

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту**

на тему: **«Розробка теплообмінника типу «труба в трубі» в лінії  
виробництва нафтизину»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет біотехнології і біотехніки**  
**Кафедра біотехніки та інженерії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма: Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Вікторія МЕЛЬНИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проєкт студенту**  
**Гнотівському Олександру Олександровичу**

1. Тема проєкту «Розробка теплообмінника типу «труба в трубі» в лінії виробництва нафтизину», керівник проєкту Фесенко Сергій Вікторович, кандидат технічних наук, старший викладач, затверджені наказом по університету від «21» 05.2020 р. №1125-с
2. Термін подання студентом проєкту 02.06.2020.
3. Вихідні дані до проєкту: продуктивність апарата  $G = 10 \text{ кг/с}$ , температура продукту на вході в апарат  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ , температура продукту на виході з апарату  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ , температура насиченої водяної пари  $t_n = 120^\circ\text{C}$ , тиск пари  $P_1 = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , тиск води питної  $P_2 = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , швидкість руху насиченої водяної пари в міжтрубному просторі  $w_n = 10 \text{ м/с}$ .
4. Зміст пояснювальної записки: призначення та область застосування теплообмінників типу «труба в трубі», опис технологічного процесу виробництва нафтизину, обґрунтування обраної конструкції, технічна характеристика теплообмінника типу «труба в трубі», розрахунки, що

підтверджують працездатність та надійність конструкції, рекомендації з монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва нафтизину (A1), Теплообмінник типу "труба в трубі". Складальне креслення (A1); креслення складальних одиниць: Елемент теплообмінний. Складальне креслення (A2), Опора фіксуюча. Складальне креслення (A2), Коліно. Складальне креслення (A2) , Штуцер. Складальне креслення (A3); креслення деталей: Фланець(A3).

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Опис технологічного процесу отримання препарату Нафтизин	професор д.ф-м.н Литвинов Григорій Сергійович		

7. Дата видачі завдання 23.02.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Опис технологічного процесу	25.02.20-05.03.20	
2	Апаратурно-технологічна схема	05.03.20-22.03.20	
3	Призначення та область застосування теплообмінників типу «труба в трубі»	22.03.20-30.03.20	
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	30.03.20-16.04.20	
5	Рекомендації з монтажу та експлуатації	16.04.20-26.04.20	
6	Складальне креслення апарата, креслення складальних одиниць і деталей	26.04.20-25.05.20	
7	Оформлення ПЗ	25.05.20-31.05.20	

Студент



Олександр ГНОТІВСЬКИЙ

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

Сергій ФЕСЕНКО

## Реферат

Дипломний проект на здобуття ступеня «бакалавр» на тему: «Розробка теплообмінника типу «труба в трубі» в лінії виробництва нафтизину» / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; керівник Фесенко С. В., виконавець Гнотівський О.О.

Мета проекту - проектування теплообмінного обладнання для забезпечення виробництва технологічною рідиною та можливості проведення подальших технологічних операцій.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, семи розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 70 сторінок, 6 рисунків, перелік посилань з 20 найменувань (на 2 сторінках). Графічна частина містить : апаратурно-технологічна схема лінії виробництва нафтизину (A1), Теплообмінник типу "труба в трубі". Складальне креслення (A1); креслення складальних одиниць: Елемент теплообмінний. Складальне креслення (A2), Опора фіксуюча. Складальне креслення (A2), Коліно. Складальне креслення (A2), Штуцер. Складальне креслення (A3); креслення деталей: Фланець(A3).

В дипломному проекті спроектовано теплообмінник типу «труба в трубі» та проведено розрахунки які підтверджують працездатність та надійність конструкції.

Новизною в даному проекті є заміна звичайних опор - сідлоподібними опорами-стійками з фіксуючими пластинами для забезпечення зручності монтажу та обслуговування.

ВОДОПІДГОТОВКА, ВОДА ОЧИЩЕНА, ТЕПЛООБМІННИК ТИПУ «ТРУБА В ТРУБІ», НАФТИЗИН, АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ЛІНІЯ ВИРОБНИЦТВА НАФТИЗИНУ.

## Abstract

Bachelor project on " Development of “pipe in pipe” heat exchanger Naphazoline production line" / NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; scientific advisor Fesenko S. V., student Hnotivskyi O.O.

The purpose of the project - design of heat transfer equipment for the production of process fluid and opportunities for further technological operations.

The work consists of a list of abbreviations, introduction, 7 chapters, conclusions, list of references and applications. Full amount of work is 70 pages, 6 figures, a list of references with 20 items (2 pages). The graphic part contains apparatus - technological chart of naphazoline production line (A1); “pipe in pipe” heat exchanger . Assembly drawing (A1); drawings of assembly units: Heat exchange element. Assembly drawing (A2), Fixing support. Assembly drawing (A2), Knee. Assembly drawing (A2), fitting. Assembly drawing (A3); drawing of details: Flange (A3).

In the diploma project a heat exchanger of the type "pipe in a pipe" was designed and calculations were made that confirm the efficiency and reliability of the design.

The novelty in this project is to replace the normal poles - saddle supports, stand with locking plates to ensure ease of installation and maintenance.

WATER TREATMENT, PURIFIED WATER, “PIPE IN PIPE” HEAT EXCHANGER, NAPHAZOLINE, APPARATUS - TECHNOLOGICAL SCHEME, NAPHAZOLINE PRODUCTION LINE.

## Зміст

Перелік умовних позначень та скорочень .....	8
Вступ.....	10
1. Призначення та область застосування .....	11
теплообмінників типу «труба в трубі».....	11
1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування .....	11
1.2 Характеристика нафтизину .....	11
2. Опис технологічного процесу виробництва нафтизину .....	14
3. Обґрунтування обраної конструкції.....	19
3.1. Конструкція та принцип дії виробу .....	19
3.2. Вибір матеріалів для виготовлення.....	20
3.3 Патентний пошук та огляд літератури.....	21
4. Технічна характеристика теплообмінника.....	23
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність.....	24
та надійність конструкції .....	24
5.1. Конструктивний розрахунок теплообмінника .....	25
5.2. Тепловий розрахунок теплообмінника .....	26
5.2.1. Визначення теплового навантаження апарата .....	26
5.2.2. Визначення коефіцієнта теплопередачі.....	27
5.2.3. Визначення поверхні теплообміну .....	31
5.3. Гідравлічний розрахунок теплообмінника .....	32
5.4. Розрахунок розмірів елементів деталей,.....	33
складальних одиниць, кріпильних засобів .....	33
та перевірка їх на міцність. ....	33
5.4.1. Перевірка теплообмінної труби на міцність та стійкість .....	34
5.4.2. Перевірка кожухової труби на міцність .....	35

БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Гнатівський О.О.		
Перевірів		Фесенко С.В.		
Н. Контр.		Фесенко С.В.		
Затверд.		Мельник В.М.		
Розробка теплообмінника типу «труба в трубі» в лінії виробництва нафтизину				
		Лит.	Аркуш	Аркушів
		6		
КПІ ім. І.Сікорського ФБТ,БІ-61				

5.4.3. Розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінної труби .....	36
5.4.4. Розрахунок штуцерів .....	42
5.4.5. Перевірка несучої спроможності апарата .....	44
на дію опорних навантажень .....	44
6. Рекомендації з монтажу та експлуатації .....	48
6.1. Компоновка та монтаж .....	48
6.2. Випробування.....	49
6.3. Вимоги до експлуатації апарату.....	49
7. Рівень стандартизації та уніфікації .....	50
Висновки.....	52
Перелік посилань .....	53
Додаток А Апаратурно-технологічна схема.....	56
Додаток Б Патентний пошук.....	58
Додаток В Специфікації.....	64

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## Перелік умовних позначень та скорочень

$G$  – масова витрата,  $кг/с$ ;

$\rho$  – густина,  $кг/м^3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $Вт/мК$ ;

$c$  – теплоємність,  $Дж/кгК$ ;

$\nu$  – коефіцієнт кінетичної в'язкості,  $м^2/с$ ;

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості,  $Па \cdot с$ ;

$V$  – об'ємна витрата,  $м^3/с$ ;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі,  $Вт/м^2К$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $Вт/м^2К$ ;

$\delta$  – товщина стінки труби,  $м$ ;

$r$  – термічний опір забруднень,  $Вт/м^2К$ ;

$d_{екв}$  – еквівалентний діаметр,  $м$ ;

$d_{вн}^3$  – внутрішній діаметр кожухової труби,  $м$ ;

$d_{зв}^3$  – зовнішній діаметр кожухової труби,  $м$ ;

$d_{вн}^6$  – внутрішній діаметр теплообмінної труби,  $м$ ;

$d_{зв}^6$  – зовнішній діаметр теплообмінної труби,  $м$ ;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Nu$  – критерій Нусельта;

$Pr$  – критерій Прандтля;

$q$  – поверхнева густина теплового потоку,  $Вт/м^2$ ;

$\Delta p$  – перепад тиску в апараті,  $Па$ ;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії;

$l$  – довжина труби,  $м$ ;

$\xi$  – коефіцієнт місцевого опору;

$\omega$  – швидкість руху рідини,  $м/с$ ;

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

$N$  – потужність привода насоса, *Вт*;  
 $n_y$  – границя стійкості;  
 $\varphi$  – коефіцієнт міцності зварних швів;  
 $D_n$  – зовнішній діаметр фланця, *м*;  
 $D_o$  – діаметр болтової окружності, *м*;  
 $d_o$  – діаметр болта, *м*;  
 $l_o$  – довжина болта, *м*;  
 $u_1$  – нормативний зазор, *м*;  
 $k_{np}$  – прокладочний коефіцієнт;  
 $a$  – конструктивний додаток до розміру болтів, *м*;  
 $h_n$  – товщина прокладки, *м*;  
 $b$  – ширина прокладки, *м*;  
 $k_n$  – коефіцієнт обтискання прокладки;  
 $E$  – модуль пружності, *МПа*;  
 $f_o$  – площа поперечного перерізу болта, *м<sup>2</sup>*;  
 $\nu, \psi_1, \psi_2$  – конструктивні коефіцієнти;  
 $\alpha_\phi$  – коефіцієнт об'ємного розширення фланця, *°С<sup>-1</sup>*;  
 $\alpha_o$  – коефіцієнт об'ємного розширення болтів, *°С<sup>-1</sup>*;  
 $q$  – зусилля герметизації, *МПа*;  
 $[\sigma]$  – граничне напруження, *МПа*;  
 $[P]$  – допустимий тиск, *МПа*;  
 $\gamma_\phi$  – піддатливість фланця, *1/(мМН)*;  
 $\gamma_o$  – піддатливість болтів, *м/МН*;  
 $\gamma_c$  – піддатливість вільного кільця, *1/(мМН)*;  
 $[\theta]$  – граничний кут повороту, *рад*.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## Вступ

Сьогодні біотехнологія займає первинне місце застосування отриманої продукції в фармацевтичній, мікробіологічній та харчовій галузях, медицині та сільському господарстві. Обладнання для біотехнологічних процесів схоже з обладнанням із галузей харчової і хімічної промисловості.

Виробництво нафтизину в Україні розпочалося після створення в лабораторіях ПАТ «Фармак» даного препарату. Даний апарат відразу вивів як ПАТ «Фармак» на новий рівень, так і Україну в цілому.

В даному дипломному проекті представлено лінію виробництва нафтизину. Мета проекту – проектування теплообмінного обладнання для забезпечення виробництва технологічною рідиною та можливості проведення подальших технологічних операцій.

Розрізняють декілька видів теплообмінника типу «труба в трубі». Перший і найпростіший за своєю конструкцією – це розбірний теплообмінник типу «труба в трубі». Другий – теплообмінник типу «труба в трубі» з сальниковим ущільненням в місці з'єднання теплообмінних та кожухових труб. Третій – розбірний теплообмінник типу «труба в трубі» з двома сальниками. Сальникове ущільнення в таких теплообмінниках робиться для того, щоб зменшити температурні напруження, які виникають в місці з'єднання теплообмінних та кожухових труб. У якості гріючого або охолоджуючого агенту в таких теплообмінниках зазвичай використовується насичена водяна пара, вода або інші [2].

Теплообмінник типу «труба в трубі», що проектується використовується в фармацевтичній промисловості, а точніше в лінії виробництва нафтизину. Готовим препаратом лінії є розчин нафтизину 0,05 %, що випускається ПАТ «Фармак». Теплообмінник призначений для отримання води нагрітої, яка призначена для миття пробок гумових. В якості теплоносія використовується насичена водяна пара. Вода нагрівається до такої температури, яка необхідна для процесу миття.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. Призначення та область застосування теплообмінників типу «труба в трубі»

## 1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування

Теплообмінники призначені для передачі тепла з одного середовища в інше. Найбільш простими теплообмінниками, які використовуються в фармацевтичній та мікробіологічній промисловості, є теплообмінники типу «труба в трубі». Різноманітності компоновань, швидкість збирання з стандартних елементів на місці монтажу – є основною перевагою теплообмінника типу «труба в трубі». Поверхню теплообміну можна збільшити за рахунок установки додаткових секцій. Принцип роботи теплообмінника типу «труба в трубі»: речовина, яку потрібно охолодити або нагріти тече в трубному просторі, теплоносій який охолоджує або нагріває речовину, яка тече в трубному просторі, подається в міжтрубний простір. Через тонку стінку відбувається теплообмін. Теплообмінні труби з'єднуються за допомогою коліна [15].

Даний теплообмінний апарат належить до теплообмінників рекуперативного типу. Це такі пристрої в яких дві рідини з різними температурами рухаються в просторі розділеному твердою стінкою. Вони призначені для передачі тепла від холодного робочого середовища до гарячого або навпаки через теплообміну поверхню [15].

Теплообмінники типу «труба в трубі» є найбільш простими теплообмінниками, які забезпечують герметичність і використовуються в фармацевтичній, харчовій та мікробіологічній промисловостях.

## 1.2 Характеристика нафтизину

Розчин нафтизину 0,05 % випускається ВАТ «Фармак» відповідно до вимог промислового регламенту ПР 64-00481198-017-06.

Показники якості препарату відповідають вимогам АНД ВАТ «Фармак», затвердженої наказом № 305 МОЗ України від 24.05.06 р. та зміни № 1 до неї, затвердженої наказом № 412 МОЗ України від 17.08.05 р.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Форма випуску:

Каплі назальні, спрей назальний дозований

АТС класифікація:

Засоби, які діють на судини слизистих оболонок

Опис товару:

Інструкція медичного застосування препарату:

Нафтізін (Naphthizine)

Загальна характеристика:

хімічна назва: 2-(1-нафтилметил)-2-амідозоліну нітрат;

основні фізико-хімічні властивості: прозора безбарвна або злегка жовтувата рідина;

склад: 1мл містить нафтизину (нафазоліну нітрату) 0,5 мг (0,05% розчин) або 1 мг(0,1% розчин);

допоміжні речовини: кислота борна, вода для ін'єкцій.

Форма випуску. Краплі назальні.

Фармакологічна група. Протинабрякові препарати для місцевого застосування при захворюваннях порожнини носа.

Фармакологічні властивості. Фармакодинаміка. Нафтизін® має виражену судинозвужувальну дію на периферичні судини завдяки впливу на

адренорецептори. При нанесенні на слизові оболонки зменшує набряк, при ринітах полегшує носове дихання, зменшуючи притік крові до венозних синусів, а також розширює зіниці, сповільнює всмоктування місцевоанестезуючих засобів.

Фармакокінетика. При нанесенні на слизову оболонку носа діє переважно місцево завдяки звуженню поверхневих судин, що перешкоджає всмоктуванню та резорбтивній дії препарату. При тривалому і частому застосуванні частково всмоктується і проявляються резорбтивні адреноміметичні ефекти (підвищення артеріального тиску).

Показання до вживання. Застосовують переважно в оториноларингології при ринітах, запаленні гайморових пазух, для зупинки носових кровотеч; при проведенні риноскопії та інших діагностичних та хірургічних маніпуляцій у

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

травматології та хірургії з метою зменшення набряку, кровотечі і запальних реакцій слизової носа. Може застосовуватися при алергічних кон'юнктивітах, а також для уповільнення всмоктування місцевих анестетиків.

Побічна дія. На початкових етапах застосування можуть спостерігатися відчуття печіння або сухості, що поступово зменшуються. В окремих випадках можливо виникнення набряку Квінке. При тривалому використанні ефективність препарату знижується внаслідок розвитку тахіфілаксії (звикання) та можливий розвиток медикаментозного риніту, при якому відміна препарату викликає закладеність носа.

Протипоказання. Протипоказаний при гіпертензії, тахікардії, вираженому атеросклерозі, гіпертиреозі, підвищеній індивідуальній чутливості до препарату. Не можна застосовувати для лікування дітей до року через небезпеку передозування препарату.

Умови зберігання. Зберігати в захищеному від світла та недоступному для дітей місці при температурі від 15 С до 25 °С.

Термін придатності. Термін придатності 3 роки у флаконі поліетиленовому. Після відкриття флакона препарат придатний до вживання 28 діб. Термін придатності 2 роки у флаконі поліетиленовому з контролем розкриття [2].

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Опис технологічного процесу виробництва нафтизину

Технологічна схема складається з трубопроводів, по яким до апаратів подається насичена водяна пара, очищена вода, стерилізоване повітря, а також по трубопроводам відводяться конденсат і відходи до каналізації. (Рис. 2.1)

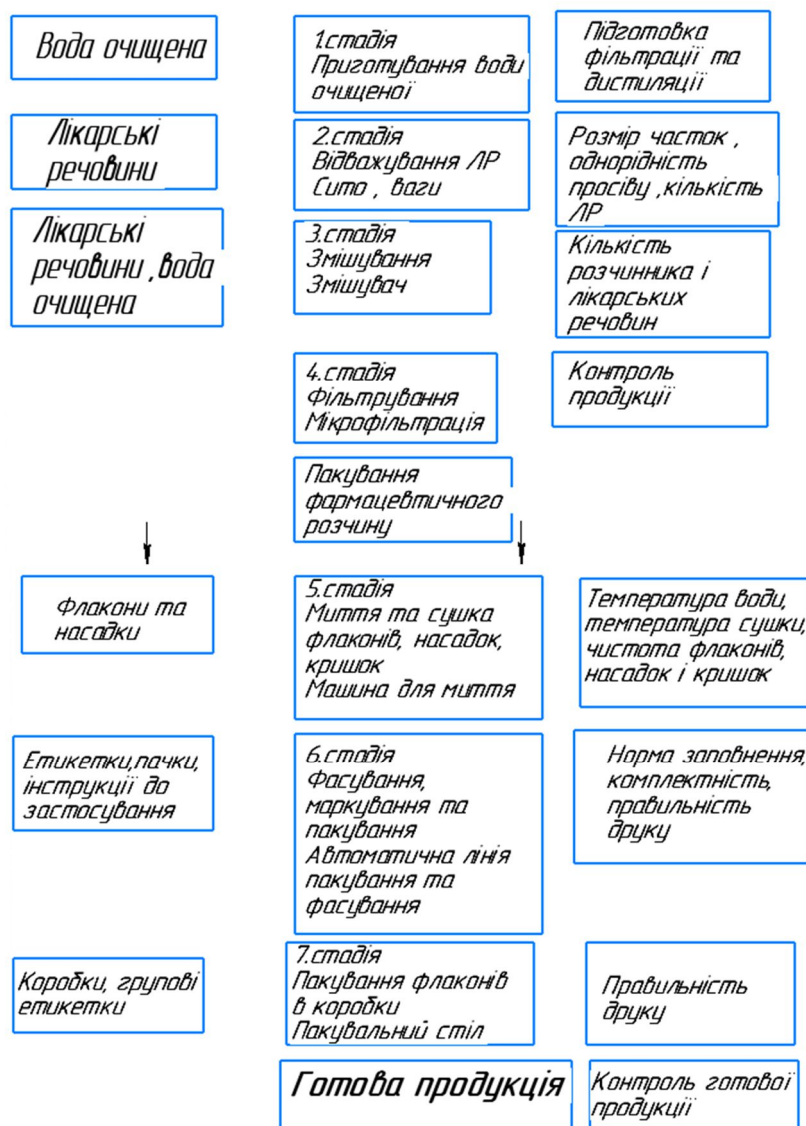


Схема включає в себе основні апарати – реактор-змішувач, теплообмінники для нагрівання води та конденсування пари і збірники для розчинів, та допоміжні – переносні ємності, ваги і фільтри. Апаратурно-технологічна схема представлена в додатку А.

Виробництво нафтизину складається з однієї технологічної лінії.

Рис.2.1 – Технологічна схема виробництва «Нафтизину»

При промисловому виробництві 0,05% розчину нафтизину сировина та матеріали, включаючи допоміжні роботи, проходять тривалий технологічний процес, що може бути представлений у вигляді окремих стадій виготовлення готової продукції.

Стадії допоміжних робіт, умовне позначення «ДР», включають наступне:

Стадія «ДР» - 1.Санітарно-гігієчна підготовка виробництва

Стадія «ДР» - 1.1. Підготовка приміщень до роботи;

Стадія «ДР» - 1.2. Миття й очищення устаткування;

Стадія «ДР» - 1.3. Підготовка технологічного одягу;

Стадія «ДР» - 1.4. Підготовка персоналу.

Стадія «ДР» - 2. Одержання води очищеної.

Стадія «ДР» - 3. Підготовка пробок гумових.

Стадії технологічних процесів, умовне позначення «ТП», включає наступне:

Стадія «ТП» - 4. Приготування та фільтрація розчину нафтизину 0,05%

Стадія «ТП» - 4.1. Приготування розчину;

Стадія «ТП» - 4.2. Фільтрація розчину.

Стадія «ТП» - 5. Наповнення розчину нафтизину 0,05% у флакони та їх закупорювання

Стадія «ТП» - 5.1. Підготовка флаконів;

Стадія «ТП» - 5.2. Наповнення флаконів;

Стадія «ТП» - 5.3. Закупорювання та закатка флаконів.

Стадія «ТП» - 6. Стерилізація флаконів з розчином нафтизину 0,05%.

Стадії пакування, маркування, та відвантаження готової продукції, умовне позначення «ПМВ», включає наступне:

Стадія «ПМВ» - 7. Пакування, маркування та відвантаження

Стадія «ПМВ» - 7.1. Етикетування флаконів;

Стадія «ПМВ» - 7.2. Пакування флаконів у пачки;

Стадія «ПМВ» - 7.3. Групове пакування.

Далі на склад готової продукції.

Короткий опис

Пара подається на фільтр Ф-3, де проходить доочищення. Очищена пара поступає на теплообмінники Т-1, Т-2, де охолоджується холодною водою, і отриманий конденсат самопливом поступає у збірник Зб-4. Кожні дві години із фільтру Ф-3 зливають брудний конденсат у каналізацію. Очищена вода отримана

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на обладнанні – Ф-3, Т-1, Т-2, Зб-4 поступає на стадію ТП-4 для приготування розчину.

#### Приготування розчину

Перед проведенням операції приготування розчину нафтизину 0,05% здійснюють стерилізацію паром протягом 1,5 години, всієї технологічної схеми. Рідина, яку використовують при стерилізації - вода для ін'єкцій.

В чистий реактор Р-6 завантажують воду очищену у кількості 977 л із мірника М-5. В мірник М-5 воду очищену завантажують із збірника Зб-4.

Воду очищену в реактор Р-6 нагрівають за допомогою пуску пари в рубашку реактора до температури  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$  і при цій температурі та перемішуванні, через люк реактора вручну завантажують 20,0 кг борної кислоти, попередньо зваженої в переносній ємності на вагах В-7.

Масу в реакторі Р-6 нагрівають до температури  $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$  і при цій температурі та перемішуванні видержують розчин до повного розчинення борної кислоти. Виключають мішалку в реакторі Р-6 і за допомогою пробовідбірника беруть пробу для визначення повноти розчинення борної кислоти в розчині (візуально). Після повного розчинення борної кислоти масу в реакторі Р-6 охолоджують пуском холодної води в рубашку реактора до температури  $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$  і через люк реактора вручну завантажують при перемішуванні 0,5кг нафтизину або нафазоліну нітрату, попередньо зваженого в переносній ємності на вагах В-8. Масу в реакторі Р-6 видержують при перемішуванні протягом 20-25 хвилин.

Після повного розчинення нафтизину викликають лаборанта для відбору проби розчину на контроль згідно СОП 07.11.80 "Порядок відбору проб рідких напівпродуктів" для проведення контролю згідно вимог СП 7.02.125. При позитивному результаті аналізу, розчин передають за допомогою насосу Н-9 у збірник Зб-10.

#### Фільтрація розчину

Із збірника Зб-10 розчин самопливом подають через фільтр Ф-11 в збірник Зб-12. Фільтр Ф-11 попередньо заправляють марлею медичною.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Із збірника Зб-12 розчин за допомогою насосу Н-13 вивантажують в проміжний збірник Зб-14, звідки розчин за допомогою стиснутого повітря подають через патронні фільтри Ф-15 в збірник Зб-16. Установку для фільтрації Ф-15 заправляють фільтруючим елементом «Міліпор» з діаметром пор 0,22 мкм. Із збірника Зб-16 розчин за допомогою насоса-дозатора НД-17, по мірі необхідності, подається в приймальник дозувально-розливної машини ГФ-23.

Вода очищена одержана на обладнанні – Ф-18, Т-19, Зб-20 поступає на стадію ДР-3 для миття пробок гумових.

Підготовка, наповнення та стерилізація флаконів.

Кришки та гумові пробки зі складу подаються на машину для миття та сушіння ГФ-21. Флакони зі складу подаються на машину для миття та сушіння ГФ-22. Кришки та гумові пробки відразу надходять до дозувально-розливної машини ГФ-23, для розливу препарату, туди ж подаються і ковпачки алюмінієві зі складу, де відбувається процес розливу препарату у флакони, закупорки його пробкою та загвинчування флаконів пробкою.

Бікси із закупореними флаконами вручну завантажують у стерилізаційну камеру стерилізатора ГФ-24. Для рівномірного нагрівання флаконів з розчином до температури  $(45\pm 5)^\circ\text{C}$  гостру пару в стерилізатор ГФ-24 подають повільно протягом 30 – 40 хвилин. Температуру збільшують до  $(108\pm 2)^\circ\text{C}$  і при ній проводять стерилізацію флаконів з розчином протягом 30 хвилин.

Після охолодження бікси з флаконами вручну вивантажуються із стерилізатора ГФ-24, прикріплюють відповідні ідентифікаційні картки і передають на маркування та упаковку.

Пакування, маркування та відвантаження

У спеціальні пристрої машини для етикетування ГФ-25 вкладають етикетки та декстриновий клей для наклеювання етикеток на флакони. Проводиться процес етикетування флаконів. Флакони з наклеєними етикетками збираються на поворотному столі машини, звідки подаються по транспортеру до машини для пакування флаконів у пачки ГФ-26.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

У спеціальні пристрої машини ГФ-26 вкладають пачки. В процесі роботи контролюють якість маркування та пакування. Пачки з флаконами по транспортеру передаються на групову упаковку до машини ГФ-27. Проводять процес пакування пачок в групову упаковку (термоусадочну плівку) на машині ГФ-27 по 80 штук в упаковку. При необхідності проводиться вкладання листків-вкладишів по 80 штук в групову упаковку. Після закінчення процесу автоматичну лінію етикетування та пакування ГФ-25, ГФ-26, ГФ-27 очищають.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Обґрунтування обраної конструкції

Даний теплообмінний апарат можна використовувати для охолодження і нагрівання, в якості рекуператорів тепла. Ці теплообмінники також можуть використовуватися в процесах, що супроводжуються конденсацією теплоносія або частковим кипінням [5].

Обраний теплообмінник типу «труба в трубі» має наступні переваги: проста конструкція дає різноманітну можливість компоновань теплообмінника; він може бути швидко зібраний зі стандартних елементів на місці монтажу; поверхню теплообміну можна збільшити, завдяки можливості встановлення додаткових секцій. Ефективну очистку поверхонь теплообміну по обох сторонах, можна забезпечити відповідним вибором конструкції вхідних і вихідних патрубків. Тому було обрано саме такий теплообмінник [15].

#### 3.1. Конструкція та принцип дії виробу

В моєму випадку я обрав теплообмінник типу «труба в трубі», який представляє собою набір послідовно з'єднаних елементів, які складаються з двох концентрично розташованих труб.

Теплообмінник типу «труба в трубі» (рисунок 3.1) складається з теплообмінних труб 1, які з'єднанні між собою за допомогою коліна 2. Коліно з'єднується з теплообмінною трубою за допомогою сталених плоских приварних фланців 3. На вході та виході теплообмінної труби приєднуються штуцери 4, які служать для подачі та відводу середовища. До теплообмінної труби, за допомогою зварного з'єднання, кріпиться кожухова труба 5. Для підводу та відводу теплоносія на кожуховій трубі передбачені штуцера 6. Вся конструкція тримається за допомогою сідлових опор 7.

Принцип роботи такого теплообмінника наступний: речовина, яку потрібно охолодити або нагріти тече в трубному просторі, теплоносіє, який охолоджує або нагріває речовину, яка тече в трубному просторі, подається в міжтрубний простір [7].

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

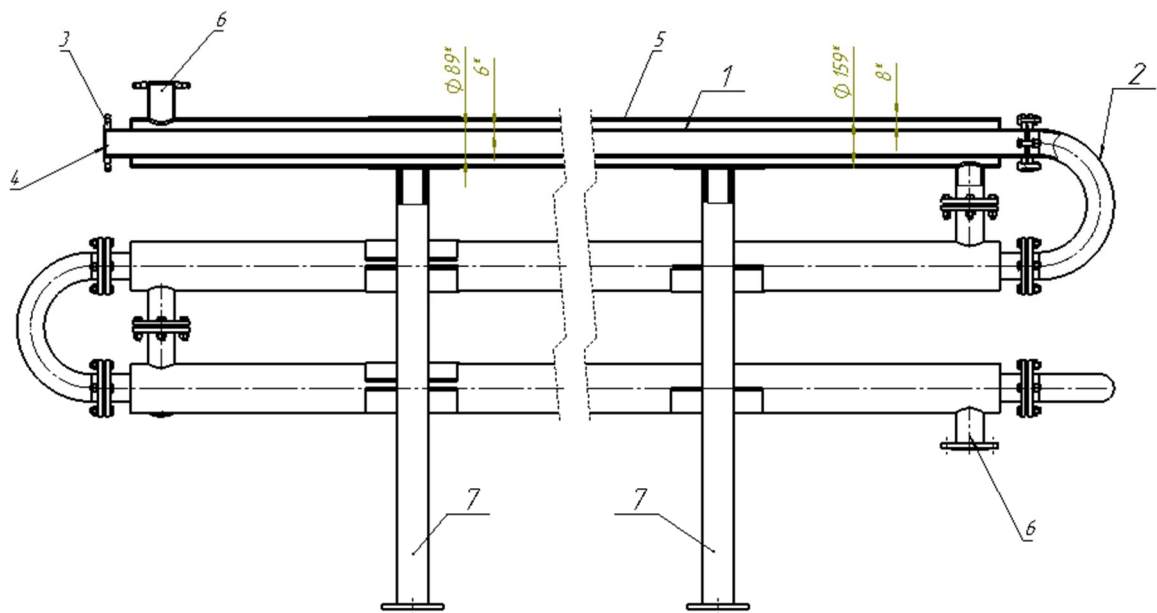


Рисунок 3.1 – Теплообмінник типу «труба в трубі»

1 – теплообмінна труба; 2 – коліно; 3 – плоский приварний фланець; 4 – штуцери для входу та виходу середовища; 5 – кожухова труба; 6 – штуцери для підведення та відведення теплоносія, 7 – опори.

Для герметизації апарату між фланцями розташовують паронітові прокладки [11].

### 3.2. Вибір матеріалів для виготовлення

Матеріал повинен обиратися з урахуванням процесу і умов роботи апарату. Конструктивний матеріал повинен мати високу корозійну стійкість для забезпечення необхідної довговічності та для запобігання забруднення продукту. Також матеріал апарату повинен бути хімічно інертним – не вступати в хімічну реакцію з середовищем. Так як процес проходить за досить високої температури (120°C), тоді для труб вибираємо аустенітну корозійностійку та хімічностійку сталь 12X18H10T ГОСТ5632-72. Швидкість корозії цієї сталі становить не більше 0,1 мм/ рік.

Фланці апарату виконуються з аустенітної корозійностійкої та хімічно стійкої сталі 12X18H10T ГОСТ5632-72.

Кріпильні елементи (болти, шайби, гайки) виконуються з сталі марки Ст3сп ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

### 3.3 Патентний пошук та огляд літератури

#### РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № БІ6103.703312.000.00

Найменування теми Теплообмінник типу «труба в трубі»

шифр теми БІ6103.703312.000.00-10

Етап Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень БІ6103 10.04.2020

Обґрунтування регламенту пошуку:

**Предмет пошуку** – теплообмінник типу «труба в трубі» (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо апаратів (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США.

**Ретроспективність.** Регламент пошуку встановлюємо такий: 2004–2019 рр.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація: МПК 6 і МПК7 – F 28D 7/10, F 28 F 1/40, F 28; МПК 7 - F 22 D 1/28

Уніфікована десяткова класифікація УДК 621.565.95;620.193.27

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту, Роспатенту й Госпатенту СРСР. 2) База даних патентів України (ukrpatent.org).

Початок пошуку 01.04.2020 Закінчення пошуку 15.04.2020

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз патентної ситуації (Додаток Б, таблиця 1 ,2,3) показує, що в даному апараті необхідно удосконалювати наступні деталі для зниження габаритних розмірів теплообмінника: конструкції секцій, а точніше у міжтрубному середовищі робити вставки для створення руху теплоносія по гвинтовій траєкторії навколо теплообмінної труби, чи застосовувати оребрення теплообмінних труб для збільшення поверхні теплообміну і зменшення довжини секції. Також новим на-прямком у розвитку даного теплообмінника є застосування нових матеріалів для виконання конструктивних елементів апарата, так можливим є застосування двошарових металевих труб, які виконані з низьковуглецевих сталей, а поверхні які стикаються з середовищем покриваються легованими корозійностійкими сталями, що значно зменшує вартість апарата.

У результаті проведених патентних досліджень встановлено: пропонований апарат і його складові частини не відповідають умовам патентоспроможності винаходу (корисної моделі) оскільки: усі суттєві ознаки найближчого аналога використано в проектованому апараті, що спростило конструкцію останнього; згідно із Законом України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» конструкція проектованого теплообмінника не відповідає критерію «винахідницький рівень» та «новизна».

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

#### 4. Технічна характеристика теплообмінника

Апарат призначений для отримання конденсату.

1. Площа поверхні теплообміну –	20м <sup>2</sup>
2. Робочий тиск в трубному просторі –	0,3МПа
3. Робочий тиск в міжтрубному просторі –	0,4МПа
4. Середовище в трубному просторі –	вода
5. Середовище в міжтрубному просторі –	насичена водяна пара
6. Габаритні розміри:	
1. висота –	1718мм
2. довжина –	6580мм
3. ширина –	1682мм
7. Маса теплообмінника –	3628кг

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

5.Розрахунки, що підтверджують працездатність  
та надійність конструкції

Вихідні дані:

продуктивність апарата

$$G = 10 \text{ кг/с};$$

температура продукту на вході в апарат

$$t_1 = 15^\circ\text{C};$$

температура продукту на виході з апарату

$$t_2 = 70^\circ\text{C};$$

температура насиченої водяної пари

$$t_n = 120^\circ\text{C};$$

швидкість руху в трубному просторі

$$2,13 \text{ м/с}$$

швидкість руху насиченої водяної пари в міжтрубному просторі  $w_n = 10 \text{ м/с}$ .

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.1. Конструктивний розрахунок теплообмінника

Конструктивний розрахунок теплообмінника проводиться з метою визначення та перевірки основних розмірів апарату [5].

Діаметр внутрішньої теплообмінної труби визначаємо за формулою:

$$d_{\text{вн}}^6 = \sqrt{\frac{G}{0,785\rho_6\omega_6}} = \sqrt{\frac{10}{0,785 \cdot 990,7 \cdot 2,13}} = 0,077 \text{ м.}$$

Приймаємо за ГОСТ 9930-61 теплообмінну трубу з зовнішнім діаметром  $d_{\text{зв}}^6 = 89 \text{ мм.}$

Уточнюємо швидкість руху води в трубному просторі:

$$\omega_6 = \frac{G}{0,785\rho d_{\text{зв}}^6} = \frac{10}{0,785 \cdot 990,7 \cdot 0,077^2} = 2,13 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Внутрішній діаметр кожухової :

$$d_{\text{вн}}^3 = \sqrt{\frac{D}{\rho_{\text{ст}}\omega_n} + d_{\text{зв}}^6} = \sqrt{\frac{1,05}{960,1 \cdot 10} + 0,143^2} = 0,143 \text{ м.}$$

Приймаємо за ГОСТ 9930-61 теплообмінну трубу з зовнішнім діаметром  $d_{\text{зв}}^3 = 159 \text{ мм.}$

Загальна довжина труби, розраховуючи по зовнішньому діаметру теплообмінної труби:

$$L = \frac{F}{3,14d_{\text{зв}}^6} = \frac{20}{3,14 \cdot 0,089} = 71,6 \text{ м} \approx 72 \text{ м.}$$

Приймаючи довжину теплообмінної труби рівною довжині кожухової труби, визначимо число елементів теплообмінника:

$$n = \frac{L}{l} = \frac{72}{6} = 12, \text{ де } l - \text{довжина труб кожуха, м.}$$

Оскільки уточнені швидкості дуже близькі до прийнятих раніше значень, то обраний теплообмінник забезпечить потрібний режим руху середовищ, і необхідну поверхню теплопередачі.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## 5.2. Тепловий розрахунок теплообмінника

Тепловий розрахунок включає в себе:

1. Визначення теплового навантаження апарата;
2. Визначення коефіцієнта теплопередачі;
3. Визначення поверхні теплообміну.

### 5.2.1. Визначення теплового навантаження апарата

Теплове навантаження теплообмінника визначається за наступною формулою [19]:

$$Q = G_g \cdot c_g \cdot (t_2 - t_1) = 10 \cdot 4180 \cdot (70 - 15) = 2299 \text{ кВт}.$$

Витрата пари на нагрівання визначається за формулою:

$$D = \frac{x \cdot Q}{i_{1n} - i_{1k}} = \frac{1,05 \cdot 2299 \cdot 10^3}{2711 \cdot 10^3 - 4218 \cdot 97} = 1,05 \text{ кг/с},$$

де  $x$  – коефіцієнт, що враховує теплові втрати;

$i_{1n}$  – ентальпія гріючої пари;

$i_{1k} = c_{nl} \cdot t_{nl}$  – ентальпія вихідного із апарату конденсату.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.2.2. Визначення коефіцієнта теплопередачі

Для визначення коефіцієнта теплопередачі  $k$  необхідно розрахувати коефіцієнти тепловіддачі від теплоносія до стінки теплообмінної труби та від стінки до води. На рисунку 5.1 представлений рух теплоносіїв.

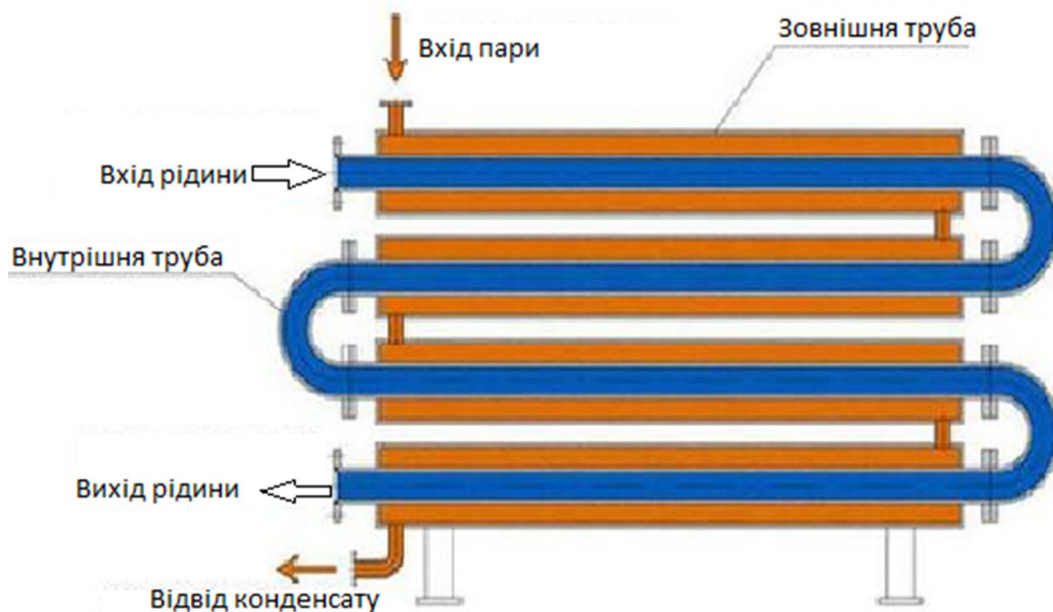


Рис.5.1 – Напрямок руху теплоносіїв

Для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі від теплоносія до стінки внутрішньої труби теплообмінника та від теплообмінної стінки до води потрібно визначити ряд величин, від яких залежать ці коефіцієнти. Розрахунок цих величин приведений нижче [2]. На рисунку 5.2 представлений графік руху теплоносіїв.

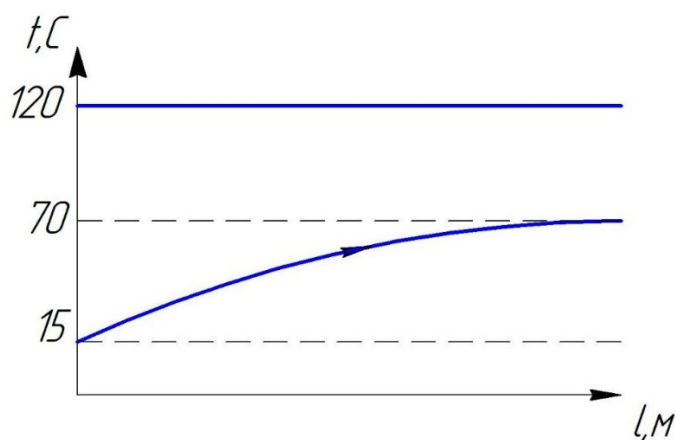


Рисунок 5.2 – Графік руху теплоносіїв: нагрівання рідини насиченою водяною парою

Різниці температур, виходячи із руху теплоносіїв, визначаються за формулами [6,8]:

$$\Delta t_{\sigma} = t_n - t_1 = 120 - 15 = 105^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_M = t_n - t_2 = 120 - 70 = 50^{\circ}\text{C}.$$

Так як відношення  $\Delta t_{\sigma}$  до  $\Delta t_M$  більше двох:

$$\frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_M} = \frac{105}{50} = 2,1 > 2,$$

то використовуємо середню логарифмічну різницю температур.

Середня логарифмічна різниця температур обчислюється за формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_M}} = \frac{105 - 50}{\ln \frac{105}{50}} = 74,13^{\circ}\text{C}.$$

Знаходимо середню температуру продукту:

$$t_{cp} = t_n - \Delta t_{cp} = 120 - 74,13 = 45,87^{\circ}\text{C}.$$

Різниця температур теплоносія і стінки:

$$\Delta t_1 = p \cdot \Delta t_{cp} = 0,6 \cdot 74,13 = 44,48^{\circ}\text{C},$$

де  $p$  – відношення термічного опору зі сторони теплоносія до загального термічного опору, приймаємо  $p = 0,6$ .

Різниця температур стінки і продукту:

$$\Delta t_2 = (1 - p - p_1) \cdot \Delta t_{cp} = (1 - 0,6 - 0,06) \cdot 74,13 = 25,2^{\circ}\text{C},$$

де  $p_1$  – відношення термічного опору стінок (матеріалу труби) до загального термічного опору, приймаємо  $p_1 = 0,06$ .

Знаходимо температуру стінки зі сторони теплоносія:

$$t_{cm_1} = t_n - \Delta t_1 = 120 - 44,48 = 75,52^{\circ}\text{C}.$$

Температура стінки зі сторони продукту:

$$t_{cm_2} = t_{cp} + \Delta t_2 = 45,87 + 25,2 = 71,07^{\circ}\text{C}.$$

Знаходимо температуру плівки конденсату теплоносія:

$$t_{ni} = 0,5(t_n + t_{cm_1}) = 0,5(120 + 75,52) = 97,76^{\circ}\text{C}.$$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо динамічний коефіцієнт в'язкості рідини (плівки конденсату) і числові значення її теплоємності, коефіцієнта теплопровідності і густини як функції від  $t_{nl} = 97,76^\circ C$  за [6]:  $\mu_{nl} = 291,9 \cdot 10^{-6} \text{ Пас}$ ;  $c_{nl} = 4,218 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кгК}$ ;  $\lambda_{nl} = 68,23 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / \text{мК}$ ;  $\rho_{nl} = 960,1 \text{ кг} / \text{м}^3$ .

Знаходимо питому теплоту конденсату пари [6]:  $r = 2270,4 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кг}$ .

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки труби [6,8]:

$$\alpha_1 = C(\text{Ga} \cdot \text{Pr} \cdot \text{Ku})^{0,25} = a \cdot \left( \frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{d_{z,mp} \cdot \Delta t_1 \cdot \mu} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,728 \left( \frac{68,23^3 \cdot 10^{-6} \cdot 960,1^2 \cdot 2270,4 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{0,089 \cdot 44,48 \cdot 291,9 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,25} = 6309,8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{К}.$$

Визначаємо за [6]:

а) коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, теплопровідності, теплоємності і густини продукту, що нагрівається в залежності від  $t_{cp} = 45,87^\circ C$ :

$$\mu_{cp} = 621,5 \cdot 10^{-6} \text{ Пас}; c_{cp} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кгК}; \lambda_{nl} = 63,86 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / \text{мК};$$

$$\rho_{cp} = 990,7 \text{ кг} / \text{м}^3; \nu_{cp} = 0,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

б) коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, теплопровідності, теплоємності і густини пристінного шару продукту в залежності від  $t_{cm_2} = 71,07^\circ C$ :

$$\mu_{cm_2} = 410,5 \cdot 10^{-6} \text{ Пас}; c_{cm_2} = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кгК}; \lambda_{cm_2} = 66,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / \text{мК};$$

$$\rho_{cm_2} = 978,4 \text{ кг} / \text{м}^3; \nu_{cm_2} = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}. [10]$$

Діаметри труб та товщину стінок теплообмінника типу «труба в трубі» вибираємо з стандартизованого ряду теплообмінників типу «труба в трубі» [9].

Зовнішній діаметр та товщина стінки внутрішньої труби:

$$d_{вн}^3 = 89 \times 6 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр та товщина стінки зовнішньої труби:

$$d_{зв}^3 = 159 \times 8 \text{ мм}.$$

Обчислюємо внутрішні діаметри та еквівалентний розмір міжтрубного простору:

Внутрішній діаметр внутрішньої труби:

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$d_{\text{вн}}^{\text{с}} = 89 - 2 \cdot 6 = 77 \text{ мм.}$$

Внутрішній діаметр зовнішньої труби:

$$d_{\text{зв}}^{\text{с}} = 159 - 2 \cdot 8 = 143 \text{ мм.}$$

Еквівалентний діаметр міжтрубного простору:

$$d_{\text{мж}}^{\text{екв}} = 143 - 89 = 54 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу внутрішньої труби визначається за формулою:

$$f_{\text{вн}} = \pi \cdot \frac{(d_{\text{вн}}^{\text{с}})^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(77 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води в трубному просторі визначається за формулою:

$$w_{\text{с}} = \frac{G_{\text{с}}}{f_{\text{вн}}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 2,13 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса для води в трубному просторі визначається за формулою:

$$Re = \frac{w_{\text{с}} \cdot d_{\text{вн}}^{\text{с}}}{\nu} = \frac{2,13 \cdot 77 \cdot 10^{-3}}{0,63 \cdot 10^{-6}} = 260047,3.$$

Критерій Прандтля для води, що нагрівається визначається за формулою:

$$Pr = \frac{\nu_{\text{ср}} \cdot c_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ср}}}{\lambda_{\text{ср}}} = \frac{0,63 \cdot 10^{-6} \cdot 4180 \cdot 990,7}{0,6386} = 4,1.$$

Критерій Прандтля для пристінного шару води визначається за формулою:

$$Pr = \frac{\nu_{\text{ст}} \cdot c_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} = \frac{0,42 \cdot 10^{-6} \cdot 4190 \cdot 978,4}{0,665} = 2,6.$$

Так як  $Re > 10000$ , то режим руху рідини в трубному просторі є турбулентним.

Тоді критерій Нусельта буде обчислюватись за формулою:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 260047,3^{0,8} \cdot 4,1^{0,43} \cdot \left( \frac{4,1}{2,6} \right)^{0,25} = 928,1.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до продукту визначається за формулою:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{ср}}}{d_{\text{вн}}^{\text{с}}} = \frac{928,1 \cdot 0,6386}{77 \cdot 10^{-3}} = 7697,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої чистої поверхні визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{d_3 \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_8} + \frac{\ln\left(\frac{d_3}{d_8}\right)}{2\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3} \right)} = \frac{1}{0,077 \left( \frac{1}{6309,8 \cdot 0,077} + \frac{\ln\left(\frac{0,089}{0,077}\right)}{2 \cdot 16} + \frac{1}{7697,2 \cdot 0,089} \right)} = 1614,5 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

### 5.2.3. Визначення поверхні теплообміну

Попередню площу теплообміну визначаємо за формулою [11]:

$$F' = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2299 \cdot 10^3}{1614,5 \cdot 74,13} = 19,2 м^2.$$

Вибираємо секцію, площа якої становить:

$$F_c = 1,65 м^2.$$

Попереднє число секцій визначається за формулою:

$$z' = \frac{F'}{F_c} = \frac{19,2}{1,65} = 11,64.$$

Приймаємо число секцій:  $z = 12$ .

Довжина однієї секції:  $l = 6 м$ .

Реальна площа теплообміну:

$$F = F_c \cdot z = 1,65 \cdot 12 = 19,8 м^2.$$

Так як похибка між розрахованою та реальною площею теплообміну менша 5%:

$$\Delta = \frac{F - F'}{F} = \frac{19,2 - 19,8}{19,8} \cdot 100\% \approx 3,03\% < 5\%,$$

тоді остаточно прийнята площа теплообміну (зі стандартного ряду) буде дорівнювати:  $F = 20 м^2$ .

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

### 5.3. Гідравлічний розрахунок теплообмінника

Гідравлічний розрахунок теплообмінника проводиться для визначення потужності  $N$  необхідної для переміщення теплоносія через апарат [4,5].

Для визначення потужності потрібно знайти повний гідравлічний опір в апараті, який дорівнює сумі наступних складових:  $\Delta p_{ск}$  – втрати тиску на створення швидкості потоку на виході з апарату;  $\Delta p_{mp}$  – втрати тиску на подолання сил тертя;  $\Delta p_{mc}$  – втрати тиску на подолання місцевих опорів.

Розрахуємо потужність необхідну для переміщення живильного середовища в трубному просторі.

Втрата тиску на створення швидкості потоку на виході з теплообмінної труби обчислюють за формулою:

$$\Delta p_{ск} = \frac{w_6^2 \cdot \rho_{cm}}{2} = \frac{(2,13)^2 \cdot 990,7}{2} = 2247,3 \text{ Па.}$$

Втрати тиску на подолання сил тертя обчислюють за формулою:

$$\Delta p_{mp} = \Delta p_{np} + \Delta p_{kp} = \lambda \cdot \frac{L}{d_6} \cdot \Delta p_{ск} \cdot (1 + \psi) = 0,014 \cdot \frac{72}{77 \cdot 10^{-3}} \cdot 2247,3 \cdot (1 + 2,36) = 98,8 \text{ кПа,}$$

де  $L$  – загальна довжина теплообмінної труби, м;

$d_6$  – внутрішній діаметр теплообмінної труби, м;

$\psi$  – поправочний коефіцієнт, який обчислюється за формулою:

$$\psi = 1 + 3,54 \frac{d_{6H}^6}{R} = 1 + 3,54 \frac{77 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-3}} = 2,36,$$

де  $R$  – радіус коліна, м

$\lambda$  – коефіцієнт опору тертя, який для турбулентного руху в гідравлічно-шорстких трубах обчислюється за формулою:

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} = \frac{0,316}{260047,3^{0,25}} = 0,014$$

де  $e = 0,2 \text{ мм}$  – середнє значення шорсткості стінок теплообмінної труби.

Втрати тиску на подолання місцевих опорів обчислюють за формулою:

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p_{mc} = \sum \xi \cdot \Delta p_{ck} = 32,5 \cdot 2247,3 = 73,03 \text{кПа},$$

де  $\sum \xi = 5 + 2,5(z-1) = 5 + 2,5 \cdot 11 = 32,5$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Повний гідравлічний опір розраховуємо за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_{ck} + \Delta p_{тр} + \Delta p_{mc} = 2,247 + 98,8 + 73,03 = 174,1 \text{кПа}.$$

Потужність, яка необхідна для переміщення середовища по теплообмінній трубі обчислюють за формулою:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{10 \cdot 174,1}{990,7 \cdot 0,8} = 2,2 \text{кВт},$$

де  $\eta$  – ККД насоса, приймаємо  $\eta = 0,8$  .

Отже, потужність для переміщення теплоносія через апарат є невеликою і потребу у насосі відповідної потужності можна задовольнити обравши відповідний насос зі стандартного ряду.

Насос обираємо за ГОСТ 26099-84 НВП-40 потужністю 2,4кВт.

#### 5.4. Розрахунок розмірів елементів деталей, складальних одиниць, кріпильних засобів та перевірка їх на міцність.

Даний розрахунок включає в себе перевірку на міцність та стійкість теплообмінної труби, яка навантажена не тільки внутрішнім, але і зовнішнім надлишковим тиском; перевірку на міцність кожухової труби; розрахунок фланцевого з'єднання; розрахунок штуцерів.

Вихідні дані:

Тиск в трубному просторі –  $P_{тр} = 0,3 \text{МПа}$

Тиск в міжтрубному просторі –  $P_{мжс} = 0,4 \text{МПа}$

Діаметр теплообмінної труби –  $d_{зб}^6 = 89 \text{мм}$

Діаметр кожухової труби –  $d_{зб}^3 = 159 \text{мм}$

Товщина теплообмінної труби –  $S_m = 6 \text{мм}$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Товщина кожухової труби –	$S_k = 8 \text{ мм}$
Площа поперечного перерізу трубного простору –	$f_{вн} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
Площа поперечного перерізу міжтрубного простору –	$f_{вн} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
Кількість елементів теплообмінних –	$z = 12$
Довжина елемента теплообмінного –	$l = 6 \text{ м}$

#### 5.4.1. Перевірка теплообмінної труби на міцність та стійкість

Теплообмінна труба навантажена внутрішнім надлишковим тиском ( $P_{mp} = 0,3 \text{ МПа}$ ) та зовнішнім надлишковим тиском ( $P_{мж} = 0,4 \text{ МПа}$ ). Тому потрібно зробити перевірку на міцність та стійкість.

Перевірку теплообмінної труби на міцність та стійкість проводимо за методикою [13,14].

Виконання умови є гарантією того, що труба є міцною:

$$P_{mp} \leq [P]_M.$$

Допустимий тиск розраховується за формулою:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma] \cdot (S_m - c)}{d_{вн}^2 + S_m - c} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot (6 - 2) \cdot 10^{-3}}{(77 + 6 - 2) \cdot 10^{-3}} = 13,8 \text{ МПа},$$

де  $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для марки сталь 12Х18Н10Т ГОСТ5632-72 при температурі стінки не більше  $200^\circ\text{C}$ ;

$c = c_1 + c_2 + c_3 = 2 \text{ мм}$  – прибавка яка включає прибавку на компенсацію корозії,  $c_1 = 0,5 \text{ мм}$ , на компенсацію мінусового відхилення,  $c_2 = 0,5 \text{ мм}$ , технологічну прибавку,  $c_3 = 1 \text{ мм}$ .

Отже,  $0,3 \text{ МПа} < 13,8 \text{ МПа}$  – умова виконується.

Зробимо перевірку теплообмінної труби на стійкість.

Виконання умови є гарантією того, що труба є стійкою:

$$P \leq \frac{P_{кр}}{n_{кр}} = [P]_{ст},$$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $n_{кр} = 2$  – коефіцієнт запасу міцності з умов стійкості;

$P_{кр}$  – критичний тиск.

Критичний тиск розраховується за формулою:

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot E}{1 - \mu^2} \cdot \left( \frac{S_m}{d_{вн}^6} \right) = \frac{2 \cdot 10^{11}}{1 - 0,3^2} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^{-3}}{77 \cdot 10^{-3}} \right)^3 = 104 \text{ МПа},$$

де  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль Юнга;

$\mu = 0,3$  – коефіцієнт Пуансона.

Допустимий тиск розраховуємо за формулою:

$$[P]_{ст} = \frac{P_{кр}}{n_{кр}} = \frac{104}{2} = 52 \text{ МПа}.$$

Отже,  $0,3 \text{ МПа} < 52 \text{ МПа}$  – умова виконується.

При сумісній дії внутрішнього та зовнішнього тиску виконання умови є гарантією того, що теплообмінна труба буде міцною та стійкою:

$$P < [P],$$

де  $[P]$  – допустимий тиск виходячи з умов стійкості та міцності.

Допустимий тиск при сумісній дії внутрішнього та зовнішнього тисків визначається за формулою:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_M}{[P]_{ст}} \right)^2}} = \frac{13,8}{\sqrt{1 + \left( \frac{13,8}{52} \right)^2}} = 13,3 \text{ МПа}.$$

Отже,  $0,3 \text{ МПа} < 13,3 \text{ МПа}$  – умова виконується.

Теплообмінна труба витримає діючі навантаження.

#### 5.4.2. Перевірка кожухової труби на міцність

Кожухова труба навантажена внутрішнім надлишковим тиском

( $P_{мж} = 0,4 \text{ МПа}$ ). Тому потрібно зробити перевірку на міцність.

Перевірку на міцність проводимо за методикою [13,14].

Виконання умови є гарантією того, що труба є міцною:

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$P_{\text{мжс}} \leq [P]_M.$$

Допустимий тиск розраховується за формулою:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma] \cdot (S_k - c)}{d_{\text{мжс}}^{\text{екв}} + S_k - c} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot (8 - 2) \cdot 10^{-3}}{(54 + 8 - 2) \cdot 10^{-3}} = 28 \text{ МПа},$$

де  $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для марки сталі 12Х18Н10Т ГОСТ5632-72 при температурі стінки не більше  $200^\circ\text{C}$ ;

$c = c_1 + c_2 + c_3 = 2 \text{ мм}$  – прибавка яка включає прибавку на компенсацію корозії,  $c_1 = 0,5 \text{ мм}$ , на компенсацію мінусового відхилення,  $c_2 = 0,5 \text{ мм}$ , технологічну прибавку,  $c_3 = 1 \text{ мм}$ .

Отже,  $0,4 \text{ МПа} < 28 \text{ МПа}$  – умова виконується.

Кожухова труба витримає діючі навантаження.

#### 5.4.3. Розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінної труби

Для з'єднання теплообмінної труби з коліном вибираємо плоский приварний фланець з гладкою ущільнювальною поверхнею [12] (рисунок 5.3). Даний тип фланців призначений для з'єднання, приєднання, стикування технічних пристроїв (ТП), що працюють при тисках від  $0,1 \text{ МПа}$  до  $2,5 \text{ МПа}$  і температурі від  $-70^\circ\text{C}$  до  $+300^\circ\text{C}$ . Перевагою фланців з гладкою ущільнювальною поверхнею є простота конструкції (технологічність виготовлення). Для ущільнення фланцевого з'єднання використовуємо паранітову прокладку, яка забезпечує герметичність при тиску  $P \leq 2,5 \text{ МПа}$  та температурі  $-200^\circ\text{C} \leq t \leq 400^\circ\text{C}$ .

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

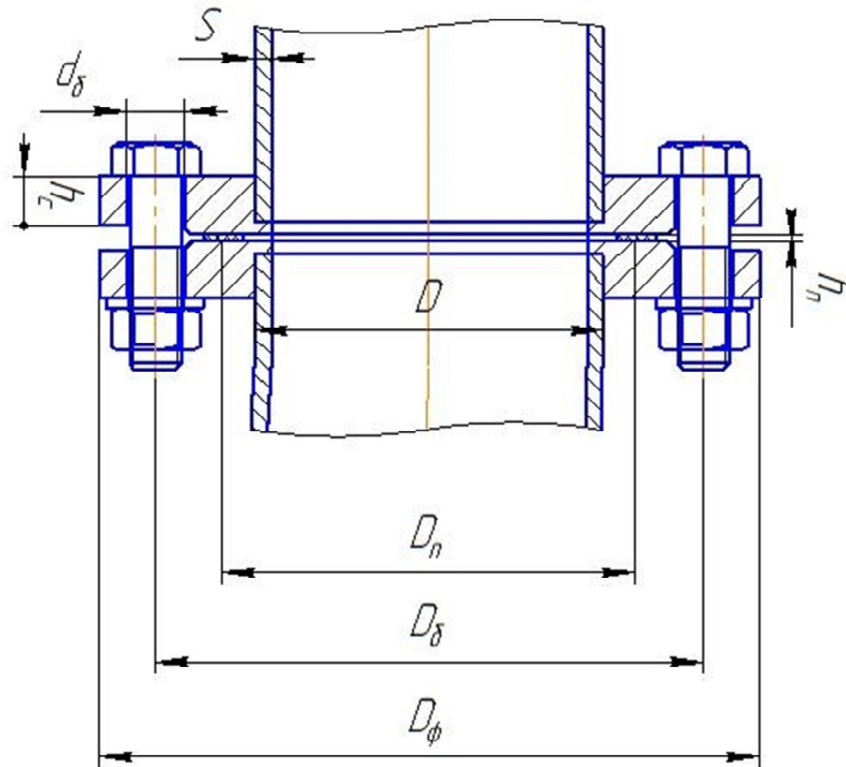


Рисунок 5.3 – Фланцеве з'єднання з плоскими приварними фланцями

Проведемо конструктивний розрахунок фланця.

Діаметр болтової окружності [12]:

$$D'_\delta \geq d_{\text{вн}}^3 + 2 \cdot (2 \cdot S_m + d_\delta + u) = 0,089 + 2 \cdot (2 \cdot 0,006 + 0,016 + 0,002) = 0,149 \text{ м},$$

де  $d_\delta = 0,016 \text{ м}$  – діаметр болтів;

$d_{\text{вн}}^3 = 0,089 \text{ м}$  – зовнішній діаметр теплообмінної труби;

$u = 0,002 \text{ м}$  – нормативний зазор.

Приймаємо діаметр болтової окружності [12]:

$$D_\delta = 150 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр фланця обчислюється за формулою:

$$D'_\phi \geq D_\delta + a = 0,15 + 0,03 = 0,18 \text{ м},$$

де  $a = 0,03 \text{ м}$  – конструктивний додаток до розміру болтів.

Приймаємо діаметр фланця, згідно [12]:

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$D_{\phi} = 185 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр прокладки для плоского фланця:

$$D_{з.н.} = D_{\phi} - e = 0,15 - 0,03 = 0,12 \text{ м,}$$

де  $e = 0,03 \text{ м}$  – нормативний параметр для плоскої прокладки.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{с.н.} = D_{з.н.} - b = 0,12 - 0,012 = 0,108 \text{ м,}$$

де  $b = 0,012 \text{ м}$  – ширина плоскої неметалевої прокладки для апарату з діаметром  $D \leq 1 \text{ м}$ .

Кількість болтів, що необхідна для забезпечення герметичності з'єднання [12]:

$$n_{\phi} \geq \frac{\pi D_{\phi}}{t_k} = \frac{3,14 \cdot 0,15}{0,125} = 3,8,$$

де  $t_k = 7,8d_{\phi} = 7,8 \cdot 0,016 = 0,125 \text{ м}$  – рекомендований крок розташування болтів, для апаратів, що працюють під робочим тиском в межах  $p_p = 0,3 - 0,6 \text{ МПа}$ .

Приймаємо кількість болтів  $n_{\phi} = 4$ , що кратна чотирьом. [1,3]

Висота фланця:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \sqrt{d_{\text{вн}}^3 \cdot S_{\text{ек}}} = 0,4 \sqrt{0,089 \cdot 0,004} = 0,07 \text{ м,}$$

де  $\lambda_{\phi}$  – поправочний коефіцієнт для плоских фланців, що працюють під робочим тиском  $p_p = 0,3 \text{ МПа}$ ;

$s_{\text{ек}} = s_o = 0,004 \text{ м}$  – еквівалентна товщина для втулки плоских приварних фланців. [18]

Приймаємо висоту фланця  $h_{\phi} = 0,015 \text{ м}$ .

Розрахункова довжина болта:

$$l_{\phi.p.} = l_{\phi.o.} + 0,28d_{\phi} = 0,034 + 0,28 \cdot 0,016 = 0,0385 \text{ м,}$$

де  $l_{\phi.o.} = 2(h_{\phi} + h_n) = 2(0,014 + 0,002) = 0,032 \text{ м}$  – відстань між опорними

поверхнями головки болта та гайки при товщині прокладки  $h_n = 0,002 \text{ м}$ .

За ОСТ 26-2037-96 при  $l_{\phi.p.} = 0,039 \text{ м}$  приймаємо  $l_{\phi} = 0,06 \text{ м}$ .

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За ГОСТ 12820-80, ГОСТ 12822-80, ГОСТ 12815-80 вибираємо фланець з наступними геометричними розмірами:

$D_y = 80\text{мм}; D_e = 91\text{мм}; D_\phi = 185\text{мм}; D_o = 150\text{мм}; D_n = 128\text{мм};$  болти М16, кількість болтів  $z = 4\text{шт}; h_c = 15\text{мм}; h_\phi = 18\text{мм}; h_n = 2\text{мм}.$

Рівнодіюча внутрішнього тиску обчислюється за формулою:

$$F_d = \frac{P_{mp} \cdot \pi \cdot D_n^2}{4} = \frac{0,4 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (128 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 5,15 \text{кН}.$$

Реакція прокладки обчислюється за формулою:

$$R_{II} = \pi \cdot D \cdot k_{np} \cdot b_o \cdot P = 3,14 \cdot 91 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,042 \cdot 0,3 \cdot 10^6 = 9 \text{кН},$$

де  $b_o = 0,12 \cdot \sqrt{b} = 0,12 \sqrt{12} = 0,42 \text{мм}$  – ефективна ширина прокладки;

$b = 12 \text{мм}$  – ширина прокладки;

$k_{np} = 2,5$  – коефіцієнт, що враховує герметичність з'єднання.

Піддатливість прокладки обчислюється за формулою:

$$y_{II} = \frac{k_{II} \cdot h_{II}}{E_{II} \cdot \pi \cdot D_{II} \cdot b} = \frac{0,09 \cdot 0,002}{2000 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 128 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 0,0186 \text{м/ГН},$$

де  $k_{II} = 0,09$  – коефіцієнт обтискання прокладки;

$E_{II} = 2000 \text{МПа}$  – модуль Юнга для паронітової прокладки [17].

Піддатливість болтів обчислюється за формулою:

$$y_B = \frac{l_B}{E_B \cdot f_B \cdot z} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{1,87 \cdot 10^{11} \cdot 200,96 \cdot 10^{-6} \cdot 4} = 0,399 \text{м/ГН},$$

де  $E_B = 1,87 \cdot 10^5 \text{МПа}$  – модуль Юнга для сталі марки Ст3сп ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005;

$f_B = 200,96 \cdot 10^{-6} \text{м}^2$  – площа поперечного перерізу болта.

Піддатливість фланців обчислюється за формулою:

$$y_\phi = \frac{(1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_\phi)) \cdot \psi_2}{h_\phi^3 \cdot E_\phi} = \frac{(1 - 0,27 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,436)) \cdot 2,94}{(0,015)^3 \cdot 1,89 \cdot 10^{11}} = 2876,3 \text{м/ГН},$$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

де  $E_{II} = 1,89 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль Юнга для сталі марки 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72;

$\nu, \psi_2, \psi_1$  – конструктивні коефіцієнти, які визначаються з формул:

$$\psi_2 = \frac{D_\phi + D}{D_\phi - D} = \frac{185 + 91}{185 - 91} = 2,94,$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,92 \cdot \lambda_\phi \cdot \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_\phi^2}{s_m^2}\right)} = \frac{1}{1 + 0,92 \cdot 0,436 \cdot \left(1 + \frac{0,91 \cdot (0,015)^2}{(0,006)^2}\right)} = 0,27,$$

$$\psi_1 = 1,28 \ln \frac{D_\phi}{D} = 1,28 \cdot \ln \frac{185}{91} = 0,91.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання обчислюється за формулою:

$$k_{ж} = \frac{y_B + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_B - D - s_m) \cdot (D_B - D_{II})}{y_{II} + y_B + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_B - D_{II})^2} =$$

$$= \frac{0,399 \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 2876,3 \cdot 10^{-9} \cdot (150 - 91 - 6) \cdot (150 - 128) \cdot 10^{-6}}{(0,0186 + 0,399) \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 2876,3 \cdot 10^{-9} \cdot (150 - 128)^2 \cdot 10^{-6}} = 4,62$$

Зусилля від температурних деформацій обчислюється за формулою:

$$F_i = \frac{y_B \cdot n_B \cdot f_B \cdot E_B \cdot (\alpha_\phi \cdot t_\phi - \alpha_B \cdot t_B)}{y_{II} + y_B + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_B - D_{II})^2} =$$

$$= \frac{0,399 \cdot 10^{-9} \cdot 4 \cdot 200,96 \cdot 10^6 \cdot 1,87 \cdot 10^{11} \cdot (17 \cdot 10^{-6} \cdot 75,84 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 63,99)}{(0,0186 + 0,399) \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 2876,3 \cdot 10^{-9} \cdot (150 - 128)^2 \cdot 10^{-6}} = 26,36 \text{ кН.}$$

$\alpha_\phi = 17,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – коефіцієнт температурного розширення фланця;

$\alpha_B = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – коефіцієнт температурного розширення болтів;

$t_\phi = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 74,13 = 75,84^\circ\text{C}$  – температура фланця;

$t_B = 0,81 \cdot t = 0,81 \cdot 74,13 = 63,99^\circ\text{C}$  – температура болтів.

Зусилля в болтах за умов монтажу обчислюється за формулою:

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ				

$$\begin{aligned}
 F_{B1} &= \max \left[ k_{ж} \cdot F_D + R_{II}; \pi \cdot D_{II} \cdot b_0 \cdot q; 0,4 \cdot [\sigma]_B^{20} \cdot n_B \cdot f_B \right] = \\
 &= \max [4,62 \cdot 5,15 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^3 = 32,8 \text{кН}; \\
 &3,14 \cdot 128 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^6 = 96,46 \text{кН}; \\
 &0,4 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 200,96 \cdot 10^{-6} = 45,01 \text{кН}] = 96,46 \text{кН},
 \end{aligned}$$

де  $q = 20 \text{МПа}$  – зусилля герметизації, для паронітових прокладок;

$[\sigma]_B^{20} = 140 \text{МПа}$  – граничне напруження в болтах при температурі  $20^\circ\text{C}$ .

Зусилля в болтах в робочих умовах обчислюється за формулою:

$$F_{B2} = F_{B1} + (1 - k_{ж}) \cdot F_D + F_t = 96,46 \cdot 10^3 + (1 - 4,62) \cdot 5,15 \cdot 10^3 + 26,36 \cdot 10^3 = 104,2 \text{кН}.$$

Приведений згинаючий момент обчислюється за формулою:

$$M_0 = 0,5 \cdot (D_B - D_{II}) F_{B1} = 0,5 \cdot (0,15 - 0,128) \cdot 96,46 \cdot 10^3 = 1,06 \text{кНм}.$$

Умова міцності болтів при монтажу обчислюється за формулою:

$$\frac{F_{B1}}{n_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^{20} \Rightarrow \frac{96,46 \cdot 10^3}{4 \cdot 200,96 \cdot 10^{-6}} = 119,9 \text{МПа} < 140 \text{МПа},$$

де  $[\sigma]_B^{20} = 140 \text{МПа}$  – граничне напруження в болтах при температурі  $20^\circ\text{C}$ .

Умова міцності болтів робочих умовах обчислюється за формулою:

$$\frac{F_{B2}}{n_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^{20} \Rightarrow \frac{104,2 \cdot 10^3}{4 \cdot 200,96 \cdot 10^{-6}} = 129,6 \text{МПа} < 140 \text{МПа}.$$

Умова міцності прокладки обчислюється за формулою:

$$\frac{F_{Bmax}}{\pi \cdot D_{II} \cdot b} \leq [P]_{II} \Rightarrow \frac{104,2 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 128 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 21,6 \text{МПа} < 130 \text{МПа},$$

де  $[P]_{II} = 130 \text{МПа}$  – допустимий тиск для паронітової прокладки;

$F_{Bmax} = \max \{ F_{B1}, F_{B2} \} = 104,2 \text{кН}$  – найбільше зусилля в болтах.

Радіальне напруження в перерізі  $s$  обчислюється за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{T_\phi \cdot M_0 \cdot \nu}{D(s_m - c)^2} = \frac{1,49 \cdot 1,06 \cdot 10^3 \cdot 0,27}{0,091 \cdot (0,006 - 0,002)^2} = 293,6 \text{МПа},$$

де  $T_\phi$  – конструктивний коефіцієнт, який визначається по формулі:

									Арк.
									41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ				

$$T_{\phi} = \frac{D_{\phi}^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_{\phi}}{D}\right) - D^2}{\left(1,05 \cdot D^2 + 1,945 D_{\phi}^2\right) \cdot \left(\frac{D_{\phi}}{D} - 1\right)} =$$

$$= \frac{(0,185)^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{0,185}{0,091}\right) - (0,091)^2}{\left(1,05 \cdot (0,091)^2 + 1,945 \cdot (0,185)^2\right) \cdot \left(\frac{0,185}{0,091} - 1\right)} = 1,49.$$

Напруження у втулці від внутрішнього тиску обчислюється за формулою:

$$\sigma_t = \frac{P_{mp} \cdot D}{2(s_m - c)} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,091}{2(0,006 - 0,002)} = 3,41 \text{ МПа},$$

$$\sigma_m = \frac{P_{mp} \cdot D}{4(s_m - c)} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,091}{4(0,006 - 0,002)} = 1,71 \text{ МПа}.$$

Умова міцності для перерізу  $s$  обчислюється за формулою:

$$\sqrt{(\sigma_1 + \sigma_M)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_1 + \sigma_M) \cdot \sigma_t \leq [\sigma]_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{(293,6 + 1,71)^2 + 3,41^2} - (293,6 + 1,71) \cdot 3,41 = 293,6 \text{ МПа} < 567 \text{ МПа},$$

де  $[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E_{\phi} = 0,003 \cdot 1,89 \cdot 10^{11} = 567 \text{ МПа}$  – граничне напруження в перерізі  $S$ .

Умова герметичності фланцевого з'єднання обчислюється за формулою:

$$\Theta = \frac{\sigma_K \cdot D}{E_{\phi} \cdot h_{\phi}} \leq [\Theta] \Rightarrow \frac{48 \cdot 10^6 \cdot 0,091}{1,89 \cdot 10^{11} \cdot 0,015} = 0,0015 < 0,009,$$

де  $[\Theta] = 0,009$  – граничний кут повороту фланців для  $D < 2000 \text{ мм}$ .

#### 5.4.4. Розрахунок штуцерів

Для заданих діаметрів труб теплообмінника вибираємо з таблиць умовні проходи штуцерів і для кожного штуцера вибираємо фланець [11,12].

Штуцери обираємо виходячи з конструктивних міркувань, для забезпечення стандартизації та уніфікації.

Штуцери Д і Е призначені для вводу та виводу насиченої водяної пари в міжтрубний простір теплообмінника:

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$D_y = 80\text{мм}; D_n = 91\text{мм}; D_\phi = 185\text{мм}; D_o = 150\text{мм}; D_n = 128\text{мм};$  болти М16, кількість болтів  $z = 4\text{шт}; h_c = 15\text{мм}; h_\phi = 18\text{мм}; h_n = 2\text{мм}.$

Штуцери В і Г призначені для вводу та виводу води в трубний простір теплообмінника:

$D_y = 80\text{мм}; D_n = 91\text{мм}; D_\phi = 185\text{мм}; D_o = 150\text{мм}; D_n = 128\text{мм};$  болти М16, кількість болтів  $z = 4\text{шт}; h_c = 15\text{мм}; h_\phi = 18\text{мм}; h_n = 2\text{мм}.$

Розрахункові товщини стінок патрубків [11]:

Для штуцерів Д і Е:

$$S_{RS}^D = S_{RS}^E = \frac{P_{\text{мжс}} \cdot d_D}{2 \cdot [\sigma] - P_{\text{мжс}}} = \frac{0,4 \cdot 10^6 \cdot 91 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 140 \cdot 10^6 - 0,4 \cdot 10^6} = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Для штуцерів В і Г:

$$S_{RS}^B = S_{RS}^G = \frac{P_{\text{мжс}} \cdot d_B}{2 \cdot [\sigma] - P_{\text{мжс}}} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 91 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 140 \cdot 10^6 - 0,3 \cdot 10^6} = 0,098 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

де  $d_{n1} = d_{n2} = d_n = 91 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  – зовнішні діаметри патрубків, приймаємо по номінальному діаметру відповідного фланця.

Приймаємо товщини стінок патрубків:

$$S_T = S_S^D = S_S^E = S_S^B = S_S^G = 6\text{мм}.$$

Розрахункові довжини патрубків:

$$l_R = 1,25 \sqrt{d_n \cdot (S_T - c_s)} = 1,25 \sqrt{0,091 \cdot (0,006 - 0,001)} = 0,027 \text{ м,}$$

де  $c_s = 0,001 \text{ м}$  – сумарний додаток до товщини стінки патрубка.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 5.4.5. Перевірка несучої спроможності апарата

#### на дію опорних навантажень

Для горизонтальних апаратів опори, як правило, роблять зварними, рідше литими або з бетону, або цегли. Число опор зазвичай дві, але при значній довжині апарату ставлять більшу кількість. Бажано відстань між опорами робити не більше 5 ... 10 м. Для того, щоб зменшити вигинаючі напруження в стінках апарату, кут дуги обпирання горизонтальній опори бажано робити не менше  $120^\circ$ . Апарати під час експлуатації нагріваються і подовжуються. Якщо не забезпечити можливість температурного подовження, то в стінках може виникнути велике напруження. Для зменшення температурних напружень одну опору роблять нерухомою, а інші – рухливими, що забезпечують вільне переміщення апарата щодо несучої конструкції. Відстань між нерухомою і рухомою опорами вибирається так, щоб температурні подовження апарату між суміжними опорами не перевищували 35 мм, опора переміщається по плоскому підкладному листу, який перед установкою апарату змащується графітовим мастилом. Регулювальні болти, передбачені в стандартних сідлових опорах, допускають навантаження на одну опору (при незаповненому апараті) не більше 16 кН. На рисунку 5.4 представлений вид сідлових опор.

При розрахунку горизонтального апарату, встановленого на сідлових опорах, його розглядають як балку, що лежить на опорах і навантажену рівномірно розподіленим навантаженням. Розрахунок ведуть за РТМ 26-110-77, ГОСТ 26202-84[12].

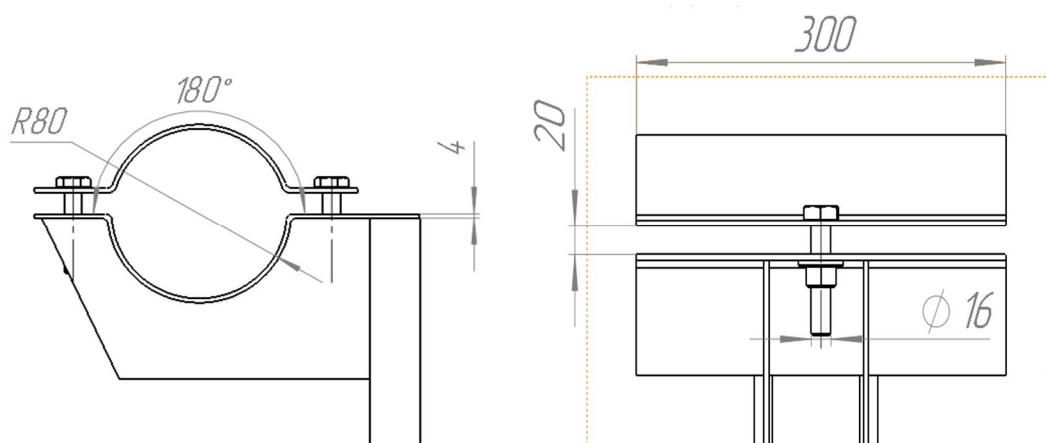


Рисунок 5.4 Сідлова опора

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Умова можливості застосування розрахункових формул:

$60^\circ \leq \delta_1 \leq 180^\circ$ ;  $60^\circ \leq 180^\circ \leq 180^\circ$  – умова виконується.

$\frac{s-c}{D} \leq 0,05$ ;  $\frac{0,008-0,001}{0,159} \leq 0,05$ ;  $0,044 \leq 0,05$  – умова виконується.

Загальна вага апарату:  $m_m = 3353,5 \text{ кг}$  – маса теплообмінника не враховуючи маси опор;

Загальна довжина труби, розраховуючи по зовнішньому діаметру теплообмінної труби:

$$L = \frac{F}{3,14 d_{\text{зв}}^2} = \frac{20}{3,14 \cdot 0,089^2} = 72 \text{ м.}$$

$m_g = V \cdot \rho = L \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho = 72 \cdot \pi \cdot (54 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 990,7 = 1,35 \cdot 990,7 = 653,5 \text{ кг}$  – маса води, що діє на теплообмінник безпосередньо під час процесу, тобто даною масою можна знехтувати.

Отже, загальна вага теплообмінника:

$$G = (m_m + m_g) g = (3353,5 + 653,5) \cdot 9,81 = 39308,7 \text{ Н} = 39,31 \text{ кН.}$$

Навантаження балки:

$$q = \frac{G}{L_1 + \frac{4}{3} H} = \frac{39,31}{6,58 + \frac{4}{3} \cdot 0,285} = 5,65 \text{ кН.}$$

де  $L_1$  – довжина циліндричної частини теплообмінника, включаючи циліндричну частину фланця;

$H$  – висота випуклої частини теплообмінника (коліно).

Опорне зусилля:

$$F_1 = \psi_1 \frac{G}{n} = 0,7 \cdot \frac{39,31}{8} = 3,43 \text{ кН.}$$

де  $n$  – кількість опор;  $\psi_1$  – коефіцієнт, що визначається за кількістю опор.

Згинаючі моменти:

$$M_1 = M_2 = \frac{q e^2}{2} - M_0 = \frac{5,65 \cdot 0,22^2}{2} - 0,009 = 0,13 \text{ кНм.}$$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$M_0 = \frac{qd_{36}^2}{16} = \frac{5,65 \cdot 0,159^2}{16} = 0,009 \text{кНм.}$$

$$e = a + \frac{2}{3}H = 0,0318 + \frac{2}{3}0,285 = 0,22 \text{м}, a = 0,2d_{36}^3 = 0,2 \cdot 0,159 = 0,0318 \text{м.}$$

Максимальний момент між опорами:

$$M_{12} = M_0 + F_1 \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left( \frac{L}{2} + \frac{4}{3}H \right) = 0,009 + 3,43 \left( \frac{6,58}{2} - 0,0318 \right) - \frac{5,65}{2} \left( \frac{6,58}{2} - \frac{4}{3}0,285 \right) = 2,96 \text{кНм.}$$

$\max \{M_{12}\} > \max \{M_1, M_2\}; 2,96 \text{кНм} > 0,13 \text{кНм}$  – умова виконується.

Поперечні зусилля  $Q_1$  слід визначати в перетині труби над опорами.

Величина поперечних зусиль визначається по залежності:

$$Q_1 = \frac{L-2a}{L+\frac{4}{3}H} F_1 = \frac{6,58-2 \cdot 0,0318}{6,58+\frac{4}{3}0,285} 3,43 = 3,2 \text{кН.}$$

Перевірка несучої здатності кожухової труби між опорами:

$$b_2 \geq K_{19} \cdot D + 1,5b; 0,3 \text{м} \geq 0,9 \cdot 0,159 + 1,5 \cdot 0,077 \text{м},$$

– умова виконується.

$$0,3 \text{м} \geq 0,26 \text{м},$$

де  $K_{19} = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує вплив ширини поясу опори;

$b_2 = 0,3 \text{м}$  – довжина опорної плити;

$b = 0,077 \text{м}$  – відстань між ребрами;

$D = 0,159 \text{м}$  – зовнішній діаметр кожухової труби.

Міцність перевіряємо за формулою:

$$F_i \leq 1,5 \min \{ [F]_2, [F]_3 \},$$

$$F_i \leq 1,5 \min \{ 9,95 \text{кН}, 31,1 \text{кН} \},$$

$$F_i \leq 1,5 \cdot 9,95; 3,43 \text{кН} \leq 14,92 \text{кН},$$

$$[F]_2 = \frac{0,7[\sigma_i]_2 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = \frac{0,7 \cdot 21,3 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{0,159(0,008-0,001)}(0,008-0,001)}{0,35 \cdot 1} = 9,95 \text{кН};$$

$$[F]_3 = \frac{0,9[\sigma_i]_3 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = \frac{0,9 \cdot 21,3 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{0,159(0,008-0,001)}(0,008-0,001)}{0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,3} = 31,1 \text{кН.}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ					46

Коефіцієнти:

$K_{10} = 0,35$  – коефіцієнт, що враховує вплив ширини поясу опори (параметр, що визначає ширину поясу опори  $\beta = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(s-c)}} = 0,91 \frac{0,077}{\sqrt{0,159(0,006-0,001)}} = 2,6$ );

$K_{12} = 1,0$ ;  $K_{14} = 0,6$  – коефіцієнти, що враховують вплив кута обхвату;

$K_{16} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує вплив відстані до кожухової труби;

$K_{17} = 0,3$  – коефіцієнт, що враховує вплив ширини поясу опори.

Граничні напруження вигину[20]:

$$[\sigma_i]_2 = [\sigma_i]_3 = \overline{\sigma_{mx}} = \frac{4M_i}{\pi D^2 (S-c)} = \frac{4 \cdot 2,96 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,159^2 (0,008-0,001)} = 21,3 \text{ МПа}$$

$$F_i \leq 1,5 \min \{9,95 \text{ кН}, 31,1 \text{ кН}\},$$

Отже,  $F_i \leq 1,5 \cdot 9,95$ ;  $F_i = [F] = 14,92 \text{ кН}$ .

Перевірку стійкості проводимо за формулою:

$$\frac{|M_1|}{[M]} + \frac{|F_e|}{[F]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1,0; \quad \frac{0,13}{2,96} + \frac{3,08}{14,92} + \left( \frac{3,2}{16} \right)^2 \leq 1,0; \quad 0,29 \leq 1,0;$$

$$F_e = F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{(S-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 3,43 \cdot \frac{3,14}{4} \sqrt{\frac{0,159}{(0,008-0,001)}} \cdot 0,4 \cdot 0,6 = 3,08 \text{ кН}, \text{ де}$$

$[Q] = 16 \text{ кН}$  – максимально допустимі зусилля, що можуть діяти на опорі.

$K_{13} = 0,4$  – коефіцієнт, що враховує вплив кута обхвату;

$K_{15} = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує вплив відстані до труби.

Перевірки на міцність, стійкість і несучу здатність були зроблені, і можна сказати, що всі умови виконуються. Отже, дані сідлові опори витримують діючі навантаження.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. Рекомендації з монтажу та експлуатації

### 6.1. Компоновка та монтаж

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апаратів на металоконструкції, установці і приєднанні допоміжного устаткування, приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу продуктів, установці приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються й усуваються дефекти конструкції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації.

Проектом виробництва монтажних-складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій зборки:

1. Установка металоконструкцій – опор апарата;
2. Установка секцій апарата на металоконструкцію;
3. Установка калачів апарата;
4. Припасування і приєднання всіх трубопроводів;
5. Установка арматури і контрольно-вимірювальних приладів;
6. Герметизація місць з'єднання апарата (кришок, фланців і т.д.);
7. Приєднання допоміжних механізмів і пристроїв;
8. Установка огорожень;
9. Випробування апарата на герметичність;
10. Пробна експлуатаційна установка;
11. Проведення теплоізоляційних робіт (якщо потрібно);
12. Здача установки в експлуатацію.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.2. Випробування

Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарат має неодмінно пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та перевіркою стану всіх частин та вузлів апарата.

При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури, приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка апарата до експлуатації включає перевірку витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск всередині апарата та в трубопроводі. Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажно-організацій та замовника.

## 6.3. Вимоги до експлуатації апарату

Для дотримання правильного експлуатаційного режиму використовуючих тепло установок необхідні:

1. Справність і безперебійність роботи устаткування;
2. Високий рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
3. Забезпечення необхідними видами енергії і раціональна її витрата.

Для безперебійної роботи устаткування необхідний:

1. достатній резерв основного і допоміжного устаткування і дотримання правил технічної експлуатації;
2. своєчасне виконання планово-попереджувальних ремонтів устаткування і наявність запасних частин для вузлів і деталей, які швидко зношуються.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7. Рівень стандартизації та уніфікації

У плані прискорення конструкторської підготовки виробництва на підприємствах мікробіологічної та фармацевтичної промисловості велике значення має послідовність проектування устаткування і виробів. Така послідовність здійснюється на основі стандартизації й уніфікації відповідних деталей і вузлів.

Стандартизація передбачає проведення в масштабах країни обмеження доцільним мінімумом числа окремих типорозмірів. Стандартизація дозволяє агрегувати технологічне устаткування у відповідні технологічні схеми, що у свою чергу дозволяє здійснювати оборотність конструкцій, тобто змінювати в технологічній схемі апарати місцями.

Метою стандартизації є створення системи нормативно-технічної документації, що визначатиме прогресивні вимоги до продукції, що виготовляється, до її розробки, виробництва та застосування, а також контроль за достовірністю використання цієї документації.

Під уніфікацією розуміють конструктивну тотожність деталей і вузлів у різних видах устаткування. За рахунок стандартизації й уніфікації можна домогтися обмеження застосування оригінальних деталей і вузлів.

Якісною оцінкою даних понять служать рівень стандартизації й уніфікації, обумовлений як відношення числа позицій деталей і складальних одиниць, на які передбачений стандарт до загального числа позицій одиниць, деталей і виробів у специфікації. Так для виробів, що розробляються рівень стандартизації й уніфікації дорівнює 85% і 88%, відповідно.

Застосування стандартів сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню рівня уніфікації і взаємозамінності, розвитку автоматизації виробничих процесів, росту ефективності експлуатації і ремонту виробу.

При розробці теплообмінника використана максимально можлива кількість стандартних, нормалізованих та уніфікованих деталей. За рахунок цього вдалося

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суттєво зменшити витрати на виготовлення апарату та заміну його частин при ремонті.

В даному теплообміннику уніфіковано наступні вузли та деталі:

- фланці                   ГОСТ 12820-80
- болти                    ДСТУ ГОСТ 7798-2008
- гайки                    ДСТУ ГОСТ 5915-2008
- шайби                   ГОСТ 18123-82.
- прокладки             ГОСТ 481-80

Загальна кількість деталей  $N = 736$ , з них стандартних  $n_c = 558$ .

Коефіцієнт стандартизації:

$$A = \frac{n_c}{N} = \frac{558}{736} = 0,76.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$B = \frac{n_c}{N} = \frac{558}{736} = 0,76.$$

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

Даний дипломний проект був створений для закріплення теоретичних і набуття практичних навичок з проектування та розрахунку апаратів призначених для фармацевтичної, мікробіологічної та харчової промисловості.

Розглянута в проекті лінія виробництва нафтизину є поширеною і актуальною. Під час виконання проекту був спроектований теплообмінник типу «труба в трубі», який використовується для нагрівання води та отримання конденсату. Даний теплообмінник має наступні переваги: можливі різноманітності компонувань теплообмінника; він може бути швидко зібраний зі стандартних елементів на місці монтажу; при необхідності поверхню теплообміну може бути збільшена за рахунок установки додаткових секцій.

Для підтвердження працездатності та надійності конструкції апарату були проведені тепловий, гідравлічний, конструктивний розрахунки та розрахунки на міцність теплообмінної та кожухової труб, фланцевих з'єднань та опор. Всі розрахунки підтвердили надійність і стабільність конструкції даного апарату.

В ході дипломного проекту був проведений патентний пошук як в Україні, так і за її межами. Була знайдена велика кількість патентів в Україні, Росії та США, які на даний момент діють і використовуються в промисловості.

Інновацією в даному дипломному проекті є заміна звичайних опор – фіксуєчими сідлоподібними опорами, які були перевірені на міцність, стійкість та несучу спроможність, і дану перевірку пройшли успішно.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік посилань

1. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры: ДСТУ ГОСТ 7798:2008. – [Чинний від 2008-01-01]. [Текст] / – К. : Державні стандарти України 2012. — 9 с. — (Національний стандарт України).
2. Воробьева, Л.И. Промышленная микробиология: Учеб. пособие. [Текст] / Л.И. Воробьева, – М: изд-во МГУ, 1989. – 294 с..
3. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры: ДСТУ ГОСТ 5915:2008. – [Чинний від 2008-01-01]. [Текст] / – К. : Державні стандарти України 2012. — 5 с. — (Національний стандарт України).
4. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию. [Текст] / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. / Под ред. Ю. И. Дытнерского. – 2-е изд. перераб. и дополн.– М.: Химия, 1991.
5. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. [Текст]/ А. Г. Касаткин – М.: Химия, 1973. – 750 с.
6. Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник [Текст] / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский Л.: Машиностроение, 1970. – 750 с.
7. Мартыненко, О.Г. Справочник по теплообменникам. Том 2. [Текст] / О.Г. Мартыненко – Москва: Энготомиздат, 1987. – 349 с..
8. Михалев, М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. [Текст] / М.Ф. Михалев – Л.: Машиностроение, 1984. – 299 с.
9. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 351 с.
10. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.– М.: Химия, 1968. – 847 с.
11. Паронит и прокладки из него. Технические условия: ГОСТ 481-80. – [Чинний від 1980-04-10]. [Текст] / – К. : Міждержавні стандарти, 2012. 14 с. — ( Государственный стандарт СССР) ( Государственный стандарт СССР).

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

12. «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок» ГОСТ 26202-84 – [Чинний від 1984-06-08]. [Текст] / – М. : Государственный комитет по стандартам, 1984. — 38 с. — ( Государственный стандарт СССР).
13. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки: ГОСТ 5632-72. [Текст] / – [Чинний від 1988-01-01]. – К. : Міждержавні стандарти, 2012. — 31 с. — ( Государственный стандарт СССР).
14. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005). – [Чинний від 2005-01-01]. [Текст] / – К. : Державні стандарти України 2012. — 28 с. — (Національний стандарт України).
15. Теплообменные аппараты «труба в трубе»: АТК 24.202.03-90. – [Чинний від 1992-01-01]. [Текст] – Москва: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1992. – 23с.
16. Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия: ГОСТ 9940-81 (с изм.) – [Чинний від 1983-01-01]. [Текст] / – М. : Издательство стандартов, 2004. — 8 с. — ( Государственный стандарт СССР).
17. Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудывания. Справочник. Том 1. [Текст] / А.С. Тимонин – Издательство Н.Бочкаревой: Калуга, 2002. – 845 с.
18. Фланцы стальные плоские приварные: ГОСТ 12820-80. – [Чинний від 1980-05-20]. [Текст] / – М. : Государственный комитет по стандартам, 1980. — 68 с. — ( Государственный стандарт СССР).
19. Шайбы. Общие технические условия: ГОСТ 18123-82. – [Чинний від 1982-05-10]. [Текст]/ – К. : Міждержавні стандарти, 2012. — 10 с. — ( Государственный стандарт СССР).
20. Швеллеры стальные горячекатанные. Сотамент: ГОСТ 8240-97. – [Чинний від 1997-04-23]. [Текст]/ – М. : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации , 1997. — 10 с.

					БІ6103.703312.000.00-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

