\Pi = 0,1 \text{ мм/рік}$;

$\tau = 20 \text{ років}$ – термін експлуатації апарату.

$$c = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мм}$$

Коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ - для стикового зварювання з двостороннім проваром, виконаної ручним зварюванням при контролі швів по довжині до 50%

Допустимі напруги для матеріалу розподільної камери (сталь 16ГС при товщині до 32 мм) при 20°C , і розрахунковій температурі відповідно:

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ МПа}; [\sigma] = 154 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення межі текучості для сталі 16ГС при товщині до 32 мм:

$$\sigma_{Т20} = 280 \text{ МПа.}$$

Допустимі напруги в умовах гідравлічних випробувань:

$$[\sigma]_в = \frac{\sigma_{20Т}}{1,1} \quad (3.1.3)$$

де $\sigma_{20Т}$ – межа текучості при 20°C , МПа.

$$[\sigma]_в = \frac{280}{1,1} = 254,54 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідровипробуванні:

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$P_{и} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ P \end{array} \right\} \quad (3.1.4)$$

де P – розрахунковий тиск, МПа;

σ_{20} – допустимі напруження при 20°C, МПа;

$[\sigma]$ – напруга матеріалу, МПа.

$$P_{и} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,15 \cdot \frac{170}{154} \\ P \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,248 \text{ МПа} \\ 0,15 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,248 \text{ МПа}$$

Товщина циліндричної обичайки корпусу:

$$s_{ц} = \frac{P_p D}{2\varphi[\sigma] - P_p} + c \quad (3.1.5)$$

де P_p – розрахунковий тиск, МПа;

D – діаметр апарату, мм;

φ – коефіцієнт зварного шва;

$[\sigma]$ – напруга матеріалу, МПа;

c – надбавка на корозію, мм.

$$s_{p.e.} = \frac{0,15 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 154 - 0,15} + 2 = 2,65 \text{ мм}$$

Відповідно до ГОСТу 19903-74 приймаємо товщину листа з урахуванням довжини обичайки: $s = 12$ мм

Товщина еліптичної обичайки корпусу:

$$s_{e.} = \frac{P_p D}{2\varphi[\sigma] - 0,5P_p} + c \quad (3.1.6)$$

де P_p – розрахунковий тиск, МПа;

D – діаметр апарату, мм;

φ – коефіцієнт зварного шва;

$[\sigma]$ – напруга матеріалу, МПа;

c – надбавка на корозію, мм.

$$s_{e.} = \frac{0,15 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 154 - 0,5 \cdot 0,15} + 2 = 2,64 \text{ мм}$$

Відповідно до ГОСТу 19903-74 приймаємо товщину листа: $s = 12$ мм

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3.2 РОЗРАХУНОК ОПОРИ

Оскільки апарат має вертикальне розташування труб, приймаємо тип опори підвісні лапи [12].

Загальна вага апарату:

$$G_{max} = m_a \cdot 9,81 \quad (3.2.1)$$

де $m_a = 8100$ кг – маса апарата згідно ГОСТ 15119-79, кг

$$G_{max} = 8100 \cdot 9,81 = 79461 \text{ Н} \approx 79,5 \text{ кН}$$

Навантаження на одну опору визначимо за формулою:

$$Q = \frac{\lambda_1 \cdot G_{max}}{Z} + \frac{\lambda_2 \cdot M}{D + 2 \cdot e} \quad (3.2.2)$$

де:

$$e = 0,5 \cdot (b + f_{max} + s_0 + s_H)$$

$s_0 = s - c - c_1$ - товщина стінки апарату в кінці терміну служби;

s - виконавча товщина стінки апарату;

c - прибавка для компенсації корозії, мм;

c_1 - додаткова надбавка, мм

λ_1, λ_2 - коефіцієнти, що залежать від числа опор z ;

Z - число опор;

P - вертикальна сила, Н;

M - перекидаючий момент, Н·м;

D - внутрішній діаметр апарату, м

Приймаємо перекидаючий момент рівним нулю.

$$Q = \frac{1 \cdot 79,5}{4} = 19,87 \text{ кН.}$$

Вибираємо стандартний тип лапи з накладними листом.

Опора 1-25000 ОСТ 26-01-153-82 з параметрами:

$$Q = 4 \text{ кН}; a = 125 \text{ мм}; a_1 = 190 \text{ мм}; b = 140 \text{ мм}; c = 45 \text{ мм};$$

$$h = 240 \text{ мм}; S_1 = 18 \text{ мм}; K = 25 \text{ мм}; K_1 = 40 \text{ мм}; d = 24 \text{ мм}; d_6 - \text{M24.}$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

3.3. РОЗРАХУНОК ГЕРМЕТИЧНОСТІ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ

Приймаємо наступні вихідні дані:

температура фланців $t_{\phi} = 150^{\circ}\text{C}$;

температура болтів $t_{\sigma} = 143^{\circ}\text{C}$;

внутрішній тиск $P = 0,15 \text{ МПа}$;

зовнішня сила $F = 0 \text{ МН}$;

$\sigma_{\text{Б}}^{20} = 230 \text{ МПа}$ - допустиме болтове напруження для сталі 35Х при температурі $t_{\sigma} = 20^{\circ}\text{C}$;

$\sigma_{\text{Б}}^t = 228 \text{ МПа}$ - допустиме болтове напруження для сталі 35Х при температурі $t_{\sigma} = 143^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^{20} = 170 \text{ МПа}$ - допустиме фланцеве напруження для сталі 16ГС при температурі $t_{\phi} = 20^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^t = 154 \text{ МПа}$ - допустиме фланцеве напруження для сталі 16ГС при температурі $t_{\phi} = 150^{\circ}\text{C}$;

Товщина втулки фланця:

$$s \leq S_0 \leq 1,3 \cdot s \quad (3.3.1)$$

де s – виконавча товщина обичайки, мм.

$$12 \leq S_0 \leq 1,3 \cdot 12 = 15,6$$

Приймаємо $S_0 = 13 \text{ мм}$.

Товщина біля основи втулки:

$$S_1 = \beta_1 S_0 \quad (3.3.2)$$

де β_1 – допоміжний коефіцієнт;

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$s_1 = 2,5 \cdot 0,013 = 0,0325 \text{ м}$$

Висота втулки фланця:

$$h_{\text{в}} \geq \frac{1}{i} \cdot (s_1 - s_0) \quad (3.3.3)$$

де $i = \frac{1}{3}$ – похил втулки;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

S_0 - товщина втулки фланця, м;

S_1 - товщина біля основи втулки, м.

$$h_B = \frac{1}{\frac{1}{3}} \cdot (0,0325 - 0,013) = 0,0585 \text{ м}$$

Діаметр болтової окружності:

$$D_6 \geq D + 2 \cdot (s_1 + d_6 + u) \quad (3.3.4)$$

де D – діаметр апарату, мм;

s_1 - товщина біля основи втулки, м;

d_6 – рекомендований діаметр болтів, приймаємо $d_6 = 20$ мм.

u – нормативний зазор між гайкою і втулкою, приймаємо $u = 4$ мм.

$$D_6 = 1,2 + 2 \cdot (0,0325 + 0,02 + 0,004) = 1,313 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_H = D_6 + a \quad (3.3.5)$$

де a – конструктивна надбавка, приймаємо $a = 40$ мм;

D_6 - діаметр болтової окружності, мм.

$$D_H = 1,313 + 0,04 = 1,353 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{н.п.} = D_6 - e \quad (3.3.6)$$

де $e = 30$ мм – нормативний параметр, що залежить від типу прокладки;

D_6 - діаметр болтової окружності, мм.

$$D_{н.п.} = 1,313 - 0,03 = 1,283 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{с.п.} = D_{н.п.} - b \quad (3.3.7)$$

де $D_{н.п.}$ - зовнішній діаметр прокладки, м;

b – ширина прокладки, приймаємо для плоскої неметалевої прокладки $b = 20$ мм.

$$D_{с.п.} = 1,283 - 0,02 = 1,263 \text{ мм}$$

Кількість болтів, яка необхідна для забезпечення герметичності з'єднання:

$$n_6 = \frac{\pi \cdot D_6}{t_{ш}} \quad (3.3.8)$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

де D_6 - діаметр болтової окружності, м;

$t_{ш}$ – рекомендований крок розташування болтів, м:

$$t_{ш} = (4,2 \dots 5) \cdot d_6 \quad (3.3.9)$$

де d_6 – діаметр болтів, м.

$$t_{ш} = 5 \cdot 0,02 = 0,09 \text{ мм}$$

$$n_6 = \frac{3,14 \cdot 1,313}{0,09} = 45,8 \text{ шт}$$

Приймаємо $n_6 = 48$ шт.

Висота (товщина) фланця орієнтовно:

$$h_{\phi} = \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}} \quad (3.3.10)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт;

D – діаметр апарату, мм;

$S_{\text{эк}}$ – еквівалентна товщина втулки:

$$S_{\text{эк}} = S_0 \cdot \left(1 + \frac{h_{\text{в}} \cdot (\beta_1 - 1)}{h_{\text{в}} + 0,25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot S_0}} \right) \quad (3.3.11)$$

де S_0 - товщина втулки фланця, мм;

$h_{\text{в}}$ - висота втулки фланця, мм;

β_1 – допоміжний коефіцієнт;

D – діаметр апарату, мм.

$$S_{\text{эк}} = 13 \cdot \left(1 + \frac{0,0585 \cdot (2,5 - 1)}{0,0585 + 0,25 \cdot (2,5 + 1) \cdot \sqrt{1,2 \cdot 0,013}} \right) = 19,79 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_{\text{эк}} = 20$ мм.

$$h_{\phi} = 0,22 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 0,02} = 0,034 \text{ м}$$

Приймаємо $h_{\phi} = 35$ мм

Мінімально необхідна довжина болтів:

$$L_6 = 2 \cdot (h_{\phi} + h_{\text{п}}) + 0,28 \cdot d_6 \quad (3.3.12)$$

де h_{ϕ} – висота (товщина) фланця, м;

$h_{\text{п}} = 0,005$ м – висота (товщина) стандартної прокладки;

d_6 – діаметр болтів, м.

$$L_6 = 2 \cdot (0,035 + 0,005) + 0,28 \cdot 0,02 = 0,0856 \text{ м}$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Приймаємо довжину болта $L_6 = 150$ мм. Тоді, приймаємо:

Болт М20-6gx150 ГОСТ 7795-70

Ефективна ширина прокладки при ширині прокладки $b \leq 15$ мм:

$$b_E = 0,5 \cdot b \quad (3.3.13)$$

де b – ширина прокладки.

$$b_E = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ мм}$$

Подальші розрахунки ведемо для двох фланців, однак приймаємо, що вони однакові.

Конструктивний коефіцієнт для фланця:

$$K_\phi = \frac{D_H}{D} \quad (3.3.14)$$

де D_H – зовнішній діаметр фланця, м;

D – діаметр апарату, м.

$$K_\phi = \frac{1,353}{1,2} = 1,128$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K_\phi \quad (3.3.15)$$

де K_ϕ – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,128 = 0,067$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_\phi + 1}{K_\phi - 1} \quad (3.3.16)$$

де K_ϕ – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$\psi_{2\phi} = \frac{1,128 + 1}{1,128 - 1} = 16,69$$

Поправочний коефіцієнт для прорізу S_0 для плоских приварних фланців:

$$\psi_{3\phi} = 1,00$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_\phi = \frac{h_\phi}{S_0} \quad (3.3.17)$$

де h_ϕ – висота (товщина) фланця, м;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$j_{\phi} = \frac{0,035}{0,013} = 2,69$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} \quad (3.3.18)$$

де K_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$T_{\phi} = \frac{1,128^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,128) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,128^2) \cdot (1,128 - 1)} = 1,865$$

Безрозмірний параметр:

$$\omega_{\phi} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \psi_1 \cdot j_{\phi}^2)} \quad (3.3.19)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт;

ψ_1 – поправочний коефіцієнт;

j_{ϕ} – геометричний параметр фланців.

$$\omega_{\phi} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,22 \cdot (1 + 0,067 \cdot 2,69^2)} = 0,773$$

Кутова податливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})) \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}^t} \quad (3.3.20)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт;

ψ_2 – поправочний коефіцієнт;

h_{ϕ} – висота (товщина) фланця, мм;

$E_{\phi}^t = 1,86 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності фланця при $t_{\phi} = 150^{\circ}\text{C}$.

$$y_{\phi} = \frac{(1 - 0,773 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,22)) \cdot 16,69}{0,035^3 \cdot 1,86 \cdot 10^5} = 0,155 \text{ м/МН}$$

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot h_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} \quad (3.3.21)$$

де $h_{\Pi} = 5$ мм – висота (товщина) стандартної прокладки;

$D_{\text{ср}}$ – середній діаметр прокладки, м;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

b – товщина прокладки, м;

$E_{\text{п}}$ – модуль пружності прокладки, для азбестового картону $E_{\text{п}} = 2000$ МПа.

$$y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 1,263 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Площа поперечного перерізу болта:

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

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}}} \quad (3.3.22)$$

де $L_{\text{б}}$ – довжина болта, м;

$E_{\text{б}}$ – модуль пружності болта, МПа;

$f_{\text{б}}$ – площа поперечного розрізу болта, м²;

$n_{\text{б}}$ – число болтів, шт.

$$y_{\text{б}} = \frac{0,15}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 48} = 0,0001 \text{ м/МН}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\text{ф}} = \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 0,25 \cdot 2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{с.п.}})^2} \quad (3.3.23)$$

де $y_{\text{п}}$ – лінійна податливість прокладки, м/МН;

$y_{\text{б}}$ – лінійна податливість болтів, м/МН;

$y_{\text{ф}}$ – кутова податливість фланців, м/МН;

$D_{\text{б}}$ – діаметр болтової окружності, м;

$D_{\text{с.п.}}$ – середній діаметр прокладки, м.

$$A_{\text{ф}} = \frac{1}{6,3 \cdot 10^{-5} + 0,0001 + 0,25 \cdot 2 \cdot 0,155 \cdot (1,313 - 1,263)^2} = 2751,2$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\text{ф}} = y_{\text{ф}} \cdot (D_{\text{б}} - D - S_0) \quad (3.3.24)$$

де $y_{\text{ф}}$ – кутова податливість фланців, м/МН;

$D_{\text{б}}$ – діаметр болтової окружності, м;

D – діаметр апарату, м;

S_0 – товщина втулки фланця, м.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$B_{\phi} = 0,155 \cdot (1,313 - 1,2 - 0,013) = 0,0155 \text{ 1/МН}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot u_{\text{Б}} \quad (3.3.25)$$

де A_{ϕ} - параметр жорсткості фланцевого з'єднання;

$u_{\text{Б}}$ - лінійна податливість болтів, м/МН.

$$\gamma = 2751,2 \cdot 0,0001 = 0,294$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$a_{\phi} = A_{\phi} \cdot \left(u_{\text{Б}} + 0,25 \cdot 2 \cdot B_{\phi} \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{с.п.}}) \right) \quad (3.3.26)$$

де A_{ϕ} - параметр жорсткості фланцевого з'єднання;

$u_{\text{Б}}$ - лінійна податливість болтів, м/МН;

B_{ϕ} - параметр жорсткості фланців;

$D_{\text{б}}$ - діаметр болтової окружності, м;

$D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м.

$$a_{\phi} = 2751,2 \cdot (0,0001 + 0,25 \cdot 2 \cdot 0,0155 \cdot (1,313 - 1,263)) = 1,359$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot D_{\text{с.п.}}^2 \cdot P \quad (3.3.27)$$

де $D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м;

P - тиск в апараті, МПа.

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot 1,263^2 \cdot 0,15 = 0,188 \text{ МН}$$

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot k \cdot P \quad (3.3.28)$$

де $D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м;

$b_{\text{Е}}$ - ефективна ширина прокладки, м;

k - коефіцієнт прокладки, приймаємо для картонної прокладки $k = 2,5$;

P - тиск в апараті, МПа.

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,263 \cdot 0,01 \cdot 2,5 \cdot 0,15 = 0,029 \text{ МН}$$

Зусилля, яке виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання:

$$Q_{t\phi} = \gamma \cdot n_{\text{б}} \cdot E_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot (a_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - a_{\text{б}}^t \cdot t_{\text{б}}) \quad (3.3.29)$$

де γ - безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

n_{ϕ} – число болтів, шт.;

E_{ϕ} – модуль пружності болта, МПа;

f_{ϕ} – площа поперечного розрізу болта, м²;

$\alpha_{\phi}^t = 16,0 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення при робочій температурі фланців;

t_{ϕ} – температура фланців, °С;

$\alpha_{\phi}^t = 13,2 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення при робочій температурі болтів;

t_{ϕ} – температура болтів, °С.

$$Q_{t\phi} = 0,294 \cdot 48 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot (16 \cdot 10^{-6} \cdot 150 - 13,2 \cdot 10^{-6} \cdot 143) = 0,338 \text{ МН}$$

Монтажне болтове зусилля фланцевого з'єднання за різними умовами:

$$P'_{\phi 1} = \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_E \cdot q \quad (3.3.30)$$

де $D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м;

b_E - ефективна ширина прокладки, м;

q – тиск обтиску прокладки, МПа.

$$P'_{\phi 1} = 3,14 \cdot 1,263 \cdot 0,01 \cdot 20 = 0,794 \text{ МН}$$

$$P''_{\phi 1} = a_{\phi} \cdot (Q_d \mp P) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{с.п.}}} \quad (3.3.31)$$

де $D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м;

$R_{\text{п}}$ - реакція прокладки, МН;

a_{ϕ} – коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

Q_d - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

M – обертаючий момент, Н · м;

P – перепад тиску в апараті, МПа.

$$P''_{\phi 1} = 1,359 \cdot (0,188 \mp 0) + 0,029 + \frac{4 \cdot 0}{1,263} = 0,285 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження ($P < 0,6$ МПа):

$$P_{\phi 1} = \max\{P'_{\phi 1}; P''_{\phi 1}\} \quad (3.3.32)$$

$$P_{\phi 1} = \max\{0,794; 0,285\} = 0,794 \text{ МН}$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Умова потужності прокладки:

$$\frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{с.п.} \cdot b} \leq [q] \quad (3.3.33)$$

де P_{61} - розрахункова болтова навантаження, МН;

$D_{с.п.}$ - середній діаметр прокладки, м;

b - ширина прокладки, м.

$$\frac{0,794}{3,14 \cdot 1,263 \cdot 0,02} = 20 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа} - \text{умова виконана}$$

Болтове навантаження в робочих умовах:

$$P_{62} = P_{61} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_{д} \mp P) + Q_{t\phi} + \frac{4M}{D_{с.п.}} \quad (3.3.34)$$

де P_{61} - розрахункова болтова навантаження, МН;

α_{ϕ} - коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

$Q_{д}$ - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

P - перепад тиску в апараті, МПа;

M - обертаючий момент, Н · м;

$Q_{t\phi}$ - зусилля, виникаюче від температурних деформацій фланців;

$D_{с.п.}$ - середній діаметр прокладки, м.

$$P_{62} = 0,794 + (1 - 1,359) \cdot (0,188 \mp 0) + 0,338 + \frac{4 \cdot 0}{1,263} = 1,065 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{6\phi} = \max\{P_{61}; P_{62}\} \quad (3.3.35)$$

де P_{61} - розрахункове болтове навантаження, МН;

P_{62} - болтове навантаження в робочих умовах, МН.

$$P_{6\phi} = \max\{0,794; 1,065\} = 1,065 \text{ МН}$$

Напруження розтягування болтів в робочих умовах і умовах монтажу відповідно:

$$\sigma_{\text{Б}}^t = \frac{P_{\text{Б}2}}{n_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}}} \quad (3.3.36)$$

де P_{62} - болтове навантаження в робочих умовах, МН;

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$P_{Б1}$ - розрахункове болтове навантаження, МН;

$n_б$ - число болтів, шт.;

$f_б$ - площа поперечного розрізу болта, м².

$$\sigma_Б^t = \frac{1,065}{48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 94,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_Б^{20} = \frac{P_{Б1}}{n_Б \cdot f_Б} \quad (3.3.37)$$

$$\sigma_Б^{20} = \frac{0,794}{48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 70,39 \text{ МПа}$$

Обертаючий момент при затягуванні гайок:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{бф}}{n_Б} \cdot d_б \quad (3.3.38)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя, приймаємо $f_1 = 0,1$;

$P_{бф}$ - розрахункове болтове навантаження, МН;

$n_Б$ - число болтів, шт.;

$d_б$ - діаметр болтів, м.

$$M_{скр} = 0,1 \cdot \frac{1,065}{48} \cdot 0,02 = 3,56 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_б = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} \quad (3.3.39)$$

де $M_{скр}$ - момент, що крутить, при затягуванні гайок, МН · м;

d_0 - внутрішній діаметр болтів, мм.

$$\tau_б = \frac{3,56 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,01838^3} = 28,65 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження в болтах:

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_Б^{20})^2 + 3\tau^2} \quad (3.3.40)$$

де $\sigma_Б^{20}$ - напруження розтягу болтів в умовах монтажу, МПа;

$\sigma_Б^t$ - напруження розтягу болтів в робочих умовах, МПа;

τ - дотичне напруження в болтах, МПа.

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{70,39^2 + 3 \cdot 28,65^2} = 86,13 \text{ МПа}$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3\tau^2} \quad (3.3.41)$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{94,4^2 + 3 \cdot 28,65^2} = 106,65 \text{ МПа}$$

Умова потужності болтів:

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20} \quad (3.3.42)$$

86,13 МПа < 230 МПа – умова виконана

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t \quad (3.3.43)$$

106,65 МПа < 228 МПа – умова виконана

Наведений вигинаючий момент в діаметральному перетині фланця в умовах монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{B1} \cdot (D_B - D_{c.п.}) \quad (3.3.44)$$

де P_{B1} - розрахункове болтове навантаження, МН;

D_6 - діаметр болтової окружності, м;

$D_{c.п.}$ - середній діаметр прокладки, м.

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot 0,794 \cdot (1,313 - 1,263) = 0,0199 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Наведений вигинаючий момент в діаметральному перетині фланця в робочих умовах:

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 \cdot [P_{B2} \cdot (D_B - D_{c.п.}) + Q_d \cdot (D_{c.п.} - D - S_0)] \cdot [\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t} \quad (3.3.45)$$

де P_{B2} - болтове навантаження в робочих умовах, МН;

D_6 - діаметр болтової окружності, м;

$D_{c.п.}$ - середній діаметр прокладки, м;

Q_d - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

D - діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

$[\sigma_\phi]^{20} = 170 \text{ МПа}$ - допустима фланцева напруга для сталі 16ГС при температурі $t_\phi = 20^\circ\text{C}$;

$[\sigma_\phi]^t = 154 \text{ МПа}$ - допустима фланцева напруга для сталі 16ГС при

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

температурі $t_{\phi} = 150^{\circ}\text{C}$.

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 \cdot [1,065 \cdot (1,313 - 1,263) + 0,188 \cdot (1,263 - 1,2 - 0,013)] \cdot 170}{154} =$$
$$= 0,0346 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} \quad (3.3.46)$$

$$M_{0\phi} = \max\{0,0199; 0,0346\} = 0,0346 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допоміжна величина:

$$\varepsilon = 20 \cdot S_0 \quad (3.3.47)$$

де S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$\varepsilon = 20 \cdot 0,012 = 0,24$$

Розрахунковий діаметр при $D \geq \varepsilon$:

$$D^* = D = 1,2 \text{ м}$$

Максимальні напруги в перетині S_1 фланців від дії згинального моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{0\phi} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi}}{D^* \cdot (S_1 - c)^2} \quad (3.3.48)$$

де ψ_3 – допоміжний коефіцієнт;

T_{ϕ} - безрозмірний параметр фланців;

$M_{0\phi}$ - розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця;

ω_{ϕ} - безрозмірний параметр;

D^* - розрахунковий діаметр, м;

S_1 - товщина втулки фланця, м;

c – прибавка на корозію, м.

$$\sigma_{0\phi} = 1 \cdot \frac{1,865 \cdot 0,0346 \cdot 0,773}{1 \cdot (0,0325 - 0,002)^2} = 44,69 \text{ МПа}$$

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинального моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{\text{к}\phi} = \frac{M_{0\phi} \cdot (1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})) \cdot \psi_2}{D \cdot h_{\phi}^2} \quad (3.3.49)$$

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

де ψ_2 – допоміжний коефіцієнт;

$M_{0\phi}$ - розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця;

ω_ϕ - безрозмірний параметр;

D – діаметр апарату, м;

h_ϕ - висота втулки фланця, м;

$\lambda_\phi = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт.

$$\sigma_{к\phi} = \frac{0,0346 \cdot (1 - 0,773 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,22)) \cdot 16,69}{1,2 \cdot 0,035^2} = 29 \text{ МПа}$$

Кільцеві меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{х\phi} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} \quad (3.3.50)$$

де D – діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

c – прибавка на корозію, м;

P – тиск в апараті, МПа.

$$\sigma_{х\phi} = \frac{0,15 \cdot 1,2}{2 \cdot (0,013 - 0,002)} = 8,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{у\phi} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - c)} \quad (3.3.51)$$

$$\sigma_{у\phi} = \frac{0,15 \cdot 1,2}{4 \cdot (0,013 - 0,002)} = 4,1 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруги в перетині S_0 :

$$\sigma_{Е\phi} = \sqrt{(\sigma_{0\phi} + \sigma_{у\phi})^2 + \sigma_{х\phi}^2 - (\sigma_{0\phi} + \sigma_{у\phi}) \cdot \sigma_{х\phi}} \quad (3.3.52)$$

де $\sigma_{0\phi}$ - максимальні напруги в перетині S_0 фланців, МПа;

$\sigma_{у\phi}, \sigma_{х\phi}$ - кільцеві меридіональні напруги, МПа.

$$\sigma_{Е\phi} = \sqrt{(44,69 + 4,1)^2 + 8,2^2 - (44,69 + 4,1) \cdot 8,2} = 45,25 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{Е\phi} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \varphi \quad (3.3.53)$$

45,25 МПа < (480 · 0,9 = 432 МПа) – умова виконана

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Умова герметичності фланцевого з'єднання:

$$\frac{\sigma_{\text{кф}} \cdot D}{2 \cdot E_{\text{ф}} \cdot h_{\text{ф}}} \leq [\theta]; \quad (3.3.54)$$

де $[\theta] = 0,009$ рад - допустимий кут повороту фланця [14];

$\sigma_{\text{кф}}$ - максимальні кільцеві напруги в дисках фланців від дії згинального моменту, МПа;

D – діаметр апарату, м;

$E_{\text{ф1}}$ – модуль пружності для фланців, МПа;

$h_{\text{ф}}$ – висота втулки фланця, мм.

$$\frac{\sigma_{\text{кф}} \cdot D}{E_{\text{ф}} \cdot h_{\text{ф}}} = \frac{29 \cdot 1,2}{1,86 \cdot 10^5 \cdot 0,035} = 0,0053 \text{ рад}$$

$\theta = 0,0053 < [\theta] = 0,009$ рад – умова виконана

Остаточно приймаємо Фланець 1-1200-1-0-16ГС ГОСТ 28759.2-90.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

4. МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА

4.1 МОНТАЖ АПАРАТА

Маса та розміри випускаємих в цей час теплообмінників дозволяють транспортувати їх до місця монтажу повністю в зібраному на заводі-виробнику вигляді. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомашини та ін.

Опорною конструкцією для вертикальних випарників можуть служити балки висотних металоконструкцій. До корпусу апарату приварюються дві опори, відстань між якими відповідає нормаліям. Для установки теплообмінника на вже існуючі балки відстань між опорами можна змінювати в невеликих межах. Між корпусом і опорами апарату повинні поміщатися підкладки з листової сталі, що запобігають утворенню вм'ятин на корпусі [11].

У переважній більшості випадків теплообмінники встановлюють в проектне положення за допомогою самохідних кранів. Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується установка теплообмінників за допомогою двох кранів, що працюють узгоджено [11].

Теплообмінники, що розміщуються в два яруси і більше, доцільно піднімати великими блоками з кількох апаратів після їх взаємної трубопровідної обв'язки. При підйомі блок обв'язаних теплообмінників укладають в ґратчастий жорсткий контейнер, за який і роблять строповку [11].

До трубопровідної обв'язки приступають після остаточної перевірки стану корпусу і закріплення болтів, що з'єднують його опори або лапи з постаментом. Положення теплообмінника вивіряють рівнем або схилом, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки [11].

Монтовані теплообмінники повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі-виробнику, тому на монтажному майданчику їх поодиноці не обпресовують, обмежуючись перевіркою загальної системи теплообміну разом з трубопровідною обв'язкою після завершення монтажних робіт.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4.2 РЕМОНТ АПАРАТА

У процесі тривалої роботи відбувається ерозійний і корозійний знос труб і стінок корпусу: поверхні для теплопередачі забруднюються і її ефективність падає. Характерними дефектами є зменшення товщини стінки труби, днища, корпусу, свищі в зварних швах, пошкодження ущільнювальних поверхонь, тріщини на корпусних деталях і трубах, вм'ятини, нещільності і пропуски в вальцюванні труб в трубних решітках, збільшення діаметра отворів в трубних решітках, виразкова, міжкристалітна та інші види корозії, пошкодження опор, різьблення на кріпильних деталях, зволоження або пошкодження теплоізоляції [14].

Структура ремонтного циклу обладнання різна і залежить від характеру виробництва, типу апарату і теплообмінної установки в цілому. Все теплообмінне обладнання установок експлуатують з проведенням через кожні три місяці профілактичного огляду, щорічного поточного ремонту, середнього ремонту через 3 роки і капітального ремонту через 12 років. У ряді випадків обмежуються двома видами ремонту - поточним і капітальним [14].

При профілактичних оглядах перевіряють затяжку фланцевих з'єднань, усувають нещільності, виконують підтяжку або перебивання сальників запірної арматури, оглядають прилади контролю, запобіжні пристрої.

При поточному ремонті проводять додатковий обсяг робіт: часткове розбирання і демонтаж запірної арматури, перебивання всіх сальників, заміну прокладок, перевірку герметичності арматури, ремонт запобіжних і зворотних клапанів.

При середньому ремонті додатково до обсягу поточного ремонту проводять знімання кришок теплообмінників з очищенням труб і порожнин від мулу, накипу, продуктів корозії, випробування на щільність для виявлення можливих течій труб в трубних решітках, підвальцювання, зачеканення або підвариво свищів і течій, глушіння дефектних труб, перевірку і налагодження роботи мішалок, вибіркочку перевірку труб на корозію, ремонт теплоізоляції.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

При капітальному ремонті додатково до обсягу середнього ремонту виконують роботи по заміні всіх раніше заглушених трубок (при глушінні більше 15% трубок), заміну труб і секцій, що мають течі, заміну труб зі зносом більше 25% по товщині стінки, ремонт і заміну запірної арматури.

Порядок ремонтних операцій після підготовки відключеного від схеми апарату і здачі його в ремонт наступний: демонтаж арматури і трубопровідної обв'язки, розбирання різьбових з'єднань, знімання кришок, люків, виймання трубних решіток, якщо це дозволяє конструкція апаратів, перевірка щільності і міцності труб і їх кріплення в трубних решітках шляхом пневматичних або гідравлічних випробувань, глушіння, розвальцювання (обварка) труб в трубних решітках, витягання труб з корпусу при їх заміні, постановка нових труб з попереднім очищенням отворів в решітках і зачисткою кінців труб, ремонт корпусних деталей, вирубка і вирізка прокладок, підготовка кріплення, збірка апарату, випробування на щільність та міцність, здача в експлуатацію [14].

Ремонт теплообмінних апаратів починають з перевірки їх щільності. Течі в теплообмінних апаратах виявляють при їх випробуванні тиском води (опресовування). При випробуванні нероз'ємних кожухотрубних апаратів воду подають в міжтрубний простір і, піднімаючи тиск до тиску випробування, перевіряють апарат на відсутність течі в трубній решітці і з порожнини трубок. Виявлені труби з течами можуть бути відглушені тимчасовими пробками для продовження випробувань [14].

При заміні вальцьовані труби підрізають за трубними ґратами спеціальним різцем або розсвердлюють для зменшення товщини стінки і наступної виїмки. Всі ці операції проводять так, щоб не пошкодити поверхні отворів в решітці. Розсвердлювання ведуть ступінчастим свердлом з centruючим гладким кінцем, рівним внутрішньому діаметру труби, і ріжучої частиною, рівною 3/4 зовнішнього діаметра труб. Зменшення товщини труб різко знижує напруга в вальцювальному з'єднанні, і труба легко виймається. Щоб не упустити трубу в міжтрубний простір, в неї вставляють з іншої трубної решітки металевий прут або використовують пристосування [14].

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Труби, закріплені в трубній решітці за допомогою зварювання, видаляють з апарату вирубкою вручну кільцевого шва або зрізанням торця труби і шва фрезою з приводом від гнучкого валу. До заміни вибитих дефектних трубок новими отвори в трубних решітках зачищають, продувають і насухо протирають. Поздовжні нерівності на поверхнях отворів зачищають шабером. Шорсткість поверхні в отворах під вальцювання повинна бути не нижче Ra 0,80 мкм [14].

Кінці труб зачищають, протирають, труби вставляють в трубну решітку, зазори продувають повітрям. Величина зазору не повинна бути менше 0,5 і більше 1,5% діаметра труби. При малих зазорах важко заводити труби в трубну решітку, а при великих з'являється небезпека втрати міцності труби і щільності з'єднання. Розвальцювання починають з привальцювання - роздачі кінця труби для його закріплення в отворі. Привальцювання виконують вальцювання з довжиною роликів на 10- 12 мм, що перевищує товщину трубної решітки. Після привальцювання всіх труб проводять остаточне розвальцювання з розрахунку 15-20% товщини стінки вальцюються труби і відбортують кінці труб під кутом 15° до осі труби. Привальцювання виконують кріпильним гнуттям, остаточне привальцювання і відборування - бортовочним гнуттям (з бортовочними роликами) [14].

Якість роботи перевіряють оглядом на відсутність тріщин і розривів, підрізу труб по кромці гнізда, а також переконуються у відсутності яскраво вираженого переходу між вальцьованою і невальцьованою частиною.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ НА НАФТОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Техніка безпеки при роботі на нафтопереробних підприємствах вимагає дотримання наступних вимог [15]:

1. Технологічне обладнання, засоби контролю, управління, сигналізації, зв'язку і протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) повинні піддаватися зовнішньому огляду з такою періодичністю:

- технологічне обладнання, трубопровідна арматура, електрообладнання, засоби захисту, технологічні трубопроводи - перед початком кожної зміни і протягом зміни не рідше ніж через кожні 2 години, операторами, машиністом, старшим по зміні;

- засоби контролю, управління, виконавчі механізми, ПАЗ, засоби сигналізації та зв'язку - не рідше одного разу на добу працівниками служби КВПіА;

- вентиляційні системи - перед початком кожної зміни старшим по зміні;

- засоби пожежогасіння - перед початком кожної зміни старшим по зміні;

- автоматичні системи пожежогасіння - не рідше одного разу на місяць спеціально призначеними особами спільно з працівниками пожежної охорони.

Результати оглядів повинні заноситися в журнал приймання та здавання змін.

2. Вибір, установка і технічне обслуговування запобіжних пристроїв від перевищення тиску повинні відповідати вимогам діючих Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, Правил розробки, виготовлення і застосування мембранних запобіжних пристроїв, ГОСТ 12.2.085 і інших діючих нормативних документів.

3. Пуск установки повинен проводитися в суворій відповідності з технологічним регламентом. Підставою для пуску установки є наказ по підприємству, в якому встановлюються терміни пуску і виведення на режим, а

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

також призначаються особи, відповідальні за проведення пускових робіт. На відповідальних за пуск осіб покладається організація і безпечне проведення всіх передпускових заходів і висновок установки на режим із забезпеченням заходів безпеки.

4. Перед пуском установки повинна бути перевірена працездатність всіх систем енергозабезпечення (теплопостачання, водопостачання, електропостачання, постачання інертними газами), систем опалення та вентиляції і ін., а також готовність до роботи факельної системи, яка обслуговує дану установку.

5. Необхідність застосування та тип систем пожежогасіння вибухопожежонебезпечних об'єктів визначаються проектною організацією на підставі Відомчих вказівок по протипожежному проектуванню підприємств, будівель і споруд нафтопереробної і нафтохімічної промисловості.

6. Легкі горючі гази з вмістом водню 60% і більше допускається скидати з запобіжних клапанів на свічу в безпечне на установці місце.

7. Матеріали апаратів, що працюють в середовищі газу, що містить водень, повинні бути обрані з урахуванням впливу водневої корозії.

8. Відбір проб нафтопродуктів повинен здійснюватися відповідно до інструкції з відбору проб, затвердженої головним інженером підприємства.

9. Відбір проб легкозаймистих і газоподібних продуктів, селективних розчинників і реагентів повинен проводитися поза приміщеннями, для чого пробовідбірні трубки повинні бути виведені з приміщення назовні. При необхідності відбору проб в приміщенні пробовідбірник повинен поміщатися в спеціальній шафі, обладнаній витяжною вентиляцією, при цьому вентиляція повинна включатися автоматично при відкриванні дверцят шафи.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

5.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТУ ЗА СТУПЕНЕМ ТОКСИЧНОСТІ

Бензол – легко-летюча рідина (летючість 320 мг/л при 20°C) з високим ступенем займання, тому при роботі з ним необхідно дотримуватися техніки безпеки робіт з легкозаймистими рідинами. Велику небезпеку становлять пари бензолу, так як вони можуть утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям [16].

Для гасіння бензолу використовують піну, розпорошену воду, двоокис вуглецю, порошок. У разі пожежі необхідно охолоджувати бочки, розпорошуючи воду.

ГДК в повітрі становить 5 мг/м³ (середньозмінна за 8 годин).

Вплив бензолу на людину, профілактичні засоби та засоби надання першої медичної допомоги наведені в таблиці 5.2.1.

Таблиця 5.2.1 – Вплив бензолу на людину та засоби надання першої медичної допомоги [16].

Вид впливу	Симптоми	Профілактика	Надання першої медичної допомоги
Потрапляння в дихальні шляхи	Запаморочення, сонливість, головний біль, гудота, судоми. Втрата свідомості.	Застосовувати вентиляцію, місцеву витяжку або ЗІЗ	Свіже повітря, спокій. Звернутися за медичною допомогою.
Потрапляння на шкіру	Може абсорбувати! Сухість шкіри, почервоніння, біль.	Застосовувати ЗІЗ	Зняти забруднений одяг. Промити шкіру великою кількістю води або прийняти душ. звернутися за медичною допомогою.
Потрапляння в очі	Почервоніння	Використовувати маску для обличчя або засоби захисту очей в комбінації із засобами захисту органів дихання.	Промити великою кількістю води протягом декількох хвилин (зняти контактні лінзи, якщо це можливо зробити без труднощів), потім звернутися за медичною допомогою.
Проковтування	Біль в животі, біль в горлі, блювота.	Не вживати їжу, напої і не курити під час роботи.	Прополоскати рот. НЕ викликати блювоту. Звернутися за медичною допомогою.

5.3 ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

5.3.1 Спецодяг і взуття

Існують наступні вимоги до спецодягу та спецвзуття [17]:

1. Спецодяг і спецвзуття повинні відповідати розміру і зросту робітника. Спецодяг не повинен заважати руху робітника під час роботи.
2. Під час роботи робітники зобов'язані користуватися виданим їм спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Персонал, який обслуговує механізми, зобов'язаний носити спецодяг в застебнутому вигляді, повинен прибирати довге волосся під головний убір або косинку.
3. Адміністрація підприємства зобов'язана регулярно проводити ремонт спецодягу, спецвзуття, їх хімчистку, а при роботі з шкідливими речовинами - знешкодження їх, а також контролювати стан індивідуальних засобів захисту.
4. При небезпеці попадання в очі сторонніх тіл, шкідливих рідин, парів і газів, які здатні викликати роздратування очей, робітники повинні користуватися захисними окулярами.
5. Всі роботи зі шкідливими речовинами слід проводити у відповідному спецодязі, спецвзутті та у відповідних запобіжних засобах (окулярах, рукавицях, фартухах, протигазах). Обслуговуючий персонал повинен розташовуватися з навітряного боку щодо місця роботи зі шкідливими речовинами.
6. Відповідальність за правильне використання засобів індивідуального захисту несуть особи, які безпосередньо виконують роботу, а також начальники установок.

5.3.2 Протигази

Існують наступні вимоги до протигазів [17]:

1. При роботі в місцях, де можливе збільшення концентрації шкідливих газів і парів вище допустимих санітарних норм, працівники повинні забезпечуватися відповідними протигазами.
2. Протигази, що видаються робітникам, слід підбирати по розмірах і зберігати на робочих місцях в особливих шафах, кожен в окремому відділенні з написом прізвища та ініціалів робітника. До сумки протигазу повинна бути

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

прикріплена бирка (етикетка) з тим же написом. Справність протигазів та інших газозахисних засобів необхідно періодично перевіряти за графіком, затвердженим головним інженером підприємства.

3. На робочих місцях повинна бути інструкція по користуванню протигазом, визначенню справності окремих частин його, а також по догляду, зберігання і дезінфекції.

4. Протигази (маски, коробки, шланги і та ін.) до і після застосування повинні бути ретельно перевірені і при виявленні несправності бути списаними.

5. Протигази і інші газозахисні засоби слід перевіряти не рідше одного разу на три місяці. Фільтруючі протигази повинні замінюватися в установленому порядку в терміни, зазначені в технічних паспортах на ці засоби захисту.

6. Усі робітники на установці повинні бути навчені правилам користування протигазами. Тренувальні заняття повинні проводитися за графіком, затвердженим головним інженером підприємства.

7. На кожному газо- і вибухонебезпечному об'єкті повинен бути аварійний запас протигазів відповідних марок. Кількість фільтруючих аварійних протигазів (різних розмірів) має бути не менше найбільшої кількості працюючих в зміну, резервних шлангових - не менше двох.

8. Аварійний запас фільтруючих протигазів повинен зберігатися в ящику під пломбою, шлангові протигази - в опломбованих валізах. Забороняється замикати на замки аварійний запас протигазів. Цілісність пломб аварійного запасу перевіряється при прийомі і здачі зміни обслуговуючим персоналом.

9. Персонал повинен знати місця розташування робочих і аварійних протигазів.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розглянута технологія виробництва бензолу і важливий процес технології – випарювання толуолу.

Розглянуті теоретичні основи процесу випаровування та пояснена різниця між випаровуванням та кипінням. Надані основні фізико-хімічні характеристики готового продукту – бензолу. Описана технологія виробництва бензолу через каталітичний риформінг. Розглянуто пристрій випарників та обрана основна конструкція.

Проведено технологічні розрахунки апарату. Визначено основні технологічні параметри толуолу та розрахована необхідна площа поверхні теплообміну, завдяки чому підібрано стандартний теплообмінник. Розраховано гідравлічний опір теплообмінника. Підібрано допоміжне обладнання у вигляді відцентрового насосу. Розрахунками на міцність підтверджена працездатність теплообміннику.

Описано основні правила монтажу та ремонту теплообмінника, обґрунтована охорона праці для робітників нафтопереробних підприємств.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудинов В. И., «Основы нефтегазопромыслового дела», изд. «ИКИ», 2005, 720 стр., ISBN 5-93972-333-0
2. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. (2006). Органічна хімія. Львів: Центр Європи. с. 864. ISBN 966-7022-19-6.
3. ГОСТ 9572-93 Бензол нефтяной. Технические условия
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.
5. Михеев М. А., Основы теплопередачи, 3 изд., М. — Л., 1956
6. БЕНЗОЛ: технологии производства [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://newchemistry.ru/letter.php?n_id=663.
7. С. А. Ахметов Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива: Учебное пособие. — СПб.: Недра, 2007. — 312 с
8. Соколов В.Н. (ред.) Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский, А.С. Решанов, В.Н. Соколов. / Под общ. ред. В.Н. Соколова. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 1992. - 327 с.
9. Машины и аппараты химических производств / И.И. Поникаров, О.А. Перельгин, В.Н. Доронин, М.Г. Гайнуллин. - М.: Машиностроение, 1989. - 368 с.
10. Лазинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. – 752с.
11. Сталь марки 16ГС [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/stk/16GS.
12. Михалева М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств примеры и задачи. - Ленинград: «Машиностроение», 1984. - 303 с.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

13. Монтаж теплообменной аппаратуры [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://чхмт.рф/учебник/montag/480.php>.

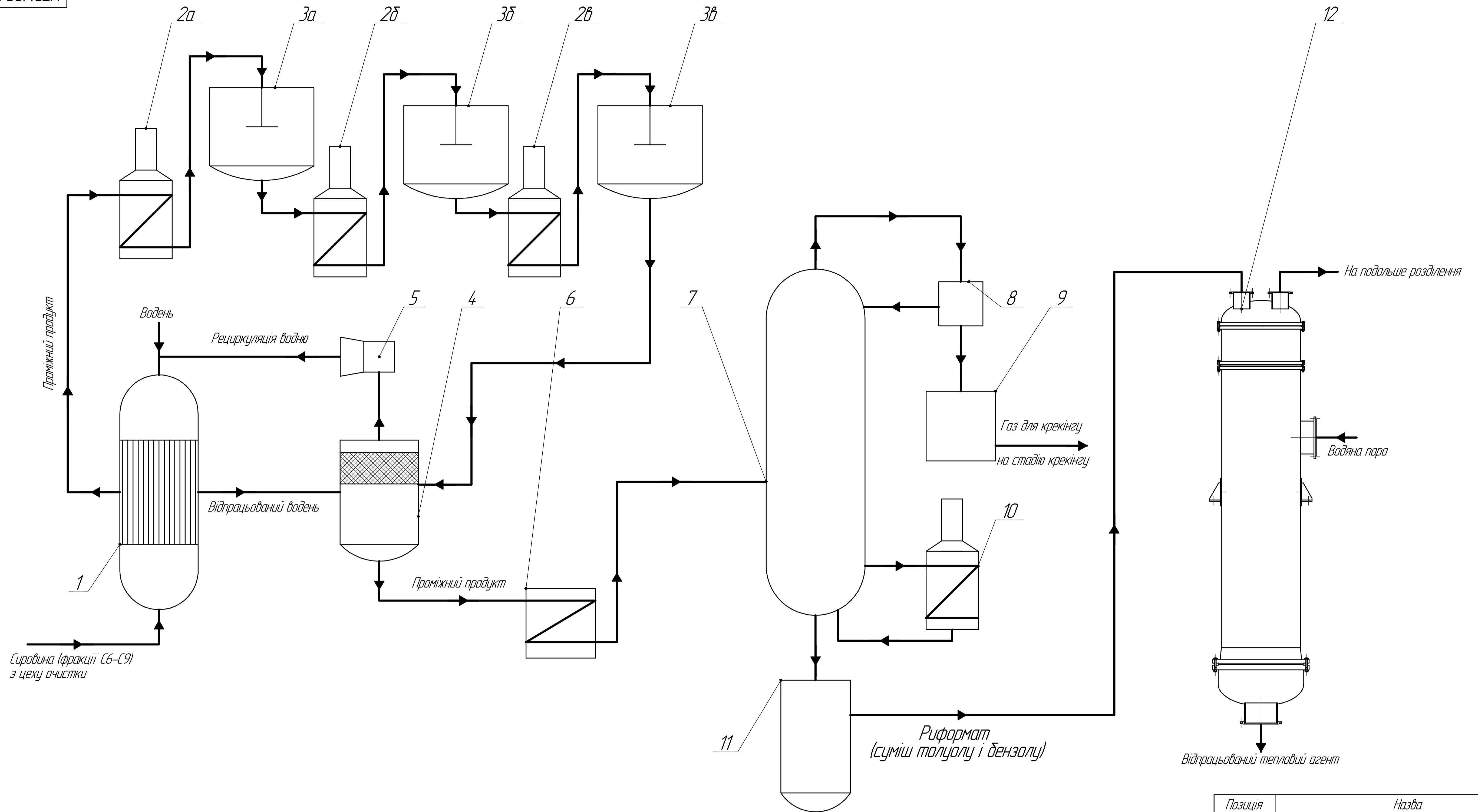
14. Технология ремонта теплообменных аппаратов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://stroy-spravka.ru/article/tekhnologiya-remonta-terploobmennyykh-apparatov>.

15. ПБЭ НП 2001. Правила безопасной эксплуатации и охраны труда для нефтеперерабатывающих производств

16. ICSC 0015. Бензол [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=ru&p_card_id=0015&p_version=2.

17. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ НЕФТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_8919.htm.

					ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



Позиція	Назва	Кількість
1	Колона з каталізатором	1
2а, 2б, 2в	Трубчасті печі для реакторів	3
3а, 3б, 3в	Реактори	1
4	Стабілізатор	1
5	Сепаратор рециркуляції водню	1
6	Ємність проміжного продукту з підгрівом від трубчастої печі	1
7	Колона-стабілізатор	1
8	Розподільник з колони-стабілізатора	1
9	Ємність для газу для крекінгу з охолодженням	1
10	Піч для підтримання температури в колони-стабілізаторі	1
11	Ємність з риформатом	1
12	Теплообмінник для фазового переходу	1

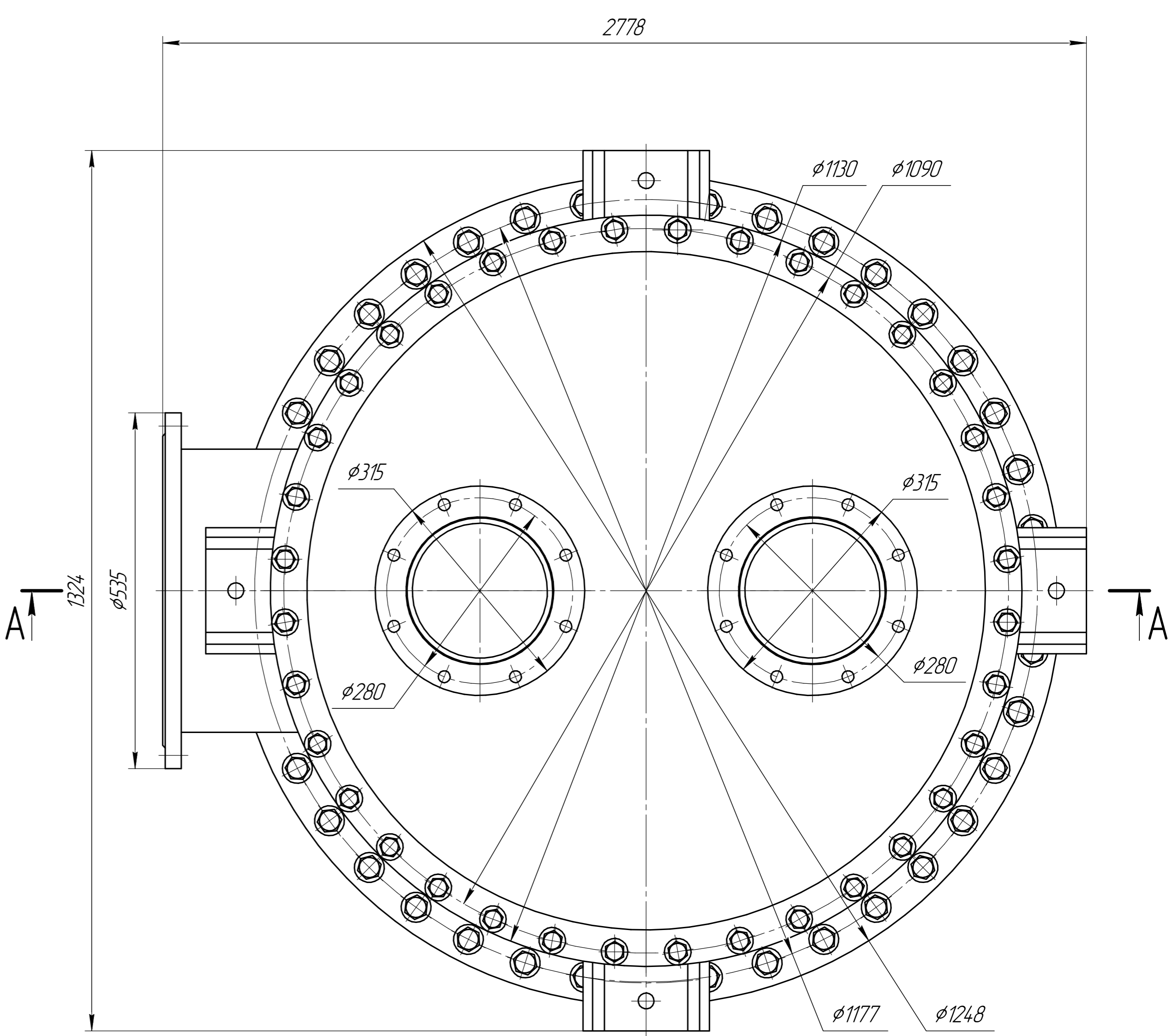
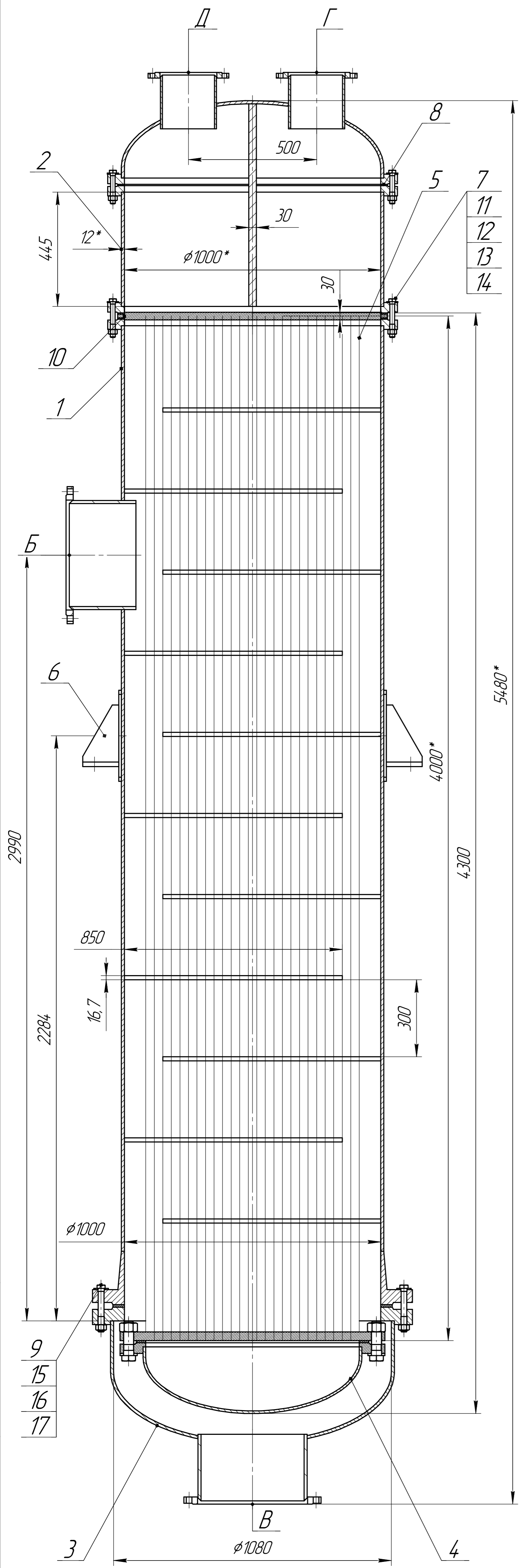
ХТВМС.В.00.00.00 СЗ

Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
у	-	-	-	1	-	-

Отримання бензолу
Схема загальна

ІНСУМДУ
гр. ХМ-71ш
Формат А1

A-A (1:10)



Таблиця штуцерів

Позн.	Призначення	Кіл.	Прохід умовний D _y мм	Тиск умовний P _y МПа
Б	Вхід теплоносія	1	400	0,6
В	Вихід теплоносія	1	400	0,6
Г	Вхід рідини	1	200	0,6
Д	Вихід пари (готового продукту)	1	200	0,6

1. Апарат виготовити згідно до ОСТ 26-291-94 "Ємності і апарати сталеві зварні".
2. Зварювальні шви контролювати УЗД або рентгеноприсвічуванням в обсязі 50%. Шви, недоступні контролю УЗД або рентгеноприсвічуванням, контролювати відповідно до РД 26-11-01-85.
3. Трудний простір апарату випробувати прадним гідралічним тиском 0,248 МПа.
4. Гідралічне випробування зробити водним розчином інгібітору корозії М1 з концентрацією 1... 5%.
5. * Розміри для довідок.

Лист № 15
Лист № 16
Лист № 17
Лист № 18
Лист № 19
Лист № 20
Лист № 21
Лист № 22
Лист № 23
Лист № 24
Лист № 25
Лист № 26
Лист № 27
Лист № 28
Лист № 29
Лист № 30
Лист № 31
Лист № 32
Лист № 33
Лист № 34
Лист № 35
Лист № 36
Лист № 37
Лист № 38
Лист № 39
Лист № 40
Лист № 41
Лист № 42
Лист № 43
Лист № 44
Лист № 45
Лист № 46
Лист № 47
Лист № 48
Лист № 49
Лист № 50

XТВМС.В.00.00.00			Лист	Масса	Масштаб
Випарник			у	5800	15
Складальне креслення			Лист	Листов	1
			ШСумДУ		
			гр. ХМ-71ш		
			Формат А1		