

Пояснювальна записка до дипломного проекту
на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою
теплообмінника типу труба в трубі»

Київ – 2021р.

**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

_____ В.М. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Захарчуку Єлисею Ігоровичу

1. Тема проекту: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою теплообмінника типу труба в трубі», керівник проекту Остапенко Жанна Ігорівна., затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2021 р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту: масова витрата робочого середовища

$G_1 = 3600$ кг/год; концентрація ітаконової кислоти в розчині: $x = 44\%$ (мас.);

температура робочого середовища: початкова - $t'_1 = 100^\circ\text{C}$, кінцева - $t''_1 = 36^\circ\text{C}$;

температура охолоджуючої води: початкова - $t'_2 = 20^\circ\text{C}$, кінцева - $t''_1 = 24^\circ\text{C}$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: опис технологічного процесу, призначення та область використання теплообмінника, технічна характеристика, обґрунтування вибору обраної конструкції, розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції, рекомендації з монтажу та експлуатації, рекомендації з охорони праці, патентний пошук, висновки, перелік посилань на літературу, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу: апаратурно-технологічна схема лінії виробництва ітаконової кислоти (А1); Складальні креслення: Теплообмінник типу труба в трубі (А1); Теплообмінний елемент (А2); Коліно (А3); Калач (А3); Опора (А2); Фланець (А3); Штуцер (А3).

6. Дата видачі завдання «___» _____2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Опис технологічного процесу виробництва ітаконоіої кислоти	16.02.21- 29.02.21	
2	Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва ітаконоіої кислоти	18.02.21- 04.02.21	
3	Опис та обґрунтування обраної конструкції	19.02.21- 02.02.21	
4	Патентний пошук	20.02.21- 01.02.21	
5	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	25.02.21- 03.02.21	
6	Рекомендації з охорони праці; рекомендації з монтажу та експлуатації.	28.02.21- 06.02.21	
7	Складальне креслення теплообмінника типу труба в трубі.	30.02.21 - 7.02.21	
8	Оформлення ПЗ	01.02.21- 10.02.21	

Студент

(підпис)

Захарчук Є.І.

Керівник проекту

(підпис)

Остапенко Ж.І.

Реферат

Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою теплообмінника типу труба в трубі/ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; керівник ас. Остапенко Ж.І., виконавець Захарчук Є.І.

Обсяг роботи становить 56 сторінок пояснювальної записки, та перелік посилань з 23 найменувань. Графічна частина становить 4 аркуші креслень у перерахунку формату А1.

Мета проєкту – проєктування теплообмінного обладнання, яке охолоджує середовище для проведення подальших технологічних операцій.

В дипломному проєкті були розглянуті такі питання: актуальність, технічного процесу виготовлення ітаконової кислоти, область застосування теплообмінника його технічна характеристика, опис та розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції.

В дипломному проєкті представлена апаратурно–технологічна схема лінії виробництва ітаконової кислоти. Розроблені креслення: Теплообмінника типу «труба в трубі» та його деталювання.

Ключові слова: теплообмінник, апаратурна схема виробництва ітаконової кислоти, лінія виробництва.

Abstract

Diploma project for the degree of "bachelor" on the topic: "Production line of itaconic acid with the development of a heat exchanger such as a pipe in a pipe / NTUU" KPI. Igor Sikorsky "; head Ostapenko J.I., performer Zakharchuk E.I.

The volume of the work is 56 pages of an explanatory note, and a list of references from 23 titles. The graphic part is 4 sheets of drawings in terms of A1 format.

The purpose of the project is to design heat exchange equipment that cools the environment for further technological operations.

The diploma project addressed the following issues: relevance, technical process of manufacturing itaconic acid, the scope of the heat exchanger, its technical characteristics, description and calculations that confirm the efficiency and reliability of the structure.

The diploma project presents the hardware-technological scheme of the itaconic acid production line. Developed drawings: Heat exchanger type "pipe in a pipe" and its detailing.

Key words: heat exchanger, equipment scheme of itaconic acid production, production line.

Зміст

Перелік умовних позначень та скорочень	9
Вступ	12
1 Призначення та область застосування теплообмінників типу «труба в трубі»	13
2 Опис технологічного процесу виробництва ітаконової кислоти	14
2.1 Приготування поживних середовищ для глибинного культивування	14
2.2 Виробниче культивування. Заповнення ферментера	15
2.3 Аерація і ферментація	15
2.4 Підливання мелясного середовища	16
2.5 Завершення культивування	16
2.6 Виділення ітаконової кислоти	16
3 Обґрунтування обраної конструкції	18
3.1 Конструкція та принцип дії виробу	18
3.2 Вибір матеріалів для виготовлення	19
4 Технічна характеристика теплообмінника	21
5 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції	22
5.1 Тепловий розрахунок теплообмінника	22
5.2 Конструктивний розрахунок теплообмінника	25
5.3 Гідравлічний розрахунок теплообмінника	26
5.4 Перевірка теплообмінної труби на міцність та стійкість	27
5.5 Перевірка кожухової труби на міцність	28
5.6 Розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінної труби	29
5.7 Розрахунок штуцерів	33

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				Лит.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Захарчук Є.І										
Перевірів	Остапенко Ж.І.										
Н. Контр.											
Затверд.											

6 Рекомендації з монтажу та експлуатації	34
6.1 Монтаж	34
6.2 Випробування	35
6.3 Експлуатація	36
7. Охорона праці	37
Висновки	39
Перелік посилань	40
Патентний пошук	42
Додатки	47

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік умовних позначень та скорочень

Н-9, Н-13, Н-17 – насос;

ЗБ-4, ЗБ-10, ЗБ-12, ЗБ-14, ЗБ-16 – збірник;

Ф-11, Ф-15, Ф-19 – фільтр;

В-7, В-8 – ваги;

ГФ-21, ГФ-22 – машини для миття та сушіння;

ГФ-23 – обладнання для розливу препарату;

ГФ-24 – стерилізатор;

ГФ-25 – машина для наклеювання етикеток;

ГФ-26 – обладнання для пакування в коробки;

ГФ-27 – обладнання для обандеролення пеналів;

Т-1, Т-2, Т-19 – теплообмінник типу «труба в трубі»;

М-5 – мірник;

Р-6 – реактор;

G – масова витрата, $кг/с$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/мК$;

c – теплоємність, $Дж/кгК$;

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

$d_{вн}^3$ – 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;

ρ – густина, $кг/м^3$;

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

V – об'ємна витрата, $м^3/с$;

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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, $м$;
 η – коефіцієнт корисної дії;
 l – довжина труби, $м$;
 ξ – коефіцієнт місцевого опору;
 ω – швидкість руху рідини, $м/с$;
 α_{θ} – коефіцієнт об'ємного розширення болтів, $^{\circ}C^{-1}$;
 q – зусилля герметизації, $МПа$;
 n_y – границя стійкості;
 Nu – критерій Нусельта;
 Pr – критерій Прандтля;
 q – поверхнева густина теплового потоку, $Вт/м^2$;
 Δp – перепад тиску в апараті, $Па$;
 $[\sigma]$ – граничне напруження, $МПа$;
 $[P]$ – допустимий тиск, $МПа$;
 y_{θ} – піддатливість болтів, $м / МН$;
 u_1 – нормативний зазор, $м$;
 k_{np} – прокладочний коефіцієнт;
 a – конструктивний додаток до розміру болтів, $м$;
 ϕ – коефіцієнт міцності зварних швів;
 D_n – зовнішній діаметр фланця, $м$;
 D_{θ} – діаметр болтової окружності, $м$;

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d_{ϕ} – діаметр болта, $М$;

l_{ϕ} – довжина болта, $М$;

b – ширина прокладки, $М$;

y_c – піддатливість вільного кільця, $1/(ММН)$;

$[\theta]$ – граничний кут повороту, $рад$.

N – потужність привода насоса, $Вт$;

k_n – коефіцієнт обтискання прокладки;

E – модуль пружності, $МПа$;

f_{ϕ} – площа поперечного перерізу болта, $м^2$;

ν, ψ_1, ψ_2 – конструктивні коефіцієнти;

y_{ϕ} – піддатливість фланця, $1/(ММН)$;

h_n – товщина прокладки, $М$;

α_{ϕ} – коефіцієнт об'ємного розширення фланця, $^{\circ}C^{-1}$;

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Сьогодні біотехнологія дає можливість на основі мікробного синтезу отримати широкий спектр продуктів, які знаходять різноманітне застосування у мікробіологічній, фармацевтичній, харчовій галузях, а також медицині та сільському господарстві. [21].

Для протікання біотехнологічних процесів потрібна певна температура, яка в свою чергу досягається шляхом підведення або відведення певної кількості теплоти. Цю температуру можна забезпечити використовуючи різноманітні за конструкцією теплообмінники.

Завдяки розвитку біотехнології стало зрозуміло, що виробництво ітаконової кислоти хімічними способами економічно недоцільно, При хімічному способі вартість сировини значно вища вартості меляси, а технологія багатостадійна і вимагає застосування токсичних реагентів, а також дає відносно низький вихід цільового продукту. Тому, не дивлячись на великий прогрес у хімічній галузі та хімічному синтезу різних органічної сполук, такі речовини, як молочна, лимонна, ітаконова та інші кислоти, зараз виробляють за допомогою мікроорганізмів з використанням цукорвмісної сировини.

Перевага мікробного способу полягає в послідовному ферментативному здійсненні в клітині більшого числа хімічних реакцій в одну виробничу стадію ферментації. Це дозволило спростити технологію, збільшити вихід кислот і знизити їх собівартість. [22].

В даному дипломному проєкті представлено лінію виробництва ітаконової кислоти.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

В наш час теплообмінники широко застосовуються в фармацевтичній, мікробіологічній та харчовій промисловості.

Теплообмінники призначені для передачі тепла від одного середовища до іншого. Найпростішими теплообмінниками у фармацевтичній та мікробіологічній промисловості є теплообмінники труба в трубі. Перевага такого теплообмінника полягає в різноманітності конфігурацій, його також можна швидко зібрати на місці зі стандартних елементів. При необхідності площу тепловіддачі можна збільшити, встановивши додаткові секції.

Функціональний принцип такого теплообмінника наступний: речовина, що охолоджується або нагрівається, протікає в трубному просторі, охолоджуюча рідина, яка охолоджує або нагріває речовину, тече в міжтрубному просторі. Тепло передається через тонку стінку. Теплообмінні елементи з'єднані коліном [5].

Цей теплообмінник належить до теплообмінників рекуперативного типу. Це пристрої в яких дві рідини з різними температурами рухаються в просторі що розділений стінкою. Такі теплообмінники призначені для передачі тепла від холодного середовища до гарячого або навпаки через поверхню теплообміну [5].

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Опис технологічного процесу виробництва ітаконової кислоти

Технологічний процес складається з наступних стадій:

- приготування поживних середовищ для глибинного культивування;
- виробниче культивування, заповнення ферментера;
- аерація і ферментація;
- підливання м'ясного середовища;
- завершення культивування;
- виділення ітаконової кислоти.

Перед початком технологічного процесу та на початку будь-якої технологічної операції необхідно переконатися, що обладнання та приміщення готові до експлуатації, перевірити технічні засоби та чистоту обладнання. Під час процесу слід дотримуватися інструкцій для кожного окремого блоку.

2.1 Приготування поживних середовищ для глибинного культивування

При глибинному способі культивування готують м'ясні поживні середовища двох концентрацій (по цукру): 3% розчин – для отримання посівного міцелію та початкового культивування, і 20-25% розчин для підливання в процесі ферментації.

У змішувач *Зм-1* подають гарячу воду (25-30% від об'єму ферментера), розчини поживних солей (KH_2PO_4 , $MgSO_4$, NH_4Cl , $ZnSO_4$) і м'ясне середовище, рН якого попередньо вирівняли до 6,8-7,2. Суміш направляють в стерилізаційну установку через фільтр *Ф-2* і насос *Н-3*, де її нагрівають до 128–130°С в стерилізаційній колоні *С-4*, і витримують при цій температурі в витримувачі *В-5*, після охолодження в холодильнику *То-6* переводять суміш у збірник *З-7* звідки вона переходить ферментер для підрощування *Фт-8* і у ферментер виробничий *Фт-9*, (ферментер виробничий геометричним розміром 100 м³) з урахуванням внесення посівного міцелію. Концентрація цукру в середовищі повинна бути 3%, температура 32–34°С.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Виробниче культивування. Заповнення ферментера

При безперервній подачі кисню, через стерилізаційну установку послідовно вводять (при об'ємі ферментера 50 м^3) $4,5 \text{ м}^3$ гарячої води з температурою $126-129^\circ\text{C}$, 9 м^3 води з температурою $32-34^\circ\text{C}$, $3-5 \text{ м}^3$ стерильних розчинів поживних солей з температурою $32-34^\circ\text{C}$, $3-5 \text{ м}^3$ гарячої води, $3-4 \text{ м}^3$ м'ясяного розчину і охолоджену воду в кількості, необхідній для доведення об'єму вихідного м'ясяного розчину до 27 м^3 .

Під час заповнення ферментера його вміст охолоджують водою, яка подається в сорочку, до температури $32-33^\circ\text{C}$. Потім по трубопроводу переносять приготовану посівну культуру, при цьому заповнений об'єм ферментера збільшується до 30 м^3 . Вміст ферментера перемішують впродовж 30 хвилин і відбирають пробу для перевірки мікробіологічної чистоти, значення рН та концентрації цукру.

Після заповнення ферментера всі продуктові комунікації промивають стерильною гарячою водою і пропарюють протягом однієї години.

2.3 Аерація і ферментація

В перші 2-3 години після засіву ферментера, місткістю 50 м^3 , подають повітря $50-75 \text{ м}^3/\text{год}$. Розчин одразу сильно пініться, тому вводять $35-50 \text{ мл}$ олеїнової кислоти або відповідну кількість іншого піногасника. Піна знижує корисний об'єм ферментера.

В подальшому повітря у ферментер подають за графіком. Температура середовища повинна знаходитись в межах $31-32^\circ\text{C}$. При інтенсивному утворенні ітаконової кислоти температура підвищується внаслідок екзотермічності реакції дихання і утворення ітаконової кислоти. Для підтримання температури на оптимальному рівні через сорочку апарата пропускають холодну воду. Одночасно знижують температуру повітря, яке

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надходить у ферментер, до значення 20–24°С.

При підвищенні температури, навіть тимчасовому, міцелій розростається інтенсивніше і знижує активність. При зниженні температури затримується ріст міцелію. В обох випадках утворюється велика кількість побічних кислот.

2.4 Підливання мелясного середовища

Через добу після засіву, коли міцелій розростається і починається інтенсивне утворення ітаконової кислоти, проводять підливи більш концентрованим мелясним середовищем. Підливи зазвичай починають, коли в культуральній рідині загальна кислотність досягає 1,5–2 %, а вміст цукру зменшується до 0,4–0,8 %. В подальшому концентрацію цукру підтримують на рівні 0,8–1,2 %.

Підливання проводять з інтервалом в 1,5 години і закінчують на третій добі від початку культивування. Після підливу культуральне середовище сильно пініться, тому додають необхідну кількість піногасника. Якщо після закінчення підливання утворилося багато міцелію і середовище стало дуже густим, у ферментер доливають визначену кількість стерильної води.

2.5 Завершення культивування

Якщо титрована кислотність в двох пробах взятих в кінці культивування, з інтервалом 4–8 годин, не зростає, то культивування закінчують. Припиняють подачу повітря і зливають в зірник 3-16.

2.6 Виділення ітаконової кислоти

Виділення ітаконової кислоти із культуральної рідини. Киплячий зброжений розчин, очищають від грибного міцелію пропускаючи його через фільтр Ф-18. Після чого грибний міцелій направляють подальшу переробку, а культуральна рідина направляється в збірник 3-19, потім на освітлення в

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збірник-освітлювач 3-20 де її обробляють активним вугіллям і фільтрують пропускаючи через фільтр Φ -21, фільтрат збирають у збірнику 3-22, а потім випарюють при температурі 50–60°С в вакуум-апараті Ва-23 до 1/4-1/10 початкового об'єму. Випарений розчин подається в кристалізатор К-24, де охолоджується до 13-15 С. Кристалізується ітаконова кислота 75-80% від її вмісту в розчині.

Технічна ітаконова кислота відділяється на центрифугі Ц-25. Домішки разом з часткою ітаконової кислоти в них збираються в збірник 3-26 після чого їх зброджують соляною кислотою та розчином аміаку (мірник соляної кислоти Мр-27 та розчину аміаку Мр-28), цей зброджений розчин відправляють на аніонітовий фільтр Аф-29, який дозволяє виділити 94-100% ітаконової кислоти від її вмісту в збродженому розчині, фільтрат надходить до збірника 3-30 звідки направляється на повторне випарювання до Ва-23. Технічна ітаконова кислота містить 3-6% води, 1-3% інших органічних кислот і 2-5% різних домішок. Для очистки її розчиняють гарячою водою до 25% концентрації в розчиннику кристалів Р-31 і фільтрують в друк фільтрі Дф-32, а потім кристалізують в К-33. В процесі центрифугування (Ц-34) кристали кислоти промивають дистильованою водою, а потім висушують в сушарці С-36.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Обґрунтування обраної конструкції

Даний теплообмінник можна використовувати для нагрівання і охолодження. Теплообмінники «труба в трубі» також можуть використовуватися в процесах, що включають конденсацією теплоносія або його часткове кипіння [15].

Обраний теплообмінник "труба в трубі" має наступні переваги: можливість різноманітних конфігурацій теплообмінника; можливість швидко зібрати теплообмінник на місці зі стандартних елементів; При необхідності площу тепловіддачі можна збільшити, встановивши додаткові секції.

Саме за цими ознаками був обраний даний тип теплообмінника [5].

3.1 Конструкція та принцип дії виробу

В нашому випадку доцільно вибрати теплообмінник типу "труба в трубі", який являє собою ряд елементів, з'єднаних послідовно, що складаються з двох концентрично розташованих трубок.

Теплообмінник «труба в трубі» складається з теплообмінних елементів, які з'єднані між собою коліном. Коліно з'єднане з трубою теплообмінника плоскими звареними сталевим фланцем. На вході та виході з труби теплообмінника є з'єднувальні штуцери, які служать для подачі середовища. Трубка кожуха з'єднана з трубою теплообмінника за допомогою зварного з'єднання. Для подачі та видалення теплоносія в кожуховій трубі передбачені штуцера. Вся конструкція підтримується опорами.

Принцип роботи такого теплообмінника наступний: речовина, яку потрібно нагріти або охолодити тече в трубному просторі, теплоносієм, який нагріває або охолоджує речовину, подається до міжтрубного простіру [17].

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

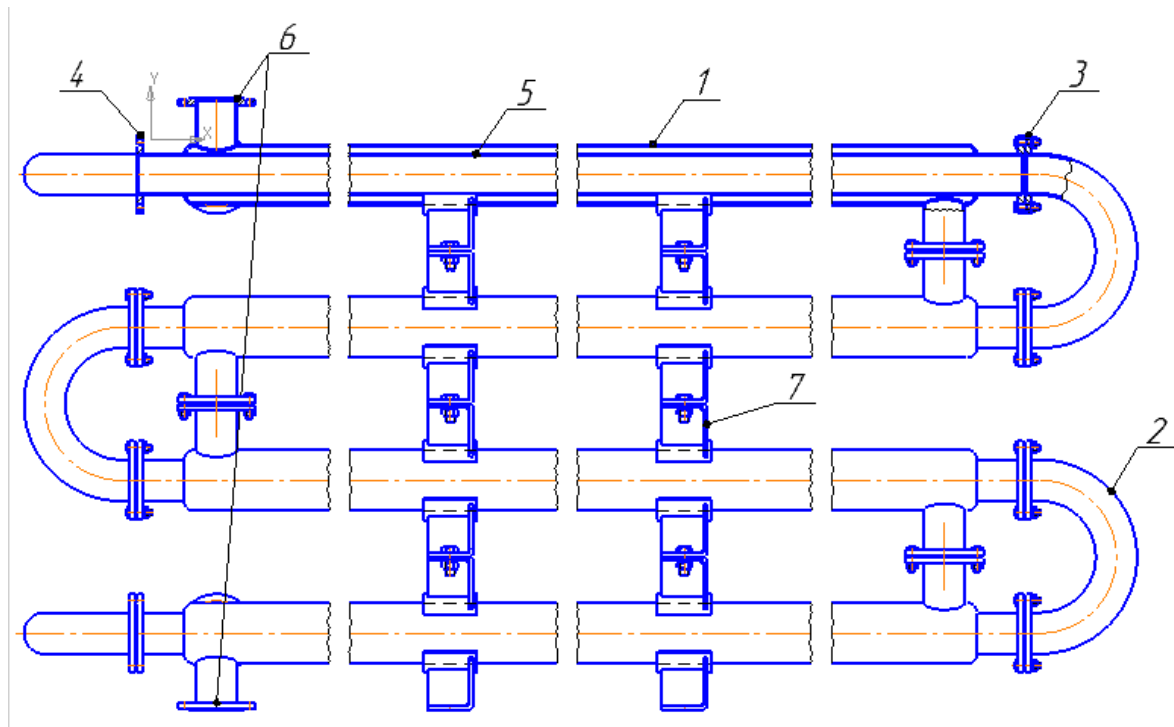


Рисунок 3.1.1 – Теплообмінник типу «труба в трубі»

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

Між фланцями розташовують паронітові прокладки для герметизації апарату [1].

3.2 Вибір матеріалів для виготовлення

Матеріал повинен підбиратися з урахуванням процесу та умов експлуатації пристрою. Обраний матеріал повинен мати високий рівень корозійної стійкості, щоб гарантувати необхідну довговічність та запобігти забрудненню продукту. Крім того, матеріал пристрою повинен бути хімічно інертним - не вступати в хімічну реакцію з навколишнім середовищем.

Труби теплообмінника виготовлені з аустенітної хімічностійкої та корозійностійкої Сталі 12Х18Н10Т ГОСТ5632-72 . Швидкість корозії данної сталі становить менше 0,1 мм / рік.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Для фланців апарату обираємо з аустенітну хімічно стійку та корозійно стійку Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ5632-72.

Для кріпильних елементів (болти, шайби, гайки) обираємо сталь марки Ст3сп ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Технічна характеристика теплообмінника

1. Продуктивність теплообмінника-	1 кг/с
2. Площа поверхні теплообміну –	15.6м ²
3. Тиск в трубному просторі –	0.3МПа
4. Тиск в міжтрубному просторі –	0.4МПа
5. Габаритні розміри:	
висота –	1655мм
довжина –	3615мм
ширина –	1305мм
6. Маса теплообмінника –	2135кг

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції

Продуктивність апарата

$$G = 3600 \text{ кг/год}$$

Початкова температура робочого середовища

$$t_{1_1} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Кінцева температура робочого середовища

$$t_{1_2} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Початкова температура води

$$t_{2_1} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Кінцева температура води

$$t_{2_2} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

5.1 Тепловий розрахунок теплообмінника

Тепловий баланс

Попередньо приймемо теплоємність води 4190 Дж/(кг·К)

$$Q = G_2 c_{p2} (t_{p2}^2 - t_{p2}^1) = 1 \cdot 4190 (100 - 36) = 268160 \text{ Вт}$$

.

$$G_1 = \frac{Q}{c_{p1} (t_{p2}^1 - t_{p2}^2)} = \frac{268160}{4190 (24 - 20)} = 16$$

Визначимо середні значення температур і значення теплофізичних властивостей за цими температурами:

$$t_{p1} = \frac{t_{p1}^1 + t_{p1}^2}{2} = \frac{20 + 24}{2} = 22$$

$$\rho_1 = 976 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$\nu_1 = 0,403 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с};$$

$$\lambda_1 = 0,67 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}).$$

$$Pr_{p1} = 2,47$$

$$t_{p2} = \frac{t_{p2}^1 + t_{p2}^2}{2} = \frac{100 + 36}{2} = 68$$

$$\rho_2 = \frac{1065 \text{ кг}}{\text{м}^3}$$

$$\nu_2 = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$$

$$\lambda_2 = 0,618 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{К}$$

$$Pr_{p2} = 5,42$$

Визначимо швидкості руху теплоносіїв

$$w_1 = \frac{4G_1}{\rho_1 \pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 16}{976 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-2})^2} = 0,2 \text{ м/с}$$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$w_2 = \frac{4G_2}{p_2 \pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 1}{1065 \cdot 3.14 \cdot (48^2 - 35^2) 10^{-6}} = 0.97 \text{ м/с}$$

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі від гарячої води до стінки труби
Число Рейнольдса для потоку охолоджуючої води.

$$Re_{p1} = \frac{w_1 d_1}{v_1} = \frac{0.2 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{0.403 \cdot 10^{-6}} = 1.6 \cdot 10^4$$

Режим руху води – турбулентний, тому критерій Нуссельта визначимо за наступною залежністю:

$$Nu_{p1} = 0.021 Re_{p1}^{0.8} Pr_{r1}^{0.43} \left(\frac{Pr_{r1}}{Pr_{cr1}} \right) = 0.021 (16000)^{0.8} 2.47^{0.43} \left(\frac{2.47}{3.5} \right) = 50$$

Коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води до стінки труби

$$\alpha_1 = Nu_{p1} \frac{\lambda_{p1}}{d_1} = 50 \frac{0.670}{32 \cdot 10^{-3}} = 1046 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі від середовища до води,
Число Рейнольдса для потоку холодної води

$$Re_{p2} = \frac{w_2 d_e}{v_2} = \frac{0.97 \cdot 13 \cdot 10^{-3}}{0.805 \cdot 10^{-6}} = 1.5 \cdot 10^4$$

де d_e -еквівалентний діаметр для кільцевого каналу

$$d_e = D - d_2 = 48 - 35 = 13 \text{ мм.}$$

Режим руху води – турбулентний, тому критерій Нуссельта для тепловіддачі при русі в кільцевому каналі визначимо за наступною формулою:

$$\begin{aligned} Nu_{p1} &= 0.017 Re_{p2}^{0.8} Pr_{p2}^{0.43} \left(\frac{Pr_{p2}}{Pr_{cr2}} \right)^{0.25} \left(\frac{D}{d_2} \right)^{0.18} \\ &= 0.017 \cdot 15000^{0.8} 5.42^{0.43} \left(\frac{5.42}{3.5} \right)^{0.25} \left(\frac{48}{35} \right)^{0.18} = 86 \end{aligned}$$

де в першому наближенні $Pr_{cm2} \approx Pr_{cm1}$.

Коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_1 = Nu_{p1} \frac{\lambda_{p1}}{d_e} = 50 \frac{0.618}{13 \cdot 10^{-3}} = 2376$$

Коефіцієнт теплопередачі

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{0.5(d_1 - d_2)}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1046} + \frac{(35 - 32) \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4500}} = 787 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$\Delta t_c = t_{p1} - t_{p2} = 68 - 30 = 38$$

Щільність теплового потоку

$$q = k \Delta t_c = 787 \cdot 38 = 29906 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Необхідна площа поверхні нагрівання, м².

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{268160}{29906} = 15.6 \text{ м}^2$$

Визначимо необхідну кількість секцій:

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{18.96}{3.14 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 1.9} = 12$$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Конструктивний розрахунок теплообмінника

Визначення основних розмірів апарату .

Формула діаметр внутрішньої теплообмінної труби:

$$d_{\text{вн}}^{\text{в}} = \sqrt{\frac{G}{0.785 p_{\text{в}} \omega_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{1}{0.785 \cdot 990.7 \cdot 1.33}} = 0.123 \text{ м}$$

Обираємо за ГОСТ 9930-61 теплообмінну трубу з зовнішнім діаметром
 $d = 133 \text{ мм}$

Швидкість руху в трубному просторі:

$$\omega_{\text{в}} = \frac{G}{0.785 p d_{\text{вн}}^2} = \frac{1}{0.785 \cdot 990.7 \cdot 0.87^2} = 0.21 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Внутрішній діаметр кожухової труби:

$$D = \sqrt{\frac{G}{p_{\text{в}} \omega_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{10.54}{1240 \cdot 0.4}} + 0.133 = 0.198 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий за ГОСТ 9930-61

Труба діаметром 219 мм

Загальна довжина труби, по зовнішньому діаметру теплообмінної труби:

$$L = \frac{F}{3.14 d} = \frac{F}{1240 \cdot 3.14} = 35.91$$

Визначаємо кількість теплообмінних елементів теплообмінника

$$L = \frac{L}{l} = \frac{35.91}{3} = 12$$

l – довжина труб кожуха,

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3. Гідравлічний розрахунок теплообмінника

Гідравлічний розрахунок теплообмінника необхідний для визначення потужності на валах насосів та вентиляторів, а також встановлення оптимального режиму роботи апарату [13].

Потужність, яка необхідна для переміщення теплоносія через апарат:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta}$$

де V - об'ємна витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$; Δp - перепад тиску в апараті, Па;
 η – ККД насоса чи вентилятора (приймаємо $\eta = 0,8$).

Перевіряємо умову вибору рівняння для розрахунку коефіцієнта опору тертя виноматеріалу об стінки труб, попередньо прийнявши значення абсолютної шорсткості (для сталевих нових труб) $\Delta = 0,06$:

$$Re_1 = 100346 > (500 \frac{d}{\Delta} = 500 \frac{0.133}{0.06} = 1108)$$

Отже в області квадратичного опору ($Re > 500d / \Delta$) коефіцієнт опору тертя не залежить від критерію Рейнольдса.

Розраховуємо суму коефіцієнтів місцевих опорів в трубному просторі апарата (наближено):

$$\sum_{i=1}^k = 1.5 + 1.5 + 2(z - 1) = 9$$

Тоді гідравлічний опір трубного простору апарату:

$$\Delta p_{m.m} = \left(0.091 \frac{3 \cdot 4}{0.127} + 9 \right) \frac{0.232^2 \cdot 790}{2} = 672.8 \text{ Па}$$

Потужність привода насоса:

$$N_m = \frac{V \cdot \Delta p_m}{\eta} = \frac{0.00277 \cdot 672.8}{0.8} = 23.3 \text{ Вт}$$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо наближену суму коефіцієнтів місцевих опорів в міжтрубному просторі апарата :

$$\sum_{i=1}^k = 1.5 + 1.5 + 1(z - 1) = 6$$

Рахуємо гідравлічний опір міжтрубного простору апарата:

$$\Delta p_{m.m} = \left(1.93 \frac{3 \cdot 4}{0.078} + 6 \right) \frac{0.4^2 \cdot 1240}{2} = 165000 \text{ Па}$$

Потужність привода насоса:

$$N_{m.m} = \frac{v_p \cdot \Delta p_{m.m}}{n} = \frac{0.0085 \cdot 165000}{0.8} = 1753 \text{ Вт}$$

Потужність для переміщення теплоносія через апарат досить мала.
Обираємо відповідний насос зі стандартного ряду.

5.4. Перевірка теплообмінної труби на міцність та стійкість

Перевірку теплообмінної труби на міцність та стійкість проводимо за методикою.

Значення допустимого напруження обраної сталі при $t=20^\circ\text{C}$

$[\sigma]=184 \text{ МПа}$.

Модуль поздовжньої пружності

$E=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Тиск в апараті за заданими умовами: в трубному середовищі $P=0,3 \text{ МПа}$, міжтрубному $P=0,4 \text{ МПа}$.

Товщина стінок внутрішньої (теплообмінної) і зовнішньої (кожухової) труб дорівнює:

$S_{\text{зов}}=4 \text{ мм}$, $S_{\text{зов}}=0,8 \text{ мм}$,

$S_{\text{вн}}=4 \text{ мм}$, $S_{\text{вн}}=0,8 \text{ мм}$,

де S - технологічна прибавка до розрахункової товщини стінок.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимий зовнішній тиск:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}$$

Допустимий тиск з умов міцності:

$$[p] = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2.4 \cdot 0.09} \cdot \frac{0.133}{3} \left[\frac{100(0.004 - 0.0008)}{0.133} \right]^2 = 1.65 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{8.65}{\sqrt{1 + \left(\frac{8.65}{1.65}\right)^2}} = 1.62 \text{ МПа}$$

5.5. Перевірка кожухової труби на міцність

Перевірку кожухової труби на міцність проводимо за методою

Значення допустимого напруження обраної сталі при $t=20^\circ\text{C}$

$$[\sigma] = 184 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$. Тиск в апараті за заданими умовами: у між трубному просторі $P = 0,4 \text{ МПа}$.

Товщина стінок зовнішньої і внутрішньої труб відповідно дорівнює:

$$C_{306} = 0,8 \text{ мм. } S_{306} = 4 \text{ мм,}$$

де C - технологічна прибавка до розрахункової товщини стінок.

Допустимий надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0,9(0,004 - 0,0008)}{0,133 + (0,004 - 0,0008)} = 7,78 \text{ МПа.}$$

$$p = 0,4 \text{ МПа} < [p] = 7,78 \text{ МПа, умова міцності виконується.}$$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.6 Розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінної труби

Для з'єднання труб обираємо плоскі фланці. Обрані фланці можуть здійснювати з'єднання при тиску до $1,6 \text{ МПа}$.

Використовуємо паронітову прокладку для ущільнення фланцевого з'єднання, Обрана прокладка забезпечує герметичність при тиску $P = 2,5 \text{ МПа}$ та температурі

$$-200^\circ\text{C} < t < 400^\circ\text{C}$$

Діаметр болтової окружності :

$$D_6 \geq D_s + 2 \cdot (d_b + u_1) = 0.135 + 2 \cdot (0.018 + 0.008) = 0.187 \text{ м}$$

приймаємо $d_b = 0,018 \text{ м}$ – діаметр болтів;

Приймаємо діаметр болтової окружності :

$$D_6 = 210 \text{ мм}$$

Рахуємо зовнішній діаметр фланця:

$$D_H \geq D_6 + a = 0.21 + 0.03 = 0.24 \text{ м}$$

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

Приймаємо діаметр фланця.

$$D_H = 245 \text{ мм}$$

За ДСТУ/ГОСТ обираємо фланець

- внутрішній діаметр штуцера $D = 125 \text{ мм}$;
- діаметр фланця $D_H = 245 \text{ мм}$;
- діаметр болтової окружності $D_6 = 210 \text{ мм}$;
- діаметр прокладки $D_{n,n} = 157 \text{ мм}$;
- діаметр отворів під болти $d = 20 \text{ мм}$;

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{н.п.}} - b = 0.157 - 0.012$$

Кількість болтів:

$$n_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{б}}} = \frac{3.14 \cdot 0.018}{0.48 \cdot 0.018} = 7.6$$
$$n_{\text{б}} = 8$$

Довжина болта:

$$l_{\text{б}} = l_{\text{б.о.}} + 0.28d_{\text{б}} = 0.06 + 0.28 \cdot 0.018 = 0.061\text{м}$$

Обираємо $l_{\text{б}} = 65\text{мм}$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$F_{\text{д}} = \frac{P_{\text{тп}} \cdot \pi \cdot D_{\text{n}}}{4} = \frac{0.3 \cdot 0.14 \cdot 0.145^2}{4} = 0.0049\text{МН}$$

Реакція прокладки:

$$R_{\text{n}} = \pi \cdot D \cdot k_{\text{нр}} \cdot b_0 \cdot P = 3.14 \cdot 0.145 \cdot 2.5 \cdot 0.012 \cdot 0.3 = 0.0041\text{МН}$$

Піддатливість прокладки обчислюється за формулою:

$$y_{\text{п}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{п}} \cdot d} = \frac{1 \cdot 0.002}{2000 \cdot 3.14 \cdot 0.145 \cdot 0.012} = 0.00018 \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

де $k_{\text{п}}$ — коефіцієнт обтискання прокладки;

$E_{\text{п}}$ — модуль Юнга для паронітової прокладки .

Піддатливість болтів:

$$y_{\text{б}} = \frac{l_{\text{б}}}{E_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}} = \frac{0.11}{1.87 \cdot 10^5 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4} \cdot 8} = 0.00031 \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

де $E_{\text{п}} = 1,87 \cdot 10^5 \text{МПа}$ — модуль Юнга для сталі марки Ст3сп за ДСТУ

2651:2005/ГОСТ 380-2005;

$f_{\text{б}}$ — площа поперечного перерізу болта.

Піддатливість фланців:

$$y_{\text{ф}} = \frac{(1 - 0.056 \cdot (1 + 0.9 \cdot 1.15)) \cdot 3.08}{0.026^3 \cdot 1.87 \cdot 10^5} = 0.84$$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{\text{ж}} = \frac{0.00031 \cdot 8 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4} \cdot 1.87 \cdot 10^5 \cdot (12.5 \cdot 10^{-6} \cdot 19.2 - 12.5 \cdot 10^{-6} \cdot 19)}{0.00018 + 0.00031 + 0.5 \cdot 0.84(0.21 - 0.145)^2} \\ = 0.00214 \text{ МН}$$

Зусилля в болтах при монтажу: $F_{\text{б1}} = 0.097$

Зусилля в болтах при робочих умовах:

$$F_{\text{б2}} = F_{\text{б1}} + (1 - k_{\text{ж}}) \cdot F_{\text{д}} + F_{\text{т}} = 0.097 + (1 - 1.1016) \cdot 0.0049 + 0.00214 \\ = 0.099 \text{ МН}$$

Умова міцності болтів при монтажу:

$$\frac{F_{\text{б1}}}{n_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{б}}^{20} \Rightarrow \frac{56,9 \cdot 10^3}{4 \cdot 254,34 \cdot 10^{-6}} = 55,9 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа},$$

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

Радіальне напруження:

$$\sigma_1 = \frac{T_{\Phi} \cdot M_o \cdot v}{D(S_m - c)^2} = \frac{0.547 \cdot 0.0018 \cdot 0.056}{0.125 \cdot (0.004 - 0.001)^2} = 3.9 \text{ МПа}$$

Напруження у втулці від внутрішнього тиску:

$$\sigma_t = \frac{PD}{2(s - c)} = \frac{1 \cdot 0.125}{2(0.004 - 0.001)} = 20.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_t = \frac{PD}{4(s - c)} = \frac{1 \cdot 0.125}{4(0.004 - 0.001)} = 10.4 \text{ МПа}$$

Умова міцності для перерізу:

$$\sqrt{(\sigma_1 + \sigma_M)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_1 + \sigma_M) \cdot \sigma_t} \leq [\sigma]_0 \Rightarrow \\ \sqrt{(3.9 + 10.4)^2 + 20.8^2 - (3.9 + 10.4) \cdot 20.8} = 18.4 \text{ МПа} < 567 \text{ МПа}$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання:

$$\theta = \frac{\sigma_k D}{E_{\Phi} h_{\Phi}} \leq [\theta] = 0.26 \text{ рад}$$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{53.6 \cdot 0.125}{1.87 \cdot 10^5 \cdot 0.026} = 0.014 \text{ рад} < [\theta] = 0.026 \text{ рад}$$

$[\theta]$ граничний кут повороту фланців, $[\Theta] = 0,026 \text{ рад.}$

Виходячи з цього умова герметичності фланцевого з'єднання виконується.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.7. Розрахунок штуцерів

Для заданих діаметрів труб теплообмінника вибираємо з таблиць штуцери для кожного штуцера обираємо фланець.

Штуцери обираємо виходячи з конструктивних міркувань, зважаючи на показники стандартизації та уніфікації.

- Внутрішній діаметр (патрубка) $D = 125\text{мм}$
- Зовнішній діаметр (патрубка) $d_H = 133\text{мм}$
- Товщина стінки $s = 4\text{мм}$
- Довжина штуцера $l = 85\text{мм}$

Розрахункові товщини стінок патрубків:

$$S_{RS}^A = S_{RS}^E = \frac{P \cdot d_H}{2[\sigma] - P} = \frac{0.3 \cdot 0.133}{2 \cdot 184 - 0.3} = 0.12 \cdot 10^{-3}\text{м}$$

$$S_{RS}^B = S_{RS}^{\Gamma} = \frac{P \cdot d_H}{2[\sigma] - P} = \frac{0.4 \cdot 0.133}{2 \cdot 184 - 0.4} = 0.14 \cdot 10^{-3}\text{м}$$

Довжина патрубків $l_R = 1.25\sqrt{d_n(S_T - C_s)} = 1.25\sqrt{0.133 \cdot (0.004 - 0.001)} = 0.025\text{м}$

Обираємо довжину патрубків $l = 0.082\text{м}$

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Рекомендації з монтажу та експлуатації

6.1 Монтаж

Монтажні роботи в системі складаються з монтажу приладів на металевій конструкції, монтажу та підключення допоміжного обладнання, підключення трубопроводів, деталей вузлів подачі та відводу, монтажу пристроїв терморегулювання та автоматичного регулювання. В процесі монтажу, конструктивні та виробничі дефекти обладнання виявляються та усуваються.

Також, з метою підготовки до експлуатації, необхідно виконати роботи налагодження апарата.

Проектом виробництва монтажно-складальних робіт пропонується наступна послідовність операцій зборки:

1. Встановлення металевих конструкцій;
2. Встановлення секцій пристрою на металевій конструкції;
3. Установка колін пристрою;
4. Монтаж і підключення всіх трубопроводів;
5. Встановлення арматури та вимірювальних приладів;
6. Герметизація стиків пристроїв
7. Підключення допоміжних механізмів і пристроїв;
8. Встановлення захисних пристроїв;
9. Перевірка апарата на герметичність;
10. Пробна установка;
11. Виконання теплоізоляційних робіт (за необхідності);

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Введення системи в експлуатацію.

6.2 Випробування

Після монтажу та монтажних робіт пристрій необхідно протестувати. Насамперед проводяться підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та оглядом всіх деталей та деталей пристрою.

Особливу увагу слід звернути на наявність арматури, пристосувань, кришок, гвинтів, прокладок та інших деталей, які забезпечать герметичність системи.

Випробування показують герметичність та надійність, а також герметичність усіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка апарату до експлуатації включає перевірку тиску в теплообміннику та трубопроводі, температури теплоносіїв на вході та виході з пристрою, витрат теплоносіїв.

Результати випробувань показують дефекти та недоліки, що заносяться до звіту про випробування для конкретного теплообмінника.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.3 Експлуатація

Перед введенням пристрою в експлуатацію необхідно: провести випробування; Усунути дефекти та недоліки;

Операція проводиться згідно інструкції. Для забезпечення належної роботи повинні бути дотримані такі умови: функціональність теплообмінника; висока кваліфікація обслуговуючого персоналу; забезпечення необхідною енергією.

Також дуже важливо дотримуватися правил безпеки під час експлуатації пристрою. Щоб підтримувати коректну роботу систем, що споживають тепло, необхідно:

1. Справа і безперебійна робота апарату;
2. Висока кваліфікація обслуговуючого персоналу;
3. Забезпечення необхідними видами енергії та їх раціональне споживання.

Для безперебійної роботи пристрою необхідно:

1. Достатній запас основних та допоміжних пристроїв та дотримання правил технічної експлуатації;
2. Своєчасне виконання планових та профілактичних ремонтів приладів та наявність запасних частин до деталей та деталей, що швидко зношуються.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Охорона праці

Продуцент ітаконової кислоти *Asp. terreus* й *Asp. itaconicus* є патогенним, оскільки може спричинити аспергільоз. Тому особливу увагу слід звертати на концентрацію спор грибів у повітрі, вдихання спор *Asp. terreus* та *Asp. itaconicus* робітниками. також необхідно контролювати кількість інших патогенних мікроорганізмів в повітрі робочої зони і загальну кількість мікроорганізмів. Працівники що контактують з споровим матеріалом мають бути захищені засобами індивідуального захисту. Приміщення повинні дезинфікуватись, стерилізуватись (опроміненням УФ променями) і т.д.

Мікроорганізми здатні також завдавати шкоду різного роду матеріалам, а саме змінювати їх властивості у результаті своєї життєдіяльності. Найбільш надійним способом захисту матеріалів від мікроорганізмів є усунення збудників. Однак в данному випадку це практично неможливо, через те що виробництво матеріалів і, зокрема, їх експлуатація в стерильних умовах неможливе. У той же час матеріальний збиток, заподіяний мікроорганізмами, може бути значно зменшений при дотриманні певних правил під час виготовлення, зберігання та подальшої експлуатації. Насамперед це стосується мастильно-охолоджуючих рідин, різних емульсій і оптичного скла.

Застосування біоцидів вважається найнадійнішим способом захисту промислових матеріалів. Біоциди зазвичай входять до складу матеріалу, рідше їми обробляють поверхню. В якості біоцидів запропоновані багато сполук різної хімічної природи: феноли та їх похідні, органічні сполуки важких металів, сполуки олова та кремнію кремній, сполуки четвертинного амонію, комплексоутворювачі. Однак на практиці застосовується вузький спектр сполук у поєднанні з високими вимогами, що пред'являються до біоцидів.

Підприємства що виробляють ітаконову кислоту мають як хімічну, так і мікробіологічну природу, оскільки хімічні реагенти та мікроорганізми, які можуть впливати на здоров'я працівників, широко використовуються в

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічних процесах. Деякі з використовуваних продуктів є легкозаймистими та вибухонебезпечними.

Наявність токсичних газів та парів у повітрі необхідно постійно контролювати в мікробіологічній промисловості. На виробництві промислові стічні води поділяються на умовно чисті та забруднені.

Вода, яка проходить через теплообмінники, є умовно чистою; вона не змінює свого складу, лише температуру.

Забруднені стічні води поділяються за наявністю органічних та неорганічних речовин. Забрудненість промислових стоків та витрати кисню на процес бактеріального окислення органічних сполук характеризується показниками БВК (біологічне використання кисню, що виражається у мг кисню на 1 л рідини), БВК₅, БВК₂₀.

Культуральна рідина є основним забруднювачем стоків мікробіологічних виробництв (30-35% від загального об'єму стічних вод; 70-90% від загальної кількості забруднень). Якісний склад стічних вод змінюється в залежності від типу продукту, переробленої сировини, технологічного режиму роботи та споживання прісної води [23].

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Даний дипломний проєкт був створений для набуття практичних і закріплення теоретичних знань з проєктування та розрахунку апаратів призначених для фармацевтичної, мікробіологічної промисловості.

Розрахунки та креслення зроблені відповідно до діючих стандартів із використанням сучасних системних та інформаційних технологій.

У дипломному проєкті представлено опис виробництва ітаконової кислоти шляхом біосинтезу. Данна технологія є поширеною і актуальною. Під час виконання проєкту спроектовано теплообмінник типу «труба в трубі», який використовується для охолодження культурального середовища. Обраний теплообмінник має наступні переваги: його можна швидко зібрати на місці зі стандартних елементів; можлива різноманітність конфігурацій теплообмінника; При необхідності площу тепловіддачі можна збільшити, встановивши додаткові секції.

Також, були проведенні розрахунки корпусу, кришок, фланців та опор на міцність та стійкість.

Під час виконання дипломного проєкту був проведений патентний пошук як в Україні, так і інших країнах. Була знайдена велика кількість патентів, які на даний момент діють і використовуються в промисловості.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: Колос, 2004
2. Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудывания. Справочник. Том 1. А.С. Тимонин – Издательство Н.Бочкаревой: Калуга, 2002. – 845 с.
3. Фланцы стальные плоские приварные: ГОСТ 12820-80. – [Чинний від 1980-05-20].
4. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005). – [Чинний від 2005-01-01]. / – К. : Державні стандарти України 2012. — 28 с. — (Національний стандарт України).
5. Теплообменные аппараты «труба в трубе»: АТК 24.202.03-90. – [Чинний від 1992-01-01] Москва: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1992. – 23с.
6. Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия: ГОСТ 9940-81 [Чинний від 1983-01-01]. Издательство стандартов, 2004 (Государственный стандарт СССР).
7. «Мартыненко О.Г. Справочник по теплообменникам. Том 2. – Москва: Энготомиздат, 1987. – 349 с.
8. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки: ГОСТ 5632-72 [Чинний від 1988-01-01]. – К. : Міждержавні стандарти, 2012. — 31 с. — (Государственный стандарт СССР).
9. Шайбы. Общие технические условия: ГОСТ 18123-82. – [Чинний від 1982-05-10].– К. : Міждержавні стандарти, 2012.— (Государственный стандарт СССР).
10. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.– М.: Химия, 1968. – 847 с.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры: ДСТУ ГОСТ 5915:2008: Державні стандарти України 2012.
12. Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б. Общая технология микробиологических производств. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.
13. 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).
14. Воробьева, Л.И. Промышленная микробиология: Учеб. пособие Л.И. Воробьева, – М: изд-во МГУ, 1989.
15. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. А. Г. Касаткин – М.: Химия, 1973.
16. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент: ГОСТ 8240-97.. : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации , 1997.
17. Мартыненко, О.Г. Справочник по теплообменникам. Том 2. [Текст] / О.Г. Мартыненко – Москва: Энготомиздат, 1987.
18. Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см²). Конструкция и размеры: ДСТУ ГОСТ 12820:2008–. – К. : Міждержавні стандарти, 2012. — 11с. — (Государственный стандарт СССР)
19. Михалев, М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств.
20. Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник
21. Касаткин А. Г. «Основные процессы и аппараты химической технологии», изд. Химия, М., 1971 г.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Смирнов В.А. Пищевые кислоты. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.

23. Основы химической технологии. Под. ред. проф. И.П. Мухленова. Издание четвертое, переработанное и дополненное.

					БІ71.05.50431 -10 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		