

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: «Лінія виробництва лимонної кислоти з розробкою кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою»

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Освітньо-професійна програма «Обладнання фармацевтичних та
біотехнологічних виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **Вікторія МЕЛЬНИК**
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Хоменко Костянтину Олександровичу

1. Тема проєкту: «Лінія виробництва лимонної кислоти з розробкою кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою», керівник проєкту к.т.н. доцент, Костик С.І.,
затверджені наказом по університету від «__» _____ 2020 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту 02.06.20

3. Вихідні дані до проєкту: проектна потужність 500 тонн лимонної кислоти в нативному розчині за рік; масова витрата культуральної рідини 0,780 кг/с; початкова температура культуральної рідини +125°C; кінцева температура культуральної рідини +60°C; початкова температура води охолоджувальної +20°C; кінцева температура води охолоджувальної +28°C.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити): опис технологічного процесу, призначення та область використання кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою, технічна характеристика, обґрунтування вибору обраної конструкції, розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції, рекомендації з охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації.

5. Перелік графічного матеріалу: апаратурно-технологічна схема лінії виробництва лимонної кислоти (A1); кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою (складальне креслення – A1); трубна решітка з плаваючою головкою (складальне креслення – A1); креслення складальних одиниць (Кришка, опори, фланці, штуцери (A1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2.Опис технологічного процесу виробництва кристалічної лимонної кислоти	професор д.ф-м.н Литвинов Григорій Сергійович		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Опис технологічного процесу виробництва кристалічної лимонної кислоти	02.03.20-09.03.20	
2	Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва лимонної кислоти	09.03.20-16.03.20	
3	Призначення та область застосування кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою; обґрунтування вибору конструкції	16.03.20-23.03.20	
4	Патентний пошук	23.03.20-30.03.20	
5	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою	30.03.20-13.04.20	
6	Рекомендації з охорони праці; рекомендації з монтажу та експлуатації	13.04.20-20.04.20	
7	Складальне креслення кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою; креслення складальних одиниць, деталей	20.04.20-11.05.20	
8	Оформлення ПЗ	11.05.20-31.05.20	

Студент

(підпис)

Костянтин ХОМЕНКО

Керівник проекту

(підпис)

Сергій КОСТИК

Реферат

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» на тему: «Лінія виробництва лимонної кислоти з розробкою кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою» .

Проект включає:

– пояснювальну записку, яка містить: перелік скорочень, умовних позначень, вступ, 6 розділів, висновки, перелік посилань та додатки. Повний обсяг пояснювальної записки становить 51 сторінку формату А4, 4 рисунки і перелік посилань з 14 найменувань (на 2 сторінках).

– графічну частину: апаратурно-технологічна схема лінії виробництва лимонної кислоти (А1); кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою (складальне креслення – А1); креслення складальних одиниць (Кришка, опори, фланці, опори (А1); трубна решітка з плаваючою головкою (складальне креслення – А1);

Завдання проекту полягає у проектуванні кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою, призначеного для охолодження живильного середовища після стерилізації.

В першому розділі наведено призначення та область застосування кожухотрубних теплообмінників.

В другому розділі представлено опис апаратурно-технологічної схеми лінії виробництва лимонної кислоти.

В третьому розділі наведено обґрунтування вибору проектованої конструкції.

В четвертому розділі наведено технічні характеристики теплообмінника.

В п'ятому розділі були проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції теплообмінника:

– тепловий розрахунок. Метою якого є визначення площі поверхні теплообміну;

- конструктивний розрахунок. Вибір пластини, визначення компоновки пакета пластин і перевірка площі поверхні теплообміну;
- визначення швидкості руху теплоносіїв в штуцерах;
- розрахунок на міцність. Перевірка умов міцності, герметичності фланцевого з'єднання.

В шостому розділі розглянуті питання з монтажу та експлуатації теплообмінника.

На основі проведених розрахунків спроектовано теплообмінник пластинчатий, який відповідає технічним вимогам і задовольняє потреби виробництва.

КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК З ПЛАВАЮЧОЮ ГОЛОВКОЮ,
ЛИМОННА КИСЛОТА, ТЕПЛООБМІННИК, МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ,
САМОКОМПЕНСАЦІЯ, ТЕПЛООБМІННИК, ЖИВИЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ,
ПЛАВАЮЧА ГОЛІВКА, ТРУБНА РЕШІТКА.

Abstract

Diploma project of educational qualification level "bachelor" on the topic: "Citric acid production line with the development of a shell-and-tube heat exchanger with a floating head."

The project includes:

- explanatory note, which contains: a list of abbreviations, symbols, introduction, 6 sections, conclusions, list of references and appendices. The full volume of the explanatory note is 51 A4 pages, 4 figures and a list of links from 14 titles (2 pages).

- graphic part: hardware-technological scheme of citric acid production line (A1); shell-and-tube heat exchanger with a floating head (assembly drawing - A1); drawings of assembly units (Cover, supports, flanges, supports (A1); pipe lattice with a floating head (assembly drawing - A1);

The task of the project is to design a shell-and-tube heat exchanger with a floating head, designed to cool the nutrient medium after sterilization.

The first section presents the purpose and scope of shell-and-tube heat exchangers.

The second section presents a description of the hardware-technological scheme of the citric acid production line.

The third section provides a rationale for the choice of the designed structure.

The fourth section presents the technical characteristics of the heat exchanger.

In the fifth section, calculations were performed confirming the efficiency and reliability of the heat exchanger design:

- thermal calculation. The purpose of which is to determine the surface area of heat transfer;
- constructive calculation. Plate selection, determining the layout of the plate package and checking the heat transfer surface area;
- determination of the velocity of coolants in the fittings;
- strength calculation. Check of conditions of durability, tightness of flange connection.

The sixth section deals with the installation and operation of the heat exchanger. Based on the calculations, a plate heat exchanger is designed, which meets the technical requirements and meets the needs of production.

TUBE HEAT EXCHANGERS WITH FLOATING HEADS, CITRIC ACID, HEAT EXCHANGERS, MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS, SELF-COMPENSATING, HEAT EXCHANGERS, MEDIUM, FLOATING HEAD, TUBE SHEET.

Зміст

Перелік умовних позначень.....	8
Вступ.....	11
1. Призначення та область застосування кожухотрубних теплообмінників..	13
1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування	13
1.2. Характеристика культуральної рідини.....	14
2. Опис технологічного процесу.....	15
2.1. Характеристика сировини і матеріалів.....	15
2.2. Допоміжні роботи.....	15
2.3. Технологічний процес.....	17
3. Обґрунтування вибору проектованої констркції.....	20
3.1. Опис конструкції теплообмінника.....	20
3.2. Вибір матеріалів.....	21
3.3. Патентний пошук.....	22
4. Технічна характеристика теплообмінника.....	24
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції...25	
5.1. Тепловий розрахунок теплообмінника.....	25
5.1.1. Визначення теплового навантаження апарата.....	25
5.1.2. Визначення коефіцієнта теплопередачі.....	25
5.1.3. Визначення поверхні теплообміну.....	30
5.2. Гідравлічний розрахунок теплообмінника.....	30
5.3. Конструктивний розрахунок теплообмінника.....	30
5.4. Розрахунок розмірів елементів деталей, складальних одиниць, кріпильних засобів та перевірка їх на міцність.....	34
5.4.1. Розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінної труби....	35

					<i>БІ-61.10.703312.00 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Хоменко К.О.			Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головою	Літ.	Арк.
Перевірів		Остапенко Ж.					Акрушів
					<i>Пояснювальна записка</i>		
Затвердив		Остапенко Ж.І.				ФБТ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	

5.5. Розрахунок еліптичного днища.....	42
5.6. Розрахунок товщини стінки теплообмінника.....	44
6. Рекомендації з монтажу та експлуатації.....	46
6.1. Компоновка та монтаж.....	46
6.2. Підготовка до роботи.....	47
Висновок.....	48
Список використаної літератури.....	50
Додаток А. Апаратурна схема	
Додаток Б. Специфікації	

Перелік умовних позначень та скорочень

G – масова витрата, $кг/с$;

ρ – густина, $кг/м^3$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/мК$;

c – теплоємність, $Дж/кгК$;

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

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

V – об'ємна витрата, $м^3/с$;

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

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

δ – товщина стінки труби, $м$;

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

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

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

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

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

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

Re – критерій Рейнольдса;

Nu – критерій Нусельта;

Pr – критерій Прандтля;

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

Δp – перепад тиску в апараті, $Па$;

η – коефіцієнт корисної дії;

l – довжина труби, $м$;

					<i>БІ-61.10.703312.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ξ – коефіцієнт місцевого опору;

ω – швидкість руху рідини, $м/с$;

N – потужність привода насоса, $Вт$;

n_y – границя стійкості;

φ – 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, $м^2$;

ν, ψ_1, ψ_2 – конструктивні коефіцієнти;

α_ϕ – коефіцієнт об’ємного розширення фланця, $^{\circ}C^{-1}$;

α_o – коефіцієнт об’ємного розширення болтів, $^{\circ}C^{-1}$;

q – зусилля герметизації, $МПа$;

$[\sigma]$ – граничне напруження, $МПа$;

$[P]$ – допустимий тиск, $МПа$;

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

y_ϕ — піддатливість фланця, $1/(mMH)$;

y_b — піддатливість болтів, m/MH ;

y_c — піддатливість вільного кільця, $1/(mMH)$;

$[\theta]$ — граничний кут повороту, rad

Re - критерій Рейнольдса;

Gr — критерій Грасгофа;

Pr — критерій Прандтля;

E — параметр гідравлічного опору;

S — товщина стінки, [мм];

c — прибавка до розрахункової товщини стінки, [мм];

D_3 — зовнішній діаметр фланця, [мм];

θ — кут повороту фланця, [рад];

$[\sigma]$ — допустиме напруження матеріалу, [МПа].

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Вступ

Протягом останніх десятиліть у нашій країні та за її межами стрімко набули розвитку такі напрямки промислової біотехнології як виробництво антибіотиків, вітамінів, амінокислот, ферментів, органічних кислот та інших цільових продуктів. Особлива увага у виробництві органічних кислот приділяється харчовим кислотам – лимонній, молочній, яблучній, оцтовій та іншим [1].

Із органічних кислот, отриманих мікробіологічним способом, лимонна кислота завдяки своїм смаковим якостям і фізико-хімічним властивостям найбільше застосовується у ряді галузей [2].

До початку двадцятих років минулого століття лимонну кислоту отримували з соку лимонів, таким чином задовольнялося близько трьох чвертей світової потреби в ній (вихід лимонної кислоти з однієї тонни лимонів становить 25 кг) [3].

Можливість отримання лимонної кислоти шляхом культивування мікроскопічних грибів на цукрових поживних середовищах була відкрита німецьким вченим К. Вемером у 1893 році [4].

Харчова промисловість традиційно є основним споживачем виробленої таким чином кислоти, оскільки продукти природного бродіння мають переваги порівняно з хімічно синтезованими та не містять токсичних, для організму людини, домішок. Лимонна кислота є широковживаною нешкідливою харчовою добавкою (E330), крім того, її застосовують у медицині, кондитерській промисловості, косметичній галузі тощо. Одним з головних завдань у виробництві лимонної кислоти є досягнення її високого виходу [5].

Попит на лимонну кислоту безперервно зростає, але в колишніх соціалістичних країнах він задовольняється вкрай слабо, тому в даний час організовуються нові виробничі потужності з випуску цього цінного продукту [4].

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

У даному проекті розглядається лінія для виробництва лимонної кислоти, проектується теплообмінник для охолодження розчину з метою отримання лимонної кислоти.

Для проектування теплообмінника проводиться тепловий розрахунок, в який входить визначення теплового навантаження апарату, коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі, площі поверхні теплообміну, а також проводиться розрахунок міцності основних елементів конструкції для забезпечення надійності та цілісності конструкції.

Розрахований апарат має задовольняти всім вимогам проведення процесу та техніки безпеки, бути герметичним, надійним та зручним в експлуатації.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1. Призначення та область застосування кожухотрубних теплообмінників

1.1 Призначення теплообмінника і галузь його застосування

Теплообмінники призначені для передачі тепла з одного середовища в інше. Найбільш розповсюдженими теплообмінниками, які використовуються в фармацевтичній та мікробіологічній промисловості, є кожухотрубні теплообмінники. Існує безліч модифікацій даного типу теплообмінника, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Перевагами даних теплообмінників полягає в різноманітності модифікацій, і, крім того, вони можуть бути швидко зібрані з стандартних елементів на місці монтажу. Принцип роботи такого теплообмінника наступний: 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. Теплообмін відбувається через тонку стінку. Теплообмінні труби з'єднуються між собою за допомоги трубної решітки [2] [3].

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 гарячого робочого середовища до холодного або навпаки через теплообмінну поверхню [4].

Найбільш простими теплообмінниками, які забезпечують герметичність і використовуються в фармацевтичній, мікробіологічній та харчовій промисловостях, є кожухотрубні теплообмінники.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2.Характеристика культуральної рідини

Культуральна рідина при глибинній ферентації містить в собі від 9-16 г/100 мл сухих речовин. У її склад входять 5-12 г органічних кислот. Лимонна кислота в сумі органічних кислот складає 80-85%. Рідина містить в собі щавлеву, глюконову кислоти та малу частку проміжних кислот. Окрім органічних кислот в рідині міститься частина цукру не асимільованого грибом (0.2-0.5%).[4].

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2.Опис технологічного процесу

2.1.Характеристика сировини і матеріалів

1. Меляса в концентрації 5% по цукру - використовується для ферментації і посівного середовища.
2. NH_4Cl концентрація 1% - використовується для ферментації і посівного середовища.
3. KH_2PO_4 конц.1% - використовується для ферментації і посівного середовища.
4. ZnSO_4 конц.1% - використовується для ферментації і посівного середовища.
5. $\text{K}_4 [\text{Fe} (\text{CN})_6]$ конц.10% - використовується для ферментації і посівного середовища.
6. Піногасник - олеїнова кислота - використовується для піногасіння.
7. Вода.[4].

2.2.Допоміжні роботи

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.

1. Підготовка обладнання до завантаження.

Підготовка установок до роботи полягає в їх промиванні і пропарюванні. При митті установок спочатку заповнюють водопровідною водою (або розчином каустичної соди) основну ємність, потім циркуляційний контур. Після запуску насоса промивна рідина починає циркулювати по контуру. Далі встановлюють необхідну величину повернення промивної рідини з основного контуру циркуляції промивного розчину в циркуляційну ємність. Підживлюючи систему водопровідною водою, ведуть промивку до появи чистої води на виході в каналізацію перед апаратом поділу. Основні показники процесу мийки:

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- температура водопровідної води - 40°C;
- тривалість процесу - 30 хв.

Після закінчення процесу вимикають насос і зливають залишки води з установки. Далі можна здійснити пропарювання апарату шляхом подачі пари з тиском 0,3-0,4 мПа і відведення конденсату в каналізацію. Після підготовчих заходів необхідно провести аналіз повітря всередині апарату за допомогою газоаналізаторів. Концентрація CO₂ та інших летких продуктів не повинна перевищувати допустиму норму.

Перед проведенням робіт з очищення та огляду обладнання все апарати повинні бути надійно (за допомогою заглушок) відключені від парових та інших комунікацій.

2. Прийом і зберігання меляси

Меляса надходить на завод в залізничних цистернах вантажопідйомністю від 25 до 120 т і в автоцистернах. Всі види тари повинні бути чистими, без сторонніх запахів і сторонніх предметів. Залізнично та автодорожні цистерни повинні мати нижні зливні пристрої.

Мелясу зливають із цистерн самопливом в розташовані нижче прийомні збірники- сталеві резервуари, обсяг яких розрахований на добову роботу заводу. У збірники меляса стікає по виготовленим з листової сталі жолобах такої довжини, щоб одночасно можна було розвантажувати від 3 до 5 залізничних цистерн. З прийомних збірників мелясу кулачковим насосом перекачують в резервуари для зберігання. У холодну пору мелясу при вивантаженні підігрівають глухим паром. Змивки меляси від пропарювання цистерн і бочок при їх розвантаженні збирають окремо і негайно направляють на переробку.

Меляса на цукрових і лімонних заводах повинна зберігатися в наземних сталевих резервуарах (баках) ємністю 1000-3000 т, покритих конусоподібними кришками з бар'єром.[2].

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.3. Технологічний процес

1. Вирощування посівного матеріалу в лабораторії.

1.1 Приготування поживного середовища.

1.2 Стерилізація живильного середовища.

Проводиться в автоклаві при температурі 120°C.

1.3 Засів вихідною культурою.

Вихідна культура засівається в пробірку, потім вирощування ведуть у колбах і кюветах.

2. Приготування поживного середовища для ферментера і посівного апарату.

2.1 Зважування меляси.

2.2 Приготування поживного середовища.

Підготовка поживного середовища проходить в ферментер шляхом змішування її компонентів. Ферментер - це циліндрична ємність, виготовлена з нержавіючої сталі або з матеріалів с антикорозійним покриттям закритого типу з мішалкою і барботажним пристроєм для повітря, пара. В кришці такого змішувача завбачено декілька вводів, назначених для подачі всередину реактора компонентів середовища, води. В нижній частині ємності є відвідний патрубок, через котрий видаляється з апарата підготовлене середовища і подається в посівний апарат.

Спочатку в ферментер заливають воду, включають мішалку і обігрів: коли температура води досягне 85°C, в апарат додають всі компоненти поживного середовища. Середовище перемішують протягом 10 хвилин.

2.3 Витримування живильного середовища.

2.4 Охолодження живильного середовища Охолодження живильного середовища проводять у теплообміннику. У даному випадку встановлений кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою. У трубний простір подається живильне середовище, а в міжтрубний простір подається холодна вода.

3. Вирощування посівного матеріалу в посівному апараті

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 Стерилізація живильного середовища - ця операція проводиться в стерилізаційній установці безперервної дії. Живильне середовище надходить у нагрівальну колону (СК). Проводять стерилізацію гострою парою під надлишковим тиском пари, що гріє перед колонкою 0,5 МПа. Нагріте до 125⁰С середовище з колони безперервно надходить в витримувач (ВД). Час перебування його у колоні і у витримувачі 15 хв. Температура у витримувачі 125⁰С. Після стерилізації середовище охолоджують у теплообміннику (ТО) до 30-32⁰С.

3.2 Засів посівного апарату.

Готову культуру з колб збирають в одну ємність при дотриманні правил асептики і переносять в посівний апарат (ПА) зі стерильно охолодженим середовищем. Засів ведуть в полум'ї факелу через посівний патрубок апарату.

4. Основна ферментація.

4.1 Стерилізація живильного середовища.

4.2 Засів ферментера з посівного апарату.

Посівний матеріал з посівного апарату видавлюється стисненням повітрям і по трубопроводу надходить у ферментер. Ферментація проводиться на протязі 7 діб при температурі 32 С, проводиться аерація і піногасіння. Регулювання рН не обов'язкове, так як матеріал ферментера стійкий до кислого середовища. Стороння мікрофлора не розвивається при такій кислотності.

4.3 Підживлення свіжим середовищем.

Підживлення застосовують на другу добу ферментації, коли концентрація цукру в мелясі зменшиться. Всього проводять 2-3 підживлення через добу. Додають 25% розчин меляси.

5. Фракціонування культуральної рідини.

5.1 Збір культуральної рідини.

Після ферментації культуральна рідина перекачується в спеціальні збірники, де очікує подальшої обробки.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

5.2 Фільтрація.

З збірників культуральна рідина потрапляє в барабанний вакуум-фільтр, де відокремлюється міцелій.

5.3 Утилізація міцелію

З вакуум-фільтра міцелій потрапляє в спеціальний збірник, звідки він потім надходить на переробку або утилізується.

5.4 Збір фільтрату.

Після фільтра фільтрат надходить до збірників, звідки в подальшому надходить на переробку в цех хімічної очистки.[2].

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Обґрунтування вибору проектованої конструкції

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

- Обраний кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою має наступні переваги: зменшення температурного напруження; він може бути швидко зібраний зі стандартних елементів на місці монтажу; висока стійкість даного типу агрегатів до гідроударів, легкість заміни компенсатора у разі його несправності, можна забезпечити ефективну очистку поверхонь теплообміну. Тому було обрано саме такий теплообмінник [6].

3.1 Конструкція та принцип дії виробу

В нашому випадку доцільно обрати кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою, який представляє собою корпус з привареними до нього трубними решітками в яких закріплений пучок труб та перегородками, що розділяють міжтрубний простір на секції, до трубних решіток на болтах та прокладках кріпиться кришка.

Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою (рисунок 3.1.1) складається з розподільної камери 1, в яку поступає розчин, корпусу 2. Для входу розчину приєднуються штуцери 3, 9, які слугують для подачі та відводу розчину. До корпусу, за допомогою зварного з'єднання, приварені трубні решітки та перегородки 4, 6. Для підводу та відводу теплоносія передбачені штуцера 5, 11. Принцип роботи такого теплообмінника наступний: речовина, яку потрібно охолодити або нагріти тече в трубному просторі, теплоносієм, який охолоджує або нагріває речовину, яка тече в трубному просторі, подається в міжтрубний простір [7].

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Патентний пошук

Визначення патентної ситуації щодо теплообмінника

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № БІ-6110

Найменування теми Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою
головкою Етап Проектування апарату та його складових частин
Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень БІ-6110. 01.12.2019
Обґрунтування регламенту пошуку: Предмет пошуку – Кожухотрубний
теплообмінник з плаваючою головкою. (Об'єктом пошуку є винаходи й
корисні моделі). Мета пошуку інформації – визначення патентної ситуації
щодо Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою (визначення
патентоспроможності проектного апарату й визначення тенденцій розвитку
даного напрямку в техніці).

Визначення держав пошуку. Установлюємо такі держави пошуку: Україна,
Російська Федерація.

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, тому
регламент пошуку встановлюємо такий: 2000 – 2019 рр.

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: МПК2006 –
F28D 7/10; B29L 31/18; B21C 37/22.

Джерела інформації. Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи
винаходів і корисних моделей.

Початок пошуку 01.12.2019 Закінчення пошуку 05.12.19

					<i>БІ-6110.703312.00 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті проведених патентних досліджень встановлено:

- 1) пропонований апарат і його складові частини не відповідають умовам патентоспроможності винаходу (корисної моделі) оскільки:
 - а) усі суттєві ознаки найближчого аналога (за винятком декількох) використано в проектованому апараті, що спростило конструкцію останнього, проте знизило його технологічні можливості; згідно із Законом України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» конструкція проектованого теплообмінника не відповідає критерію «винахідницький рівень»;
 - б) усі суттєві ознаки проектованого теплообмінника ідентичні суттєвим ознакам найближчого аналога; згідно із Законом України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» ознаки проектованого теплообмінника не відповідають критерію «новизна»;
- 2) останнім часом винахідницька активність промислово розвинених країн у галузі апаратобудування залишається стабільною й навіть трохи зростає.
- 3) аналіз патентів дає змогу зробити висновок, що в галузі апаратобудування основні розробки спрямовано на патентування нових конструкцій теплообмінних пристроїв.

4. Технічна характеристика теплообмінника

В апараті охолоджується живильне середовище, що подається в трубний простір, від початкової температури $t_1=125^{\circ}\text{C}$ до кінцевої температури $t_2=60^{\circ}\text{C}$ теплоносієм, який подається в міжтрубний простір, з температурою $t_n=20^{\circ}\text{C}$

1. Продуктивність теплообмінника –	10кг/с
2. Площа поверхні теплообміну –	100м^2
3. Тиск:	
в трубному просторі –	$0,3\text{МПа}$
в міжтрубному просторі –	$0,4\text{МПа}$
4. Швидкість руху:	
в трубному просторі –	$0,232\text{м/с}$
в міжтрубному просторі –	$0,867\text{м/с}$
5. Середовище:	
в трубному просторі –	<i>живильне середовище</i>
в міжтрубному просторі –	<i>вода</i>
6. Габаритні розміри:	
висота –	1000мм
довжина –	6550мм
ширина –	900мм
7. Маса теплообмінника –	4060кг

5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

Вихідні дані:

продуктивність апарата $G=10\text{ кг/с}$

температура продукту на вході в апарат $t_1=125^\circ\text{C}$

температура продукту на виході з апарату $t_2=60^\circ\text{C}$

температура холодної води на вході $t_{\text{п}}=20^\circ\text{C}$

температура холодної води на виході $t_{\text{к}} = 28^\circ\text{C}$

5.1.1 Визначення теплового навантаження апарата

Теплове навантаження теплообмінника визначається за наступною формулою [7]:

$$Q = G \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) = 10 \cdot 4000 \cdot (125 - 60) = 2600 \text{ кВт}.$$

$$G_{\text{в}} = \frac{Q}{c_{\text{в}}(t_{\text{к}} - t_{\text{п}})} = 77,75 \text{ м/с}$$

5.1.2 Визначення коефіцієнта теплопередачі

Для визначення коефіцієнта теплопередачі k необхідно розрахувати коефіцієнти тепловіддачі від живильного середовища до стінки та від стінки до води.

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[10] . На рисунку 5.1.2.1 представлений графік руху теплоносіїв.

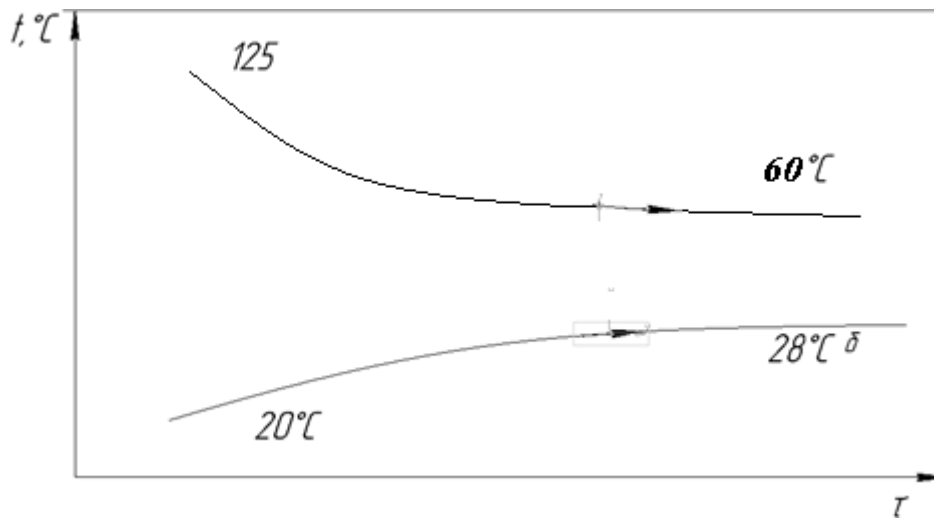


Рисунок 5.1.2.1 – Графік руху теплоносіїв: охолодження живильного середовища водою.

Різниці температур виходячи з руху теплоносіїв, визначаються за формулами[10] :

$$\Delta t_{\delta} = t_{\text{КР}} - t_{\text{В1}} = 125 - 20 = 105^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{М}} = t_{\text{КР}} - t_{\text{В2}} = 60 - 28 = 32^{\circ}\text{C}$$

Так як відношення Δt_{δ} до $\Delta t_{\text{М}}$ більше двох:

$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{М}}} = \frac{105}{32} = 3,28 > 2,$$

то використовуємо середню логарифмічну різницю температур.

Середня логарифмічна різниця температур обчислюється за формулою:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{М}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{М}}}} = \frac{105 - 32}{\ln \frac{105}{32}} = 61,4^{\circ}\text{C}.$$

Знаходимо середню температуру продукту:

$$t_{\text{cp}} = t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{cp}} = 125 - 61,4 = 63,6^{\circ}\text{C}.$$

Зовнішній діаметр та товщина стінки труби:

$$d_{\text{вн}}^3 = 25 \times 2 \text{ мм.}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_{\text{вн}}^6 = 25 - 2 \cdot 2 = 21 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу внутрішньої труби визначається за формулою:

$$f_{\text{вн}} = \pi \cdot \frac{(d_{\text{вн}}^6)^2}{4} \cdot z = 3,14 \cdot \frac{(21 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 125 = 0,043 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху живильного середовища в трубному просторі визначається за формулою:

$$w_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в}}}{f_{\text{вн}}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,049} = 0,232 \text{ м / с.}$$

Для подальших розрахунків беремо фізичні властивості живильного середовища з джерела [6].

$$\lambda_1 = 0,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$C_1 = 4000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$\rho_1 = 1060 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\mu_1 = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критерій Рейнольдса для живильного середовища в трубному просторі визначається за формулою:

$$\text{Re} = \frac{1060 \cdot w_{\text{в}} \cdot d_{\text{вн}}^6}{\mu_1} = \frac{1060 \cdot 0,232 \cdot 21 \cdot 10^{-3}}{1,55 \cdot 10^{-3}} = 3,33 \cdot 10^3$$

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Критерій Прандтля для живильного середовища, що охолоджується визначається за формулою:

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 \cdot c_1}{\lambda_1} = \frac{1.55 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^3}{0,6} = 10.3$$

Так як $Re > 10000$, то режим руху рідини в трубному просторі є турбулентним. Тоді критерій Нусельта буде обчислюватись за формулою:

$$Nu = 8 \cdot Pr^{0,43} = 8 \cdot 10,3^{0,43} = 21.8.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до продукту визначається за формулою:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{cp}}{d_{\text{вн}}^e} = \frac{21.8 \cdot 0,6}{21 \cdot 10^{-3}} = 623 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Робимо аналогічні розрахунки для холодної води

Площа поперечного перерізу внутрішньої труби визначається за формулою:

$$f_{\text{вн}} = D \cdot (1 - d_H / t) \cdot Ln = 0.6 \cdot (1 - 0.025 / 0.05) \cdot 1.3 = 0.09 м^2.$$

Витрата холодної води

$$V_B = \frac{G_B}{\rho_B} = \frac{77.75}{996} = 0.078 \frac{м^3}{с}$$

Швидкість руху холодної води в міжтрубному просторі визначається за формулою:

$$w_6 = \frac{V_6}{f_{\text{зм}}} = \frac{0,078}{0.09} = 0.867 м / с.$$

Критерій Рейнольдса для води в міжтрубному просторі визначається за формулою:

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re_2 = \frac{w_6 \cdot d_{36H}^6}{\mu_6} = \frac{0,807 \cdot 0,025 \cdot 21}{0,9 \cdot 10^{-6}} = 2,4 \cdot 10^4 > 1 \cdot 10^3$$

Критерій Прандтля для води, що охолоджує визначається за формулою:

$$Pr = \frac{v_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2}{\lambda_2} = \frac{0,63 \cdot 10^{-6} \cdot 4180 \cdot 990,7}{0,68} = 3,84.$$

$$Pr = \frac{v_{cm_2} \cdot c_{cm_2} \cdot \rho_{cm_2}}{\lambda_{cm_2}} = \frac{0,42 \cdot 10^{-6} \cdot 4190 \cdot 978,4}{0,665} = 2,6.$$

Так як $Re > 10000$, то режим руху води в міжтрубному просторі є турбулентним. Тоді критерій Нусельта буде обчислюватись за формулою:

$$Nu_2 = 0,21 \cdot Re_2^{0,65} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{cm_2}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon \varphi = 0,021 \cdot 24000^{0,65} \cdot 3,84^{0,36} \cdot \left(\frac{3,84}{2,6} \right)^{0,25} \cdot 1 = 264,28.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до продукту визначається за формулою:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_6}{d_{36H}^6} = \frac{264,28 \cdot 0,68}{25} = 7188,4 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої чистої поверхні визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_1} + \frac{\delta}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{623} + \frac{1}{2 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{40} + \frac{1}{2 \cdot 10^3} + \frac{1}{7188,4}} = 357,88 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

де $\delta = 2 мм$ – товщина стінки внутрішньої труби теплообмінника.

$r_1 = 2 \cdot 10^3 \frac{м^2 К}{Вт}$ – термічний опір забруднення з боку води

$r_2 = 2 \cdot 10^3 \frac{м^2 К}{Вт}$ – термічний опір забруднення з боку ж. с.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.3 Визначення поверхні теплообміну

Попередню площу теплообміну визначаємо за формулою [1]:

$$F' = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2600 \cdot 10^3}{357.88 \cdot 61.4} = 118,32 \text{ м}^2.$$

Так як похибка між розрахованою та реальною площею теплообміну менша 30%:

$$\Delta = \frac{F' - F}{F} = \frac{118.32 - 100}{100} \cdot 100\% \approx 18.32\% < 30\%,$$

тоді остаточно прийнята площа теплообміну (зі стандартного ряду) буде дорівнювати: $F = 100 \text{ м}^2$.

5.2 Гідравлічний розрахунок теплообмінника

Гідравлічний розрахунок теплообмінника проводиться для визначення потужності N необхідної для переміщення теплоносія через апарат [10].

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; $\Delta p_{тр}$ – втрати тиску на подолання сил тертя; $\Delta p_{мс}$ – 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:

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p_{ск} = \frac{w_{\text{с}}^2 \cdot \rho_{см}}{2} = \frac{(1,33)^2 \cdot 990,7}{2} = 876,2 \text{ Па}.$$

Втрати тиску на подолання сил тертя обчислюють за формулою:

$$\Delta p_{тр} = \Delta p_{np} + \Delta p_{кр} = \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{с}}} \cdot \Delta p_{ск} \cdot (1 + \psi) = 0,37 \cdot \frac{147}{98 \cdot 10^{-3}} \cdot 876,2 \cdot (1 + 2,77) = 111 \text{ кПа},$$

де L – загальна довжина теплообмінної труби, м;

$d_{\text{с}}$ – внутрішній діаметр теплообмінної труби, м;

ψ – поправочний коефіцієнт, який обчислюється за формулою:

$$\psi = 1 + 3,54 \frac{d_{\text{с}}^{\text{сн}}}{R} = 1 + 3,54 \frac{98 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-3}} = 2,73,$$

де R – радіус труби, м;

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

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \lg \left[\frac{e}{3,7 \cdot d_{\text{сн}}} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]} \right)^2 = \left(\frac{1}{-2 \cdot \lg \left[\frac{0,2}{3,7 \cdot 98 \cdot 10^{-3}} + \left(\frac{6,81}{206889} \right)^{0,9} \right]} \right)^2 = 0,37,$$

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

Втрати тиску на подолання місцевих опорів обчислюють за формулою:

$$\Delta p_{\text{мс}} = \sum \xi \cdot \Delta p_{ск} = 42,5 \cdot 876,2 = 37,2 \text{ кПа},$$

де $\sum \xi = 5 + 2,5(z-1) = 5 + 2,5 \cdot 15 = 42,5$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Повний гідравлічний опір розраховуємо за формулою:

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p = \Delta p_{ск} + \Delta p_{тр} + \Delta p_{мс} = 0,876 + 111 + 37,2 = 149,1 \text{ кПа.}$$

Потужність, яка необхідна для переміщення живильного середовища по теплообмінним трубам обчислюють за формулою:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{10 \cdot 149,1}{990,7 \cdot 0,8} = 1881 \text{ Вт,}$$

де η – ККД насоса, приймаємо $\eta = 0,8$ [24].

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

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Конструктивний розрахунок теплообмінника

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

Діаметр внутрішньої теплообмінної труби визначаємо за формулою:

$$d_{\text{вн}}^6 = \sqrt{\frac{G}{0,785 \rho_6 \omega_6}} = \sqrt{\frac{10}{0,785 \cdot 990,7 \cdot 1,33}} = 0,020 \text{ м.}$$

Приймаємо за ГОСТ 9930-61 теплообмінну трубу з зовнішнім діаметром $d_{\text{зв}}^6 = 25 \text{ мм.}$

Уточнюємо швидкість руху води в трубному просторі:

$$\omega_6 = \frac{G}{0,785 \rho_6 d_{\text{зв}}^6{}^2} = \frac{10}{0,785 \cdot 990,7 \cdot 0,025^2} = 1,33 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Внутрішній діаметр:

$$d_{\text{вн}}^3 = \sqrt{\frac{D}{\rho_{\text{ст}} \omega_n}} + d_{\text{зв}}^6{}^2 = \sqrt{\frac{1,05}{960,1 \cdot 10}} + 0,25^2 = 0,198 \text{ м.}$$

Приймаємо за ГОСТ 9930-61 теплообмінну трубу з зовнішнім діаметром $d_{\text{зв}}^3 = 25 \text{ мм.}$

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

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

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

Даний розрахунок включає в себе розрахунок фланцевого з'єднання.

Вихідні дані:

Тиск:

в трубному просторі –

$$P_{тр} = 0,3 \text{ МПа}$$

в міжтрубному просторі –

$$P_{мжс} = 0,4 \text{ МПа}$$

Діаметр теплообмінної труби –

$$d_{зг}^6 = 25 \text{ мм}$$

Товщина теплообмінної труби –

$$S_m = 2 \text{ мм}$$

Площа поперечного перерізу:

трубного простору –

$$f_{вн} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

міжтрубного простору –

$$f_{вн} = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Кількість елементів теплообмінних –

$$z = 256$$

Довжина елемента теплообмінного –

$$l = 6 \text{ м}$$

5.4.1 Розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінної труби

Для з'єднання теплообмінної труби з коліном вибираємо плоский приварний фланець з гладкою ущільнювальною поверхнею [6] (рисунок 5.4.1.1). 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°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Перевагою фланців з гладкою ущільнювальною поверхнею є простота конструкції (технологічність виготовлення). Для ущільнення фланцевого з'єднання використовуємо паронітову прокладку, яка забезпечує герметичність при тиску $P \leq 2,5\text{МПа}$ та температурі $-200^{\circ}\text{C} \leq t \leq 400^{\circ}\text{C}$.

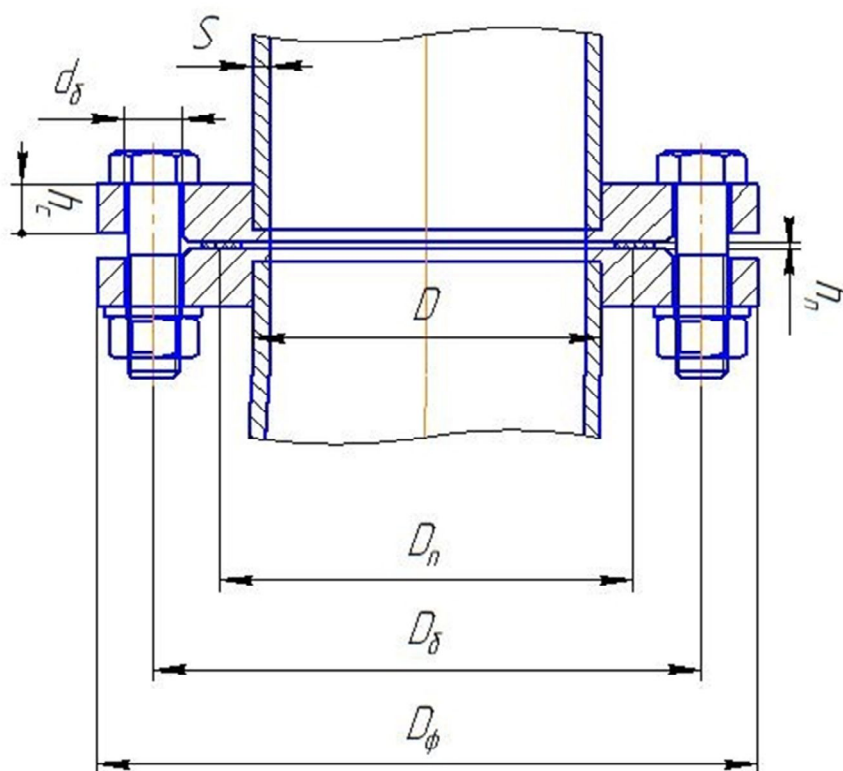


Рисунок 5.4.1.1 – Фланцеве з'єднання з плоскими приварними фланцями

Проведемо конструктивний розрахунок фланця.

Діаметр болтової окружності [13]:

$$D'_o \geq d_{\text{вн}}^3 + 2 \cdot (2 \cdot S_m + d_o + u) = 0,108 + 2 \cdot (2 \cdot 0,004 + 0,018 + 0,002) = 0,164 \text{ м},$$

де $d_o = 0,018 \text{ м}$ – діаметр болтів;

$d_{\text{вн}}^3 = 0,108 \text{ м}$ – зовнішній діаметр теплообмінної труби;

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

Приймаємо діаметр болтової окружності [13]:

$$D_o = 170 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр фланця обчислюється за формулою:

$$D'_\phi \geq D_o + a = 0,17 + 0,03 = 0,2 \text{ м},$$

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

Приймаємо діаметр фланця, згідно [8]:

$$D_\phi = 205 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр прокладки для плоского фланця:

$$D_{\text{з.п.}} = D_o - e = 0,17 - 0,03 = 0,14 \text{ м},$$

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

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{с.п.}} = D_{\text{з.п.}} - b = 0,14 - 0,012 = 0,128 \text{ м},$$

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

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 [29]:

$$n_{\sigma} \geq \frac{\pi D_{\sigma}}{t_k} = \frac{3,14 \cdot 0,17}{0,14} = 3,8,$$

де $t_k = 7,8d_{\sigma} = 7,8 \cdot 0,018 = 0,14\text{ м}$ – рекомендований крок розташування болтів, для апаратів, що працюють під робочим тиском в межах $p_p = 0,3 - 0,6\text{ МПа}$.

Приймаємо кількість болтів $n_{\sigma} = 4$, що кратна чотирьом.

Висота фланця:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \sqrt{d_{\text{вн}}^3 \cdot S_{\text{ек}}} = 0,4 \sqrt{0,108 \cdot 0,004} = 0,08\text{ м},$$

де λ_{ϕ} – 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.

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

Розрахункова довжина болта:

$$l_{\sigma.p.} = l_{\sigma.o.} + 0,28d_{\sigma} = 0,034 + 0,28 \cdot 0,018 = 0,039\text{ м},$$

де $l_{\sigma.o.} = 2(h_{\phi} + h_n) = 2(0,015 + 0,002) = 0,034\text{ м}$ – відстань між опорними

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

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$D_y = 100мм; D_n = 110мм; D_{\phi} = 205мм; D_{\sigma} = 170мм; D_n = 140мм;$ болти $M16$, кількість болтів $z = 4шт; h_{\phi} = 15мм; h_n = 2мм$.

Рівнодіюча внутрішнього тиску обчислюється за формулою:

$$F_D = \frac{P_{mp} \cdot \pi \cdot D_n^2}{4} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (140 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 4,6 кН.$$

Реакція прокладки обчислюється за формулою:

$$R_{II} = \pi \cdot D \cdot k_{np} \cdot b_o \cdot P = 3,14 \cdot 110 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,042 \cdot 0,3 \cdot 10^6 = 12 кН,$$

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

$b = 12мм$ – ширина прокладки;

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

Піддатливість прокладки обчислюється за формулою:

$$y_{II} = \frac{k_{II} \cdot h_{II}}{E_{II} \cdot \pi \cdot D_{II} \cdot b} = \frac{0,09 \cdot 0,002}{2000 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 140 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 0,0092 м / ГН,$$

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

$E_{II} = 2000 МПа$ – модуль Юнга для паронітової прокладки [12].

Піддатливість болтів обчислюється за формулою:

$$y_B = \frac{l_B}{E_B \cdot f_B \cdot z} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{1,87 \cdot 10^{11} \cdot 254,34 \cdot 10^{-6} \cdot 4} = 0,315 м / ГН,$$

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

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

$f_B = 254,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа поперечного перерізу болта.

Піддатливість фланців обчислюється за формулою:

$$y_{\phi} = \frac{(1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})) \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}} = \frac{(1 - 0,07 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,436)) \cdot 3,3}{(0,015)^3 \cdot 1,89 \cdot 10^{11}} = 937,31 / \text{МПа},$$

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

ν, ψ_2, ψ_1 – конструктивні коефіцієнти, які визначаються з формул:

$$\psi_2 = \frac{D_{\phi} + D}{D_{\phi} - D} = \frac{205 + 110}{205 - 110} = 3,3,$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,92 \cdot \lambda_{\phi} \cdot \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_{\phi}^2}{s_m^2}\right)} = \frac{1}{1 + 0,92 \cdot 0,436 \cdot \left(1 + \frac{0,79 \cdot (0,015)^2}{(0,005)^2}\right)} = 0,07,$$

$$\psi_1 = 1,28 \ln \frac{D_{\phi}}{D} = 1,28 \cdot \ln \frac{205}{110} = 0,79.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання обчислюється за формулою:

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

$$= \frac{0,315 \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 937,3 \cdot 10^{-9} \cdot (170 - 110 - 5) \cdot (170 - 140) \cdot 10^{-6}}{(0,0092 + 0,315) \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 937,3 \cdot 10^{-9} \cdot (170 - 140)^2 \cdot 10^{-6}} = 1,23.$$

Зусилля від температурних деформацій обчислюється за формулою:

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БІ-61.10.703312.00 ПЗ				

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

$$= \frac{0,315 \cdot 10^{-9} \cdot 4 \cdot 254,34 \cdot 10^{-6} \cdot 1,87 \cdot 10^{11} \cdot (17 \cdot 10^{-6} \cdot 75,84 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 63,99)}{(0,0092 + 0,315) \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 937,3 \cdot 10^{-9} \cdot (170 - 140)^2 \cdot 10^{-6}} = 0,09 \text{ MN}.$$

де $\alpha_\phi = 17,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ – 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:

$$F_{B1} = \max \left[k_{\text{ж}} \cdot F_d + R_\Pi; \pi \cdot D_\Pi \cdot b_0 \cdot q; 0,4 \cdot [\sigma]_B^{20} \cdot n_B \cdot f_B \right] =$$

$$= \max [1,23 \cdot 4,6 \cdot 10^3 + 12 \cdot 10^3 = 17,65 \text{ кН};$$

$$3,14 \cdot 140 \cdot 10^{-3} \cdot 0,54 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^6 = 5,26 \text{ кН};$$

$$0,4 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 254,34 \cdot 10^{-6} = 56,9 \text{ кН}] = 56,9 \text{ кН},$$

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

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

Зусилля в болтах в робочих умовах обчислюється за формулою:

$$F_{B2} = F_{B1} + (1 - k_{\text{ж}}) \cdot F_d + F_t = 56,9 \cdot 10^3 + (1 - 1,23) \cdot 4,6 \cdot 10^3 + 90 \cdot 10^3 = 146 \text{ кН}.$$

Приведений вигинаючий момент обчислюється за формулою:

$$M_0 = 0,5 \cdot (D_B - D_\Pi) F_{B1} = 0,5 \cdot (0,17 - 0,14) \cdot 56,9 \cdot 10^3 = 0,85 \text{ кНм}.$$

Умова міцності болтів при монтажу обчислюється за формулою:

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{F_{B1}}{n_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^{20} \Rightarrow \frac{56,9 \cdot 10^3}{4 \cdot 254,34 \cdot 10^{-6}} = 55,9 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа},$$

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

Умова міцності болтів робочих умовах обчислюється за формулою [13]:

$$\frac{F_{B2}}{n_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^{20} \Rightarrow \frac{146 \cdot 10^3}{4 \cdot 254,34 \cdot 10^{-6}} = 136 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа}.$$

Умова міцності прокладки обчислюється за формулою:

$$\frac{F_{Bmax}}{\pi \cdot D_{II} \cdot b} \leq [P]_{II} \Rightarrow \frac{146 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 140 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 27,7 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа},$$

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

$F_{Bmax} = \max\{F_{B1}, F_{B2}\} = 146 \text{ кН}$ – найбільше зусилля в болтах.

Радіальне напруження в перерізі s обчислюється за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{T_\phi \cdot M_o \cdot \nu}{D(s_m - c)^2} = \frac{0,79 \cdot 0,85 \cdot 10^3 \cdot 0,07}{0,110 \cdot (0,005 - 0,002)^2} = 502 \text{ МПа},$$

де T_ϕ – конструктивний коефіцієнт, який визначається по формулі:

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

$$= \frac{(0,205)^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{0,205}{0,110}\right) - (0,110)^2}{\left(1,05 \cdot (0,110)^2 + 1,945 \cdot (0,205)^2\right) \cdot \left(\frac{0,205}{0,110} - 1\right)} = 0,79.$$

Напруження у втулці від внутрішнього тиску обчислюється за формулою:

$$\sigma_t = \frac{P_{np} \cdot D}{2(s_m - c)} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,110}{2(0,054 - 0,002)} = 10,1 \text{ МПа},$$

$$\sigma_m = \frac{P_{np} \cdot D}{4(s_m - c)} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,110}{4(0,005 - 0,002)} = 5,05 \text{ МПа}.$$

Умова міцності для перерізу s обчислюється за формулою:

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

$$\Rightarrow \sqrt{(502 + 5,05)^2 + 10,1^2} - (502 + 5,05) \cdot 10,1 = 502,1 \text{ МПа} < 567 \text{ МПа},$$

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:

$$\Theta = \frac{\sigma_K \cdot D}{E_\phi \cdot h_\phi} \leq [\Theta] \Rightarrow \frac{48 \cdot 10^6 \cdot 0,110}{1,89 \cdot 10^{11} \cdot 0,015} = 0,0013 < 0,009,$$

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

5.5. Розрахунок еліптичного днища

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр обичайки D , м	0,8;
Висота стовпа рідини H_p , м	6.78;
Робочий тиск в P , МПа	0,45;
Тиск стерилізації P_{CT} , МПа	0,3;
Температура t_{KP} , °C	20;
Матеріал днища – Сталь 12Х18Н10Т.	

На днище (рисунок 5.5.1.) , крім внутрішнього тиску діє гідростатичний тиск стовпа рідини.

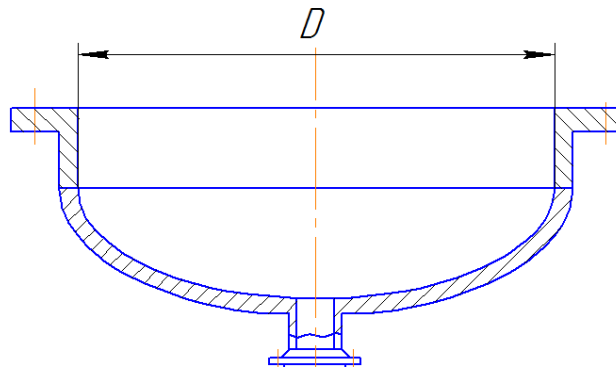


Рисунок 5.3.1. Еліптичне днище

Розрахуємо гідростатичний тиск на днище [6]:

$$P_z = \rho \cdot g \cdot H_p = 1065 \cdot 9.81 \cdot 6.78 = 0.46 \text{ МПа}$$

Перевіряємо умову

$$\frac{P_z}{P} = \frac{0.46}{0.45} = 102.2\% > 5\%$$

В режимі роботи розрахунковий тиск дорівнює

$$P'_R = 0.45 \text{ МПа.}$$

Визначимо розрахункову товщину кришки

$$S_R = \frac{P_R}{4 \cdot [\sigma] - P_R} \cdot \frac{D}{2 \cdot H_D} = \frac{0.45 \cdot 3.6}{4 \cdot 182.3 - 0.45} \cdot \frac{3.6}{2 \cdot 0.9} = 4.4 \text{ мм.}$$

де H_D – внутрішня висота опуклої частини кришки

$$H_D = \frac{D}{4} = \frac{3.6}{4} = 0.9 \text{ м.}$$

Визначимо виконавчу товщину стінки днища [13]:

$$S = S_R + c$$

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4$$

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0.05 \cdot 30 = 1.5$$

$$c_2 + c_3 = 1 \text{ мм.}$$

$$S' = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = 4.4 + 1.5 + 1 = 6.9 \text{ мм.}$$

Оскільки для економії затрат на виготовлення днища і легкості монтажу, ми обираємо стандартне днище такої ж товщини стінки як обичайка $S = 10 \text{ мм.}$

З цього слідує, що прибавка c_4 дорівнює

$$C_4 = S - S' = 10 - 6.9 = 3.1$$

$$S - c = 10 - 3.6 = 6.9 \text{ мм}$$

Визначаємо допустимий тиск в днищі [13]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot 0.9 \cdot 6.9}{3600 + 6.9} = 0.62 \text{ МПа.}$$

Де $\varphi = 0.9$ - приймаємо [6].

Перевіряємо умову міцності днища: $P_R \leq [P] \quad 0.45 \text{ МПа} \leq 0.62 \text{ МПа.}$

Умова міцності виконується, отже міцність еліптичного днища для забезпечена.

5.6. Розрахунок товщини стінки теплообмінника

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр апарату D_p , м 0,6м;

Тиск в апараті P_{pp} , МПа 0,2;

Матеріал стінки – Сталь 12Х18Н10Т.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_{pp} > \frac{P_{pp} \cdot D_{руб}}{2 \cdot [\sigma] - P_{pp}} = \frac{0.2 \cdot 3800}{2 \cdot 1 \cdot 182.3 - 0.2} = 2.0 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина:

$$S_p = S_{pp} + c_1 + c_2 + c_3 = 2 + 1.5 + 1 = 4.5 \text{ мм.}$$

Де c_1 прибавка на корозію $c_1 = \Pi \cdot \tau = 0.05 \cdot 30 = 1.5$

Приймаємо $c_2 + c_3 = 1 \text{ мм.}$

Приймаємо товщину стінки рубашки $S_p = 6 \text{ мм.}$

З цього слідує, що прибавка C_4 дорівнює

$$C_4 = S - S_p = 6 - 4.5 = 1.5 \text{ мм.}$$

$$S - c = 0.0045 \text{ м.}$$

Допустимий внутрішній тиск на обичайку:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S_p - c_p)}{D_{руб} + S_p - c_p} = \frac{2 \cdot 182.3 \cdot 1 \cdot 4.5}{3800 + 4.5} = 0.43 \text{ МПа.}$$

$P_{pp} < [P]_p \rightarrow 0.2 \text{ МПа} < 0.43 \text{ МПа.}$, умова виконується.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

6.Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації теплообмінника

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 монтажно-складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій зборки:

1. Установка металоконструкцій – опор апарата;
2. Установка корпусу апарата на металоконструкцію;
3. Установка кришки та розподільчу камеру;
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);

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

12. Здача установки в експлуатацію.

6.2. Підготовка до роботи, технічне обслуговування

Посудини, на які поширюються "Правила по безпечній експлуатації судин, що працюють під тиском" до пуску в роботу повинні бути зареєстровані в органах технічного нагляду. Пуск, обладнання (зупинку) і випробування на щільність апаратів, установлених поза приміщеннями взимку проводять відповідно до вимог "Регламенту проведення пуску в зимовий час". До самостійної роботи з обслуговування апаратів допускаються робітники не молодше 18-літнього віку, що пройшли виробниче навчання, атестацію кваліфікаційної комісії, інструктаж з безпечного обслуговування судин. Завантаження апарата продуктом, включення і відключення пару чи рідини, що охолоджує, ведення технологічного процесу, початок і кінець перемішування, вивантаження продукту роблять згідно технологічного регламенту, розробленого на підприємстві.

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 .

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

При наявності несправності апарат необхідно зупинити процес,
встановити причину несправності і усунути її. Ремонт апарата і його елементів
під час роботи не допускається.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Даний курсовий 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 лимонної кислоти є поширеною і актуальною. Під час виконання проекту був спроектований кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою який використовується для охолодження живильного середовища після стерилізації. Даний теплообмінник має наступні переваги: зменшення температурного напруження; він може бути швидко зібраний зі стандартних елементів на місці монтажу; висока стійкість даного типу агрегатів до гідроударів, легкість заміни компенсатора у разі його несправності, можна забезпечити ефективну очистку поверхонь теплообміну. Для підтвердження працездатності та надійності конструкції апарату були проведені: тепловий та конструктивний розрахунки. Всі розрахунки підтвердили надійність і стабільність конструкції даного апарату.

В ході курсового проекту був проведений патентний пошук як в Україні, так і за її межами. Була знайдена велика кількість патентів в Україні та Росії, які на даний момент діють і використовуються в промисловості. В конструкції відсутні елементи захищені сторонніми охоронними документами інших держав.

					БІ-61.10.703312.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Список використаної літератури

1. Бекер М. Е. Введение в биотехнологию / М.: «Пищевая промышленность», 1978 – 234с.
2. Карклиныш Р. Я., Пробок А. К. Биосинтез органических кислот / Рига: «Зинатне», 1972 – 244с
3. Быков В.А., Крылов, Манакон М.Н., Марквичев Н.С., Орлова Л.М., Биотехнология: Учеб. пособие. Микробиологическое производство биологически активных веществ и препаратов. - М.: Высш. шк., 1988. - 208 с.
4. Смирнов В.А. Пищевые кислоты (лимонная, молочная, винная) / М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1983 – 264с.
5. Авчиева П. В. Направленный биосинтез лимонной кислоты при периодической и непрерывной ферментации гриба *Aspergillus niger* / М.: «ГосНИИсинтезбелок», 2011 – 191с.
6. Грачева И.М., Гаврилова Н.Н., Иванова Л.А.. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и жиров . – 1980 - 448 с.
7. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни. Навч. посібник. І.А. Андреев, О.Г. Зубрій, І.О. Мікульонюк – К.: ІЗМН, 1999. -148 с.
8. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Учебное пособие для студентов вузов/ И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. - 384 с.
9. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с.
10. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/ Под ред.. П.Г. Романкова. – 10-е изд. перераб. и доп. – Л.: Химия,

					<i>БІ-61.10.703312.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

1987. – 576с.

11. Микробиология: О.Д. Сидоренко, Е.Г. Борисенко, А.А. Ванькова, Л.И. Войно – Санкт-Петербург: Инфра-М, 2010 г. – 287 с.
12. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учебное пособие для вузов/М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобин; Под общ. ред. М.Ф. Михалева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984. – 301
13. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
14. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.

					<i>БІ-61.10.703312.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51