

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою
вакуум-вибраного апарату»

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Вікторія МЕЛЬНИК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Обладнання фармацевтичних та
біотехнологічних виробництв»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою вакуум-вибраного апарату»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи БІ-71

Дудук Євгеній Віталійович _____

Керівник:

д.т.н., проф.

Остапенко Жанна Ігорівна _____

Консультант з опису технологічного процесу виробництва кристалічної
лимонної кислоти:

професор д.ф.-м.н

Литвинов Григорій Сергійович _____

Рецензент:

к.т.н., ст. викладач

Тітова Лариса Олександрівна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

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

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Напрямок підготовки 6.050503 Машинобудування
Спеціальність обладнання фармацевтичних і
біотехнологічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В.М. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)
«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Дудуку Євгенію Віталійовичу

1. Тема проекту: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою вакуум-вибраного апарату», керівник проекту Остапенко Жанна Ігорівна., затверджені наказом по університету від
2. Строк подання студентом проекту «___» _____ 2021 р. № _____
3. Вихідні дані до проекту: об'єм апарату – $V=6,3\text{м}^3$; концентрація ітаконової кислоти в розчині: початкова $x_1 = 6\%$ (мас.), кінцева $x_2 = 42\%$ (мас.); температура розчину: початкова - $t'_2 = 20^\circ\text{C}$, в процесі випарювання - $t''_2 = 60^\circ\text{C}$; температура насиченої гріючої водяної пари $t_1 = 110^\circ\text{C}$.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити): опис технологічного процесу, призначення та область використання установки, технічна характеристика, обґрунтування вибору обраної конструкції, розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції, рекомендації з монтажу та експлуатації, рекомендації з охорони праці.
5. Перелік графічного матеріалу: апаратурно-технологічна схема лінії виробництва ітаконової кислоти (А1); горизонтальний суцільнозварний апарат з еліптичними днищем.

Складальне креслення (A1); креслення складальних одиниць (дніще (A2)); креслення деталей (опора (A3); решітка (A3); штуцер (A3)).

6. Дата видачі завдання 15.02.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Опис технологічного процесу виробництва ітаконоїї кислоти	16.02.21- 29.02.21	
2	Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва ітаконоїї кислоти	18.02.21- 04.02.21	
3	Призначення та область застосування горизонтального суцільнозварного апарату з еліптичним днищем; обґрунтування вибору конструкції	19.02.21- 02.02.21	
4	Патентний пошук	20.02.21- 01.02.21	
5	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції горизонтального суцільнозварного апарату з еліптичним днищем	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 горизонтального суцільнозварного апарату з еліптичним днищем; креслення складальних одиниць, деталей	30.02.21 - 7.02.21	
8	Оформлення ПЗ	01.02.21- 10.02.21	

Студент _____
(підпис)

Дудук Є. В.

Керівник проекту _____
(підпис)

Остапенко Ж.І.

Реферат

Дипломний проект «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою вакуум-випарного апарату» містить 70 сторінок пояснювальної записки (формат А4), яка містить 7 розділів, 23 літературних джерела, таблиці, креслення та 3 додатки.

В дипломному проекті були розглянуті такі питання: мета та актуальність, опис технічного процесу виготовлення ітаконової кислоти, характеристика готової продукції, призначення та область застосування апарату для випарювання, технічна характеристика та опис випарного апарату, розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції випарного апарату, рекомендації з монтажу та експлуатації, охорона праці та патентний пошук.

Для виготовлення апарату було обрано корозійностійку, жаростійку, жароміцну сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–88, що призначена для роботи з агресивними середовищами.

Тепловий і матеріальний розрахунки підтвердили правильність обраної конструкції апарату для забезпечення ефективного протікання процесів у них. Розрахунки, що підтвердили працездатність та надійність конструкції, показали, що апарат витримує силові та теплові навантаження, що діють на нього.

Представлена в даному дипломному проекті апаратурно–технологічна схема лінії виробництва ітаконової кислоти з розробкою вакуум-випарного апарату є однією з найпростіших, та включає в себе апарати, які є простими за конструкцією та відносно дешевими.

На кресленнях дипломного проекту показано: апаратурно–технологічну схему лінії виробництва ітаконової кислоти (формат А1), складальне креслення випарного апарату (формат А1), складальне креслення днища (формат А2), та креслень штуцера (формат А3), опори (формат А3), решітки (формат А3) .

Ключові слова: вакуум апарат, апаратурна схема виробництва ітаконової кислоти.

Abstract

Diploma project "Itaconic acid production line with development vacuum-washed device "contains 70 pages of explanatory note (A4 format), which contains 7 sections, 23 references, tables, drawings and 3 appendices.

The diploma project addressed the following issues: purpose and relevance, description of the technical process of manufacturing itaconic acid, characteristics of finished products, purpose and scope of the evaporator, technical characteristics and description of the evaporator, calculations confirming the efficiency and reliability of the evaporator, recommendations on installation and operation, labor protection and patent search.

Corrosion-resistant, heat-resistant, heat-resistant steel of austenitic class 12X18H10T GOST 5632–88, which is intended for work with aggressive environments, was chosen for the device production.

Thermal and material calculations confirmed the correctness of the selected design of the device to ensure the efficient flow of processes in them. Calculations that confirmed the efficiency and reliability of the structure showed that the device can withstand the power and heat loads acting on it.

The hardware-technological scheme of the itaconic acid production line with the development of a vacuum-washed device presented in this diploma project is one of the simplest, and includes devices that are simple in design and relatively cheap.

The drawings of the diploma project show: hardware and technological scheme of the production line of itaconic acid (format A1), assembly drawing of the evaporator (format A1), assembly drawing of the bottom (format A2), and drawings of the fitting (format A3), support (format A3), lattice (A3 format).

Key words: vacuum apparatus, hardware scheme of itaconic acid production.

ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень	9
Вступ	13
1. Призначення та область застосування установки	15
2. Опис технологічного процесу виробництва ітаконової кислоти	20
3. Обґрунтування вибору проектованої конструкції випарного апарату	25
4. Технічна характеристика випарника	27
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	28
5.1. Матеріальний баланс	28
5.2. Тепловий баланс	28
5.3. Вибір апарату	29
5.4. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі при нагріванні розчину	30
5.5. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі при кипінні розчину	36
5.6. Тривалість процесу концентрування.	38
5.7. Розрахунки апарату на міцність	39
6. Рекомендації з монтажу і експлуатації	48
7. Вимоги з техніки безпеки та охорони праці	54
7.1 Техніка безпеки	54
7.2. Охорона праці	55
Висновки	58
Перелік посилань	59
ДОДАТОК А. Апаратурна схема	62
ДОДАТОК Б. Специфікація	63
ДОДАТОК В. Патентний пошук	65

					БІ-71.04.703312.00-10 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дудук Є.В.			Ваккум апарат для концентрування розчину ітаконової кислоти	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Остапенко Ж.І.					8	70
Н. Контр.						ФБТ, гр. БІ-71		
Затверд.								

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів

Є – Ємність;

КП – Ваги платформені;

РМ – Мікромлин молотковий;

М – Мірник;

Т – Теплообмінник;

Р – Реактор;

ГР – Гранулятор;

Ф – Фільтр;

К – Конденсатор;

СШ – Сушарка;

ЗМ – Змішувач;

МТ – Машина для таблетування;

ЗП – Знепилювач;

УП – Установка для пакування у блістери;

МП – Машина пакувальна;

G_n - продуктивність сушарки по вологому матеріалу, кг/год;

G_k - продуктивність сушарки по сухому матеріалу, кг/год;

w_n - початкова вологість матеріалу, %;

w_k - кінцева вологість матеріалу, %;

t_1 - температура теплоносія на вході в сушильну камеру, °С;

t_2 - температура теплоносія на виході з сушильної камери, °С;

W – кількість випареної води, продуктивність по випареній воді, кг/год;

r_0 - теплота випарювання, кДж/кг;

c_n - теплоємність водяної пари, кДж/кг;

θ_1 - температура матеріалу на вході в сушильну камеру, °С;

θ_2 - температура матеріалу на виході з сушильної камери, °С;

c_m - теплоємність таблеткової маси, кДж/кг;

$Q_{\text{вип}}$ - тепло, що витрачається на випарювання вологи, Вт;

$Q_{\text{нагр}}$ - тепло, що витрачається на нагрів матеріалу, Вт;

$Q_{\text{втрат}}$ - втрати тепла в навколишнє середовище, Вт;

L - витрата сухого повітря, кг/с;

c_n - теплоємність сухого повітря, кДж/(кг·К);

B - барометричний тиск, мм.рт.ст.;

x_1 - вологовміст повітря перед калорифером, кг/кг;

x_2 - вологовміст повітря на виході з сушильної камери, кг/кг;

ρ_t - густина повітря на виході з сушарки, кг/м³;

μ_t - динамічний коефіцієнт в'язкості повітря при заданій температурі, Па·с;

μ_0 - динамічний коефіцієнт в'язкості повітря при температурі 0°С, Па·с;

C – допоміжний коефіцієнт;

T_2 - температура повітря на виході з сушильної камери, К;

g - прискорення вільного падіння, кг·м/с²;

d - діаметр гранул таблеткової маси, мм;

ρ_M - густина таблеткової маси, кг/м³;

ε - порозність киплячого шару;

Ar - критерій Архімеда;

Re - критерій Рейнольдса;

V - швидкість повітря, м/с;

Pr - критерій Прандтля;

λ_t - теплопровідність, Вт/(м·К);

Nu - критерій Нуссельта;

α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);
 $S_{\text{пит}}$ - питома поверхня шару, м⁻¹;
 H - висота апарату, мм;
 d_0 - діаметр отворів решітки, мм;
 φ - частка живого перетину решітки;
 k - число псевдозрідження;
 ΔP - гідравлічний опір, Па;
 ξ - коефіцієнт опору решітки;
 w - швидкість руху теплоносія у штуцері, м/с;
 $[\sigma]$ - допустиме напруження для сталі, МПа;
 φ - коефіцієнт ослаблення зварного шва;
 c – поправка до товщини стінки, м;
 Π – швидкість корозії, мм/рік;
 S - товщина стінки обичайки, мм;
 $[P]$ - допустимий тиск, МПа;
 S_k - товщина стінки конічного днища, мм;
 s_n - товщина стінки плоскої кришки, мм;
 K - розрахунковий коефіцієнт;
 K_0 - коефіцієнт послаблення кришки отвором;
 $M_{\text{об}}$ - маса циліндричної обичайки, кг;
 H - висота циліндричної обичайки, м;
 $\rho_{\text{ст}}$ - густина сталі, кг/м³;
 D_z - зовнішній діаметр обичайки, м;
 M_n - маса плоскої кришки, кг;
 M_k - маса конічного днища, кг;

M - повна маса апарата, кг;

G - вага апарата, кН;

$Q_{оп}$ - навантаження на одну опору, кН;

$[\sigma]$ – допустиме напруження;

n_t – запас міцності;

						Лист
						12
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Біотехнологія — міждисциплінарна галузь, що виникла на стику біологічних, хімічних і технічних наук. З розвитком біотехнології пов'язують вирішення глобальних проблем людства — ліквідацію недостатчі продовольства, енергії, мінеральних ресурсів, поліпшення стану охорони здоров'я і якості навколишнього середовища. У наш час дуже стрімко розвивається біотехнологія і актуальним є саме розробка та вдосконалення біотехнологічних процесів, а разом з тим і технічного та апаратурного оснащення.

Максимально точний розрахунок процесів та апаратів дає можливість максимізувати масштаби отриманої продукції в таких галузях промисловості як: біотехнологічна, фармацевтична, харчова, мікробіологічна та ін. Виробництво готової продукції являється складним та багатостадійним процесом, що включає велику кількість різноманітних процесів: очищення, змішування, концентрування, нагрівання, охолодження, сушіння, стерилізацію [1].

Аналізуючи сучасний стан виробництва, можна сказати, що останнім часом застосування ферментерів в біотехнологічному виробництві набуло широкого застосування.

Апаратурне оформлення технологічних процесів біотехнологічних виробництв має велике значення для проектування технології. Обладнання має багато спільного з обладнанням хімічної та харчової промисловості [3].

Однак, процеси, що протікають в мікробіологічній апаратурі, відрізняються підвищеною складністю. Це обумовлено не тільки тим, що в біохімічному синтезі беруть участь живі організми, реакція яких на зміну навколишнього середовища часто непередбачувана. Складні по фізичній структурі самі системи, які обробляються на різних стадіях отримання біомаси. Частіше всього ці системи неоднорідні, що ускладнює аналіз процесів, що протікають у цих системах [4].

Процеси біотехнологічної промисловості проводять в умовах вузького інтервалу температур, тиску, рН, не допускаючи значної зміни цих величин, які можуть привести до втрати цільового продукту.

Одна із вимог до обладнання біотехнологічних процесів – герметичність на стадіях підготовки поживного середовища, отримання посівного матеріалу та культивування. Важливим є також вибір матеріалів устаткування. Останні мають бути кислотостійкими, антикорозійними і не повинні інгібувати процесів, що проходять у апаратах [3].

У даному проекті розглядається концентрування ітаконової кислоти. Меяса являється цінною сировиною і застосовується при виробництві етилового спирту, ітаконової кислоти, біологічно активних добавок, амінокислот, вітамінів, як компонент поживного середовища для культивування мікроорганізмів та як кормова добавка.

Актуальність даної теми визначається тим, що лінія виробництва ітаконової кислоти є економічно ефективною, так як має високу продуктивність, що дозволяє економити енергоресурси.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТУ

Випарна установка є важливим елементом обладнання багатьох підприємств хімічної, харчової та інших галузей промисловості. Випарювання застосовують на заводах мінеральних солей, азотних добрив, содових, хлорних, цукрових, крохмале-патокових заводах, в алюмінієвій, целюлозно-паперовій промисловості і у виробництві полімерних матеріалів.

В хімічній промисловості випарюванню підлягають розчини твердих речовин (розчини лугів, солей), а також розчини висококиплячих рідин, що при температурі випарювання мають дуже малий тиск пари, тобто є майже нелетючими (до них належать деякі мінеральні та органічні кислоти (серед яких є ітаконова кислота), багатоатомні спирти, тощо)[3].

Випарюванням в промисловості називають процес концентрування рідких розчинів майже не летючих речовин шляхом часткового видалення розчинника випарюванням при кипінні рідини. В процесі випарювання розчинник видаляється з усього об'єму розчину, в той час як при температурах нижче температур кипіння випарювання відбувається тільки з поверхні рідини.

Тепло для випарювання можна підводити будь-якими теплоносіями, що використовуються при нагріванні. Найчастіше використовують воду за дешевизну та велику теплоємність.

Тепло, необхідне для випарювання, підводиться через стінку, що відділяє розчин від теплоносія. Іноді тепло передається тепловіддачею безпосередньо від теплоносія до розчину що випарюють. Процеси випарювання проводять під вакуумом, при підвищеному тиску та атмосферному тиску. Вибір тиску залежить від властивостей випарюваного розчину та можливості використання вторинного тепла.

Випарювання під вакуумом має ряд переваг перед випарюванням при атмосферному тиску, незважаючи на те, що теплота випарювання розчину дещо збільшується зі зниженням тиску через що збільшується витрата пари на випарювання одиниці розчинника (на 1 кг води). Перевагами такого

випарювання є можливість проведення процесу при нижчих температурах, що важливо при випарюванні розчинів речовин, що здатні розкладатись при високих температурах (ітаконова кислота розкладається при 175 °C). Крім того при розрідженні збільшується корисна різниця температур між гріючим агентом та розчином, що дозволяє зменшити поверхню нагріву.

Використання вакууму дає можливість використовувати в якості гріючого агенту також вторинну пару самої установки, що знижує затрати на нагрів додаткової кількості теплоносія. Проте використання вакуума підвищує затрати виробництва на створення вакууму та експлуатацію апарату.

В даній роботі використовується горизонтальний суцільнозварний апарат з еліптичними днищами і трубним пучком.

Різновиди вакуум-випарних установок.

В залежності від методу компресії виробляємої пари:

- з механічною компресією пари (MVR)
- з тепловою компресією пари (TVR)
- з об'єднанням механічної і теплової компресій.

Для механічної компресії пари необхідний компресор або нагнітач повітря, щоб стискати пар; теплова компресія пари використовує парові очисники.

Установки з механічною компресією використовують електроенергію, але майже не споживають пар, не рахуючи той, який необхідний для запуску обладнання, що дозволяє збільшувати виробничі заощадження.

Вакуум-випарні установки з тепловою компресією використовують готовий пар.

Для більш повного використання теплоти вторинної пари, що утворюється в вакуум-апараті, установки комплектують тепловим насосом.

На однокорпусні установки або на перший корпус багатокорпусних установок встановлюють парострумінний інжектор. Основним параметром, що характеризує ефективність роботи інжектора, є коефіцієнт інжекції. Він показує, яку кількість вторинної пари може бути стиснуто в інжекторі до необхідних параметрів 1 кг гріючої пари.

Ознаки класифікації вакуум-апаратів:

- за принципом дії (періодичні і безперервні);
- за формою і розташуванню поверхні нагрівання (похилі, вертикальні);
- по використанню тепла вторинних парів (з використанням і без використання);
- по числу корпусів (одно-, двох- і багатокорпусні);
- по руху згущуємої рідини (циркуляційні, з падаючою або піднімаючою плівкою).

Переваги випарювання у вакуум-апаратах в порівнянні з випарюванням при атмосферному тиску:

- Випарювання у вакуумі при температурі кипіння близько 60°C рідин, кипіння яких при атмосферному тиску має температуру кипіння 100°C і супроводжується фізико-хімічними змінами з втратою біологічної цінності продукту.
- Зменшення втрат тепла в навколишнє середовище, і як наслідок - витрат гріючої пари.
- Можливість використання вторинної пари, що призводить до економії тепла, зменшенню витрат теплої пари.
- Менший час згущення і більше знімання продукту з 1 кг площі нагріву, - завдяки більшому перепаду температур між теплоносієм і рідиною, що випарюється.

Методи випарювання.

Випарювання проводять у випарних установках різних конструкцій. Теплоносієм зазвичай служить насичений водяний пар. Залежно від умов випарювання застосовуються поодинокі випарні апарати і багатокорпусні випарні установки (БВУ) складені з декількох одиночних випарників (корпусів).

За методом ведення процесу розрізняють періодичне і безперервне випарювання. При періодичному випарюванні розчин надходить в один апарат і згущується до заданої концентрації, або в міру випарювання безперервно або періодично вводиться свіжий розчин до тих пір, поки уварювалася маса заповнить весь апарат. Згущений розчин випускають, а апарат заповнюється новою порцією свіжого розчину. Безперервний процес випарювання здійснюється в одиночних апаратах безперервної дії або в багатокорпусних випарних установках. Тут спостерігається сталий в часі процес: гріючий пар і рідкий розчин надходять безперервно; при цьому видаляється постійне кількість концентрованого розчину, безперервно відводиться гарячий конденсат пари, що гріє і вторинний пар.

Надходження розчину в випарну установку може здійснюватися за трьома схемами: прямоточною, противоточною і паралельною харчування. При прямоточному харчуванні розчин надходить в перший корпус і самопливом переходить в наступні корпусу за рахунок різниці тисків. При переході розчину з попереднього корпусу в наступний в область меншого тиску і менших температур, частина води з цього розчину випаровується за рахунок надлишкової теплоти міститься в розчині.

При противоточному харчуванні схема руху пара зберігається, але розчин надходить в останній корпус і в концентрованому вигляді виходить з 4 першого. Внаслідок того, що тиск від останнього корпусу до першого поступово зростає, для перекачування розчину встановлюють відцентрові насоси. Протиточні установки використовують в основному для

випарювання розчинів, в'язкість яких різко зростає зі збільшенням зі збільшенням концентрації, а також, якщо можливо випадання твердої речовини з розчину в останньому корпусі.

При паралельному живленні розчин надходить в усі корпусу одночасно і з них відбирається; по гріючій пару зберігається послідовне з'єднання корпусів. Цей метод застосовується при випаровуванні розчину, з якого видаляється невелика кількість розчинника.

Випарювання із застосуванням теплового насоса засновано на використанні вторинної пари в якості що гріє, а тому ж випарної апараті. Для цього температура вторинної пари повинна бути підвищена до температури пари, що гріє. Підвищення температури вторинної пари досягається стисканням його в компресорі або паровому інжекторі. В якості компресора зазвичай використовується турбокомпресор.

2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРУВАННЯ ІТАКОНОВОЇ КИСЛОТИ

Ітаконовая кислота $C_5H_6O_4$ є ненасиченою двоосновною кислотою. Наявність у молекулі двох карбоксильних груп й активної метиленової групи визначає високу активність полімеризації ітаконової кислоти й участь у різних реакціях приєднання.

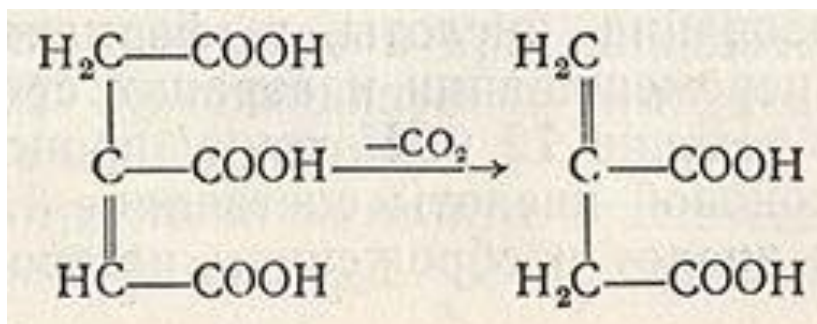
Ітаконова кислота являє собою білий кристалічний порошок, добре розчинний у воді й деяких органічних розчинниках, має молекулярну масу 130,1, щільність 1,63 і температуру плавлення 167-168 °C.

Застосовується як полімер для карбоксилатних каучуків. Ітаконова кислота бере участь в реакціях полімеризації, утворюючи полімери з вільними карбоксильними групами. Ітаконова кислота використовується для отримання піролідон, бутіролактон, метілбутандіола, детергентів, гербіцидів, стирен-бутадієновий полімерів, нітрильних латексів, розчинників.

Виробництво ітаконової кислоти включає наступні основні технологічні стадії: одержання посівного матеріалу, культивування продуцента глибинним способом, виділення ітаконової кислоти.

Біосинтез ітаконовою кислоти пов'язаний з реакціями циклу Кребса. При декарбоксилюванні вихідного продукту-цис-аконітова кислота - утворюється ітаконовою кислота. Під час реакції в вуглецевому кістяку відбувається переміщення електронів, в результаті подвійний зв'язок переходить з положення 2,3 в положення 3,4

Цикл Кребса



Одержання посівного матеріалу.

Для виробництва ітаконової кислоти поверхневим і глибинним способами використовують відселекціоновані види *Asp. terreus* й *Asp. itaconicus*. Посівний матеріал розмножується в пробірках з агаризованим середовищем (сусло-агар), а потім у колбах на рідкому поживному середовищі. Тривалість кожної стадії 2-6 доб, оптимальна температура культивування 30-32 °С.

Культивування *Asp. terreus* глибинним способом.

При одержанні ітаконової кислоти глибинним способом культивування продуцента для підращування міцелію й на стадії виробничої ферментації може бути використане середовище однакового складу, але з різною концентрацією компонентів.

Поживне середовище для підрощування міцелію доцільно засівати попередньо (за 10-12 год) замоченими в середовищі конідіями з розрахунку 0,75 г конідій на 1 м3 середовища.

Біосинтез ітаконової кислоти протікає найбільше інтенсивно при засіві виробничого ферментатора культурою, що перебуває на прикінці логарифмічної фази росту, що відповідає приблизно 30 год росту.

Процес утворення кислоти у ферментаторі протікає при постійному перемішуванні й аерації середовища при температурі 33-36°С протягом 72 год. До кінця процесу ферментації вміст ітаконової кислоти становить 37-38 г/л при загальному вмісті кислот у

збродженому розчині 38,5-39,0 г/л.

В умовах поверхневого способу зброджування розчину сахарози (шар 12 см) культурою *Asp. terreus* за 10-12 діб утвориться 56-58 % ітаконової кислоти в перерахуванні на цукор, причому ітаконова кислота 50 становить 94-97 % від суми всіх кислот, що утворилися (фумарової, шавлевої, янтарної).

У зброджених розчинах в середньому міститься від 3 до 6% ітаконовою кислоти, 0,5-1,5% незброджених цукрів, 0,3-0,6% інших органічних кислот і невелика кількість різних солей і фарбувальних речовин.

Виділення ітаконової кислоти.

Киплячий зброджений розчин, звільнений від грибного міцелію, обробляють активним вугіллям (0,3- 0,5%) і фільтрують. Фільтрат упарюють при температурі 50-60 °С до 1/4- 51 1/10 первісного обсягу. Упарений розчин подається в кристалізатор, де охолоджується до 13-15°С. Кристалізується ітаконова кислоти 75- 80 % від її змісту в розчині.

Технічна ітаконова кислота відокремлюється на центрифугі. Вона містить 3-6 % вологи, 1-3 % інших органічних кислот й 2-5 % різних домішок. Для очищення технічну ітаконову кислоту розчиняють у гарячій воді до 25 %-вої концентрації й освітлюють активованим вугіллям (5-8 % по масі кислоти). Гарячий розчин фільтрують, а потім кристалізують. У процесі центрифугування кристали кислоти промивають дистильованою водою.

Маточний розчин після перекристалізації упарюють до 30-40 % первісного обсягу й кристалізують удруге. Із цією метою гарячий розчин знову фільтрують і концентрують. Концентрат повільно охолоджують, а потім центрифугують. Кристали ітаконової кислоти, що випали, промивають дистильованою водою, сушать. Третя стадія очищення передбачає спільну обробку маточних і зброджених розчинів

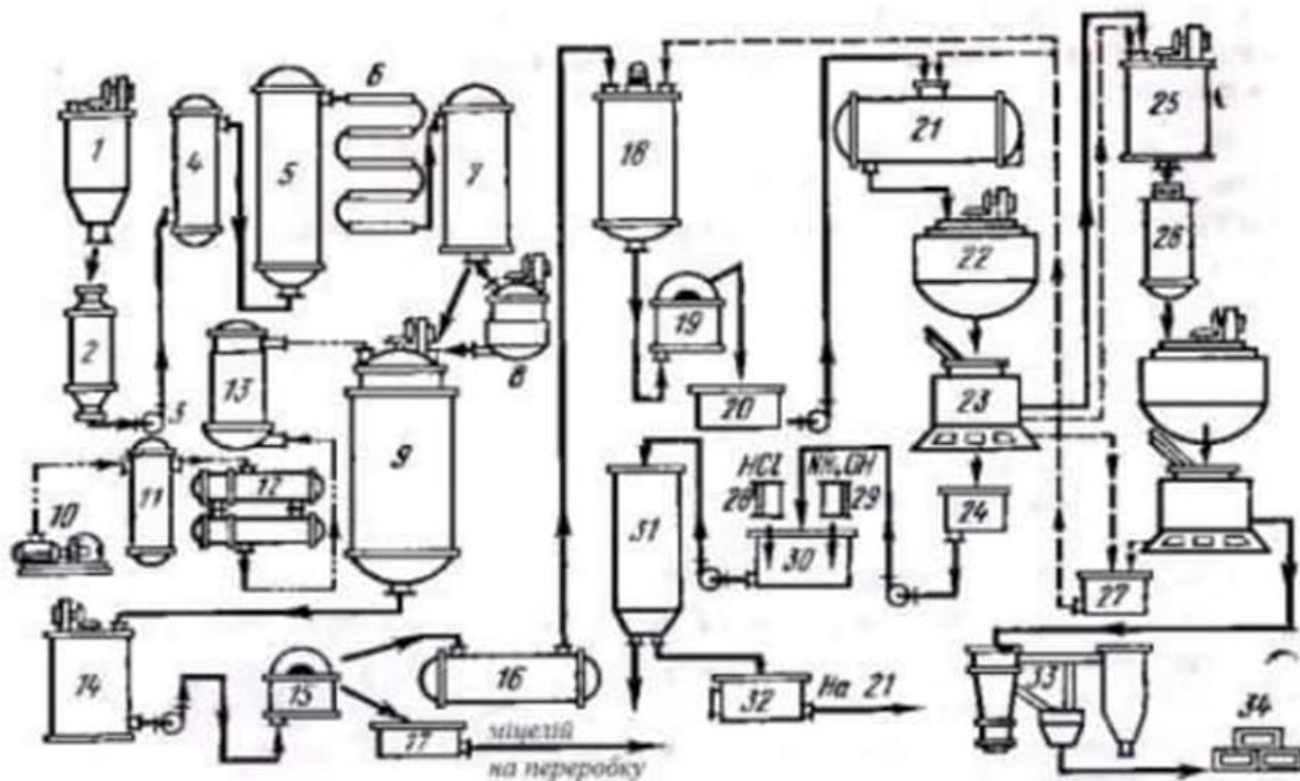
у зазначеній послідовності.

При підвищеному вмісті залишкових цукрів й інших домішок у зброджених розчинах рекомендується проводити виділення ітаконової кислоти за допомогою іонообмінних смол. Регенерація відпрацьованого іоніта здійснюється соляною кислотою, а перевод в основну форму - розчином аміаку.

Киплячий зброджений розчин, звільнений від грибного міцелію, обробляють активним вугіллям і фільтрують. Упарений розчин подається в кристалізатор, де охолоджується. Технічна ітаконова кислота відокремлюється на центрифугі. Для очищення технічну ітаконову кислоту розчиняють у гарячій воді й освітлюють активованим вугіллям.

2.1. Опис технологічної схеми виробництва ітаконової кислоти

Технологічна схема одержання ітаконової кислоти глибинним способом представлена на рисунку.



1 - змішувач; 2- сітчастий фільтр; 3 - відцентровий насос; 4- стерилізаційна колона; 5 - витримувач; 6 - охолоджувач; 7- збірник; 8 - ферментатор для підрощування; 9 - ферментатор виробничий; 10 - компресор; 11 - ресивер; 12 - холодильник; 13-фільтр; 14 - збірник; 15 - барабанний вакуум-фільтр; 16 - збірникмонтежю; 17 - збірник міцелію; 18 – збірник-освітлювач; 19-барабанний вакуумфільтр; 20 - збірник розчинів; 21 - вакуум-апарат; 22 - кристалізатор; 23 - центрифуга; 24 - збірник фільтрату; 25 - розчинник кристалів; 26 - друк- фільтр; 27- збірник маточних розчинів; 28 - мірник соляної кислоти; 29 - мірник розчину аміаку; 30 - реактор для розведення; 31 - аніонітовий фільтр; 32-збірник розчинів; 33 - сушарка; 34 - готова продукція.

3. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРОЕКТОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВИПАРНОГО АПАРАТУ

Горизонтальні суцільнозварні апарати з еліптичними днищами і трубним пучком ГЕЕ призначені для прийому, зберігання та видачі рідких і газоподібних середовищ при умовному тиску в апараті 0,6 МПа (6 кгс / см²), з постійним або періодичним підігрівом (або охолодженням).

Видача рідких середовищ може здійснюватися як самопливом, так і передавлювання стисненим повітрям, технологічним або інертним газом.

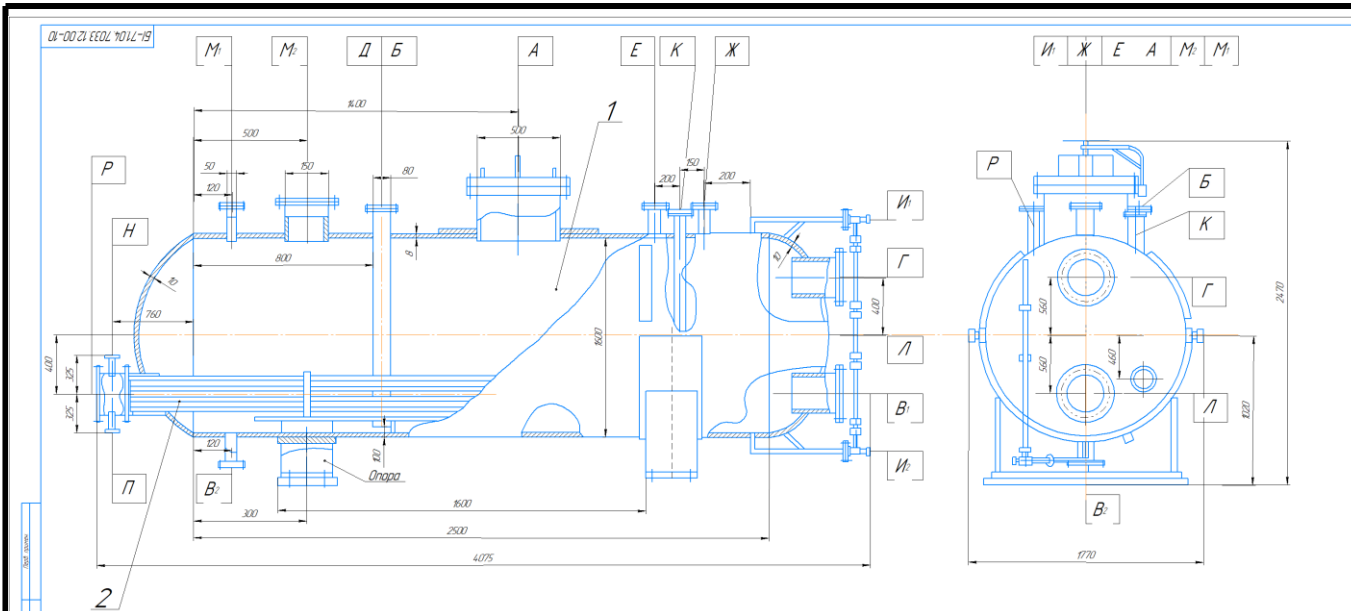
Тиск теплоносія не більше 0,6 МПа (6 кгс / см²).

Приклад умовного позначення апарату ГЕЕ при замовленні: Апарат горизонтальний - Г, з еліптичними днищами - ЕЕ, суцільнозварний - 1, з трубним пучком - 2, номінальним обсягом 10 м³, розрахованих на умовний тиск 0,6 МПа:

Ємнісний апарат типу ГЕЕ є суцільнозварну конструкцію горизонтального типу. Дані апарати можуть також експлуатуватися в якості сховищ для рідких середовищ з високими корозійними показниками. В цьому випадку посудину зсередини покривають спеціальним захисним антикорозійним складом.

Горизонтальні суцільнозварні апарати з еліптичними днищами широко застосовуються на газо- і нафтопереробних підприємствах, в хімічній промисловості, металургії та навіть у сільському господарстві. Ємнісний апарат ГЕЕ може бути використаний в якості самостійного обладнання, а також у складі технологічних ліній.

Технічні характеристики горизонтального суцільнозварного апарату залежать від вимог замовника, кліматичних умов та інших факторів.



Горизонтальний суцільнозварний апарат з еліптичних днищем

Позначення: А - люк-лаз, Б - вхід середовища, В1, В2 - вихід середовища, Г - перелив води, Д - труба передавливання, Е - установка запобіжно клапана, Ж - установка манометра, И1, И2 - установка колонки показчика рівня трубчастого типу, К - установка Уровнемер типу УБ, Л - установка термометра, М, М1, М2 - резервний, Н1, Н2 - вхід теплоносія, П - вихід теплоносія, С - установка насосу, Т - видача середовища, В - вхід і вихід повітря (в сорочці).

4. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВАКУУМ-ВИПАРНОГО АПАРАТУ

1. Призначення – для концентрування ітаконової кислоти.
2. Об'єм, м³ :

умовний	6,3;
повний	6,196;
3. Внутрішній діаметр, м: 1,6 ;
4. Площа поверхні теплообміну, м² 4,2;
5. Довжина труб нагрівача, м: 3,25;
6. Зовнішній діаметр труби нагрівача, м: 0,025;
7. Внутрішній діаметр труби нагрівача, м: 0,021;
8. Товщина стінки труби, м: 0,002;
9. Матеріал труб нагрівача – сталь 12Х18Н10Т.
10. Маса апарату кг: 1460;
11. Маса розчину ітаконової кислоти 5100 кг;
12. Концентрація ітаконової кислоти

- початкова	X1 = 6%(мас.)
- кінцева	X2 = 42%(мас.)
13. Температура розчину:

-початкова	t2'=20 С
-в процесі випарювання	t2''=60 С
14. Габаритні розміри:

- довжина:	4075 м
- ширина:	1770 м
- висота:	2470 м
15. Температура насиченої гріючої водяної пари: t1 =110 С

5. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Вихідні дані:

- маса розчину ітаконової кислоти $G_2 = 5100 \text{ кг/год}$;
- концентрація ітаконової кислоти в розчині:
початкова $x_1 = 6\%$ (мас.),
кінцева $x_2 = 42\%$ (мас.);
- температура розчину:
початкова $t'_2 = 20^\circ\text{C}$,
в процесі випарювання $t''_2 = 60^\circ\text{C}$;
- температура насиченої гріючої водяної пари $t_1 = 110^\circ\text{C}$.
- об'єм випарника $V = 6,3 \text{ м}^3$

Теплофізичні властивості ітаконової кислоти брати для лимонної кислоти.

1. Матеріальний баланс.

Маса випаруваної води:

$$W = G_2 \left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right)$$

$$W = 5100 \left(1 - \frac{6}{42}\right)$$

$$W = 4371,43 \text{ кг}$$

2. Тепловий баланс

Кількість теплоти, що витрачається на концентрування розчину:

$$Q = G_2 C_2 (t''_2 - t'_2) + W r$$

$$Q = 5100 \cdot 4150 (60 - 20) + 4371,4 \cdot 2356900$$

$$Q = 11,15 \cdot 10^9 \text{ Вт}$$

де C_2 – теплоємність 6% - го розчину ітаконової кислоти при температурі

$$t_{2cp} = 0,5(t'_2 + t''_2)$$

$$t_{2cp} = 0,5(20 + 60)$$

$$t_{2cp} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$C_2 = (0.99 - 0.66x_1 + 0.001t_{2cp}) \cdot 4190$$

$$C_2 = (0.99 - 0.66 \cdot 0.06 + 0.001 \cdot 40) \cdot 4190$$

$$C_2 = 4150 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$$

Витрата гріючої пари

$$G_1 = \frac{1.07 \cdot Q}{r_1}$$

$$G_1 = \frac{1.07 \cdot 11,15 \cdot 10^9}{2207 \cdot 10^3}$$

$$G_1 = 5405,6 \text{ кг}$$

3. Вибір апарату

Для концентрування розчину ітаконової кислоти, вибираємо горизонтальний цільнозварний збірник з підігрівом зі слідуючими параметрами:

- об'єм апарата $V = 6,3 \text{ м}^3$;
- внутрішній діаметр $D = 1,6 \text{ м}$;
- площа поверхні теплообміну $F = 4,2 \text{ м}^2$;
- довжина труб нагрівача $L = 3,25 \text{ м}$;
- зовнішній діаметр труби нагрівача $d_2 = 0.025 \text{ м}$;
- внутрішній діаметр труби нагрівача $d_1 = 0.021 \text{ м}$;
- товщина стінки труби $\delta_{\text{ст}} = 0.002 \text{ м}$;

- матеріал труб нагрівача – сталь 12Х18Н10Т.

Час проведення процесу концентрування:

$$\tau = \frac{G_2 C_2 (t_2'' - t_2')}{K_H F \Delta t_H} + \frac{Wr}{K_K F \Delta t_K}$$

$$\tau = \frac{5100 \cdot 4150(60 - 20)}{300 \cdot 4.2 \cdot 78.3} + \frac{4371.43 \cdot 2356.9 \cdot 10^3}{1000 \cdot 4.2 \cdot 60}$$

$$\tau = 49466 \text{ с} = 13.74 \text{ год.}$$

Δt_H – середня різниця температур при нагріванні розчину:

$$\Delta t_H = \frac{(t_1 - t_2') - (t_1 - t_2'')}{\ln \frac{t_1 - t_2'}{t_1 - t_2''}}$$

$$\Delta t_H = \frac{(120 - 20) - (120 - 60)}{\ln \frac{120 - 20}{120 - 60}}$$

$$\Delta t_H = 78,3 \text{ К}$$

Δt_K – середня різниця температур при кипінні розчину:

$$\Delta t_K = t_1 - t_2'' = 120 - 60 = 60 \text{ К.}$$

4. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі при нагріванні розчину.

Задаємо значення коефіцієнта теплопередачі:

$$K_H = 290 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Час нагрівання розчину до температури кипіння:

$$\tau = \frac{Q_H}{K_H F \Delta t_H} = \frac{846600000}{290 \cdot 4.2 \cdot 78.3} = 8877 \text{ с.}$$

де Q_H – тепло, яке витрачається на нагрівання розчину

$$Q_H = G_2 C_2 (t_2'' - t_2')$$

$$Q_H = 5100 \cdot 4150 (60 - 20)$$

$$Q_H = 846600000 \text{ Дж}$$

Температура стінки зі сторони розчину:

$$t_{ст2} = t_{2cp} + \frac{Q_H \cdot \delta_{ст}}{F \cdot \lambda_{ст} \cdot \tau_H}$$

$$t_{ст2} = 40 + \frac{846600000 \cdot 0.002}{4.2 \cdot 17.5 \cdot 8877}$$

$$t_{ст2} = 42.68^\circ\text{C}$$

де $\lambda_{ст} = 17,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріала стінки;

$\delta_{ст} = 0,002 \text{ м}$ – товщина стінки труби нагрівача.

Критерій Грасгофа:

$$Gr_2 = \frac{g \cdot d_2^3 \cdot \rho_2^2}{\mu_2^2} \cdot \beta_2 (t_{ст2} - t_{2cp})$$

$$Gr_2 = \frac{9,81 \cdot 0.025^3 \cdot 1017,8^2}{(0,727 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 5,01 \cdot 10^{-4} (42,68 - 40)$$

$$Gr_2 = 0,4034 \cdot 10^6$$

$\beta_2 = 5,01 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ – коефіцієнт об'ємного розширення розчину при температурі t_{2cp} ;

ρ_2 – густина розчину

$$\rho_2 = (1,01 + 0,47 \cdot 0,06) \cdot 10^3 - 0,51 \cdot 40$$

$$\rho_2 = 1017,8 \text{ кг/м}^3$$

μ_2 – коефіцієнт динамічної вязкості розчину, знаходимо з рівняння

$$\sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_B}} = \exp(7,4 \cdot 0,06^{1,65} \cdot \frac{100}{100 + 40})$$

$$\sqrt{\frac{\mu_2}{0,65}} = \exp(7,4 \cdot 0,06^{1,65} \cdot \frac{100}{100 + 40})$$

$$\mu_2 = \mu_B \cdot 1,0522^2 = 0,657 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0522^2 = 0,727 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критерій Прандтля:

$$Pr_2 = \frac{C_2 \mu_2}{\lambda_2}$$

$$Pr_2 = \frac{4150 \cdot 0,727 \cdot 10^{-3}}{0,606}$$

$$Pr_2 = 4,9783$$

λ_2 – коефіцієнт теплопровідності розчину

$$\lambda_2 = \lambda_K x_1 + \lambda_B (1 - x_1)$$

$$\lambda_2 = 0,168 \cdot 0,06 + 0,634(1 - 0,06)$$

$$\lambda_2 = 0,606 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$$

$\mu_{\text{в}} = 0,657 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\lambda_{\text{в}} = 0,634 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ – відповідно коефіцієнти динамічної в'язкості і теплопровідності води при температурі $t_{2\text{ср}}$;

$\lambda_{\text{к}} = 0,168 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ – коефіцієнт теплопровідності ітаконової кислоти.

$Pr_{2\text{ст}}$ – критерій Прандтля при температурі $t_{2\text{ср}}$;

$$Pr_{2\text{ст}} = \frac{C_{2\text{ст}} \cdot \mu_{2\text{ст}}}{\lambda_{2\text{ст}}}$$

$$Pr_{2\text{ст}} = \frac{4161 \cdot 0,694 \cdot 10^{-3}}{0,6098}$$

$$Pr_{2\text{ст}} = 4,7355$$

$C_{2\text{ст}}$ – питома теплоємність розчину

$$C_{2\text{ст}} = (0,099 - 0,66 \cdot 0,06 + 0,001 \cdot 42,68) \cdot 4190$$

$$C_{2\text{ст}} = 4161 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$$

$\lambda_{2\text{ст}}$ – коефіцієнт теплопровідності розчину

$$\lambda_{2\text{ст}} = \lambda_{\text{к}} x_1 + \lambda_{\text{вст}} (1 - x_1)$$

$$\lambda_{2\text{ст}} = 0,168 \cdot 0,06 + 0,638 (1 - 0,06)$$

$$\lambda_{2\text{ст}} = 0,6098 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$$

$\mu_{2\text{ст}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину

$$\sqrt{\frac{\mu_{2\text{ст}}}{\mu_{\text{вст}}}} = \exp(7,4 \cdot 0,06^{1,65} \cdot \frac{100}{100 + t_{2\text{ср}}})$$

$$\sqrt{\frac{\mu_{2\text{ст}}}{0,894}} = \exp(7,4 \cdot 0,06^{1,65} \cdot \frac{42,68}{100 + 42,68})$$

$$\mu_{2\text{ст}} = \mu_{\text{вст}} \cdot 1,05125^2 = 0,628 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05125^2 = 0,694 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$\mu_{\text{вст}} = 0,625 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\lambda_{\text{вст}} = 0,638 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ — відповідно коефіцієнти динамічної в'язкості і теплопровідності води при температурі $t_{\text{ст}2}$;

Критерій Нусельта:

$$Nu_2 = 0,5(Gr_2 \cdot Pr_2)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}}\right)^{0,25}$$

$$Nu_2 = 0,5(0,4034 \cdot 10^6 \cdot 4,9783)^{0,25} \cdot \left(\frac{4,9783}{4,7355}\right)^{0,25}$$

$$Nu_2 = 19,059$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби нагрівача до розчину:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2}$$

$$\alpha_2 = \frac{19,059 \cdot 0,606}{0,025}$$

$$\alpha_2 = 462 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації насиченої пари в середині горизонтальної труби:

$$\alpha_1 = 1,36 \cdot A \cdot L^{0,35} q_{\text{н}}^{0,5} d_1^{-0,25}$$

$$\alpha_1 = 1,36 \cdot 7,8 \cdot 3,25^{0,35} \cdot 22707,16^{0,5} \cdot 0,021^{-0,25}$$

$$\alpha_1 = 6343,36 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

$$\text{де } q_H = \frac{Q_H}{F_{\tau_H}} = \frac{846600000}{4.2 \cdot 8877} = 22707.16 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

$L = 3.25 \text{ м}$ – довжина труб нагрівача;

$d_1 = 0.021 \text{ м}$ – внутрішній діаметр труби;

$A = f(t)$ – коефіцієнт;

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_H = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$K_H = \frac{1}{\frac{1}{6343,36} + 1,149 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{462}}$$

$$K_H = 288 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Де $\sum r_{\text{ст}}$ – термічний опір стінки

$$\sum r_{\text{ст}} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

$$\sum r_{\text{ст}} = \frac{0.002}{17.5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{1160}$$

$$\sum r_{\text{ст}} = 1,149 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$r_1 = 5800 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$, $r_2 = 1160 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$ – термічні опори зі сторони пари та розчину.

$$\varepsilon = \frac{290 - 288}{288} \cdot 100 = 0,69\%$$

де $\lambda_{\text{ст}} = 17,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріала стінки;

$\delta_{\text{ст}} = 0,002 \text{ м}$ – товщина стінки труби нагрівача.

5. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі при кипінні розчину.

Приймаємо коефіцієнт теплопередачі:

$$K_k = 575 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Тепло, яке витрачається на концентрування розчину:

$$Q_k = W r$$

$$Q_k = 4371.43 \cdot 2356.9 \cdot 10^3 = 10303023367 \text{ Дж}$$

де $r = 2356,9 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ – питома теплота пароутворення води при температурі t_2'' .

Час проведення процесу концентрування:

$$\tau_k = \frac{Q_k}{K_k F \Delta t_k} = \frac{10303023367}{575 \cdot 4.2 \cdot 60} = 71104,3 \text{ с.}$$

Питомий тепловий потік:

$$q_k = \frac{Q_k}{F \cdot \tau_k} = \frac{846600000}{4.2 \cdot 71104,3} = 34500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації насиченої водяної пари:

$$\alpha_1 = 1.36 \cdot 7,8 \cdot L^{0.35} q_k^{0.5} d_1^{-0.25}$$

$$\alpha_1 = 1.36 \cdot 7,8 \cdot 3,25^{0.35} 34500^{0.5} 0.021^{-0.25}$$

$$\alpha_1 = 7819 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні розчину:

$$\alpha_2 = 780 q_k^{0.6} \frac{\lambda_2^{1.3} \cdot \rho_2^{0.5} \cdot \rho_{п2}^{0.06}}{\sigma_2^{0.5} \cdot r \cdot \rho_0^{0.66} \cdot C_2^{0.3} \cdot \mu_2^{0.3}}$$

$$\alpha_2 = \frac{760 \cdot 34500^{0,6} \cdot 0,453^{1,3} \cdot 1176,8^{0,5} \cdot 0,1301^{0,06}}{(38,81 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot (2356,9 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,597^{0,66} \cdot 3238^{0,3} \cdot (4,286 \cdot 10^3)^{0,3}}$$

$$\alpha_2 = 2174 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

$$\text{де } \lambda_2 = \lambda_{\text{к}} x_2 + \lambda_{\text{в}} (1 - x_2) = 0,168 \cdot 0,42 + 0,659 (1 - 0,42) = 0,453 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$$

$$\lambda_{\text{в}} = 0,659 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})} - \text{коефіцієнт теплопровідності води при температурі } t_2''.$$

ρ_2 – густина розчину

$$\rho_2 = (1,01 + 0,47 \cdot 0,42) \cdot 10^3 - 0,51 \cdot 60$$

$$\rho_2 = 1176,8 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{п2}} = 0,1301 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{густина насиченої водяної пари при температурі } t_2'';$$

$$\sigma_2 = \sigma_b - 15 \frac{x_2 \cdot 10^{-2}}{x_2 + 0,5} \cdot (1 - 10^{-2} \cdot t_2'')$$

$$\sigma_2 = 66,2 \cdot 10^{-3} - 15 \frac{0,42 \cdot 10^{-2}}{0,42 + 0,5} \cdot (1 - 10^{-2} \cdot 60)$$

$$\sigma_2 = 38,81 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

$$\sigma_b = 66,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}} - \text{коефіцієнт поверхневого натягу води при температурі } t_2'';$$

$$\rho_0 = 0,597 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{густина насиченої водяної пари при } 100^\circ\text{С};$$

C_2 – питома теплоємність розчину

$$C_2 = (0,99 - 0,66 \cdot 0,42 + 0,001 \cdot 60) \cdot 4190$$

$$C_2 = 3238 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$$

$\mu_{2\text{ст}}$ – коефіцієнт динамічної вязкості розчину

$$\sqrt{\frac{\mu_2}{0,4668}} = \exp\left(7.4 \cdot 0,42^{1.65} \cdot \frac{100}{100 + 60}\right)$$

$$\sqrt{\frac{\mu_2}{0,4668}} = \exp\left(7.4 \cdot 0,42^{1.65} \cdot \frac{100}{100 + 60}\right) = 3,02$$

$$\mu_2 = \mu_{\text{в}} \cdot 3,02^2 = 0,47 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1204^2 = 4,286 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$\mu_{\text{в}} = 0,47 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – о коефіцієнти динамічної в'язкості води при температурі t_2'' ;

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_{\text{н}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$K_k = \frac{1}{\frac{1}{7819} + 1,149 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{2174}}$$

$$K_{\text{н}} = 575,75 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

6. Тривалість процесу концентрування.

Час проведення процесу концентрування розчину ітаконової кислоти:

$$\tau = \frac{G_2 \cdot C_2(t_2'' - t_2')}{K_{\text{н}} \cdot F \cdot \Delta t_{\text{н}}} + \frac{Wr}{K_k \cdot F \cdot \Delta t_k}$$

$$\tau = \frac{5100 \cdot 4150 \cdot (60 - 20)}{288 \cdot 4,2 \cdot 78,3} + \frac{4371.4 \cdot 2356,9 \cdot 10^3}{575,75 \cdot 4,2 \cdot 60}$$

$$\tau = 55291 \text{ с.} = 22,2 \text{ год.}$$

7. Розрахунки апарату на міцність

7.1. Розрахунок циліндричної обичайки, що навантажена зовнішнім надлишковим тиском.

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки корпусу апарату та перевірка її працездатності в робочих умовах.

Зовнішній надлишковий тиск: $P=0,2\text{МПа}$

Розрахункова довжина обичайки $l_{\text{ц}}=3,25\text{ м}$, внутрішній діаметр $D = 1,6\text{ м}$.

Товщина стінки обичайки розраховується на наступною формулою:

$$S \geq S_p \cdot 6 + C + C_0, \text{ де}$$
$$S_p = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1.1 \cdot P \cdot D}{2[\sigma]} \right\} \geq S_p \cdot 6 + C + C_0$$

тут S_p - розрахункова товщина стінки обичайки, м;

$C=C_1+ C_2+ C_3$, C_0 – прибавка до розрахункової товщини стінки, м.

Розрахунковий зовнішній тиск:

$$P_p = 1,05 \cdot P_1 = 1,05 \cdot 0,2 \cdot 10^6 = 0,21\text{МПа}$$

Допустиме напруження для Сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 при температурі 40°C $[\sigma]_{40} = 158\text{МПа}$. [9]

Прибавка для компенсації корозії:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau_{\Pi} = 0,1 \cdot 20 = 0,002\text{ м},$$

де $\Pi = 0,0001\text{ м/рік}$ - швидкість корозії;

$\tau_{\Pi} = 20\text{ років}$ - термін експлуатації апарату.

Прибавку для компенсації мінусового допуску C_2 та технологічну прибавку C_3 приймаємо рівними нулю. Тоді:

$$C = 0,002 + 0 + 0 = 0,002\text{м}$$

Коефіцієнт K_2 знайдемо за допомогою номограми, попередньо розрахувавши коефіцієнти K_1 , K_3 та K_4 :

$$K_1 = \frac{n_y P_p}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = \frac{2,4 \cdot 0,21 \cdot 10^6}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6} = 1,05,$$

$$K_3 = \frac{l_{\text{ц}}}{D} = \frac{3,25}{1,6} = 2,03,$$

$$K_4 = \frac{10^3 [\sigma]_{40}}{E} = \frac{10^3 \cdot 158 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6} = 0,79,$$

де $n_y = 2,4$ - коефіцієнт стійкості; $E = 2 \cdot 10^5 \text{МПа}$ - модуль пружності.

За номограмою коефіцієнт $K_2 = 1,8$.

Отже, розрахункова товщина стінки:

$$S_p = \max \left\{ 1,8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot 0,21 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{2 \cdot 158 \cdot 10^6} \right\} = \max \{0,029; 0,0011\} = 0,029\text{м}.$$

Виконавча товщина стінки обичайки:

$$S = 0,029 + 0,002 = 0,03\text{м}.$$

Приймаємо з стандартного ряду товщину стінки $S=0,03$ м.

Допустимий тиск з умов стійкості в межах пружності:

$$[P]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left(\frac{100(S - C)}{D} \right)^2 \sqrt{\frac{100(S - C)}{D}} =$$

$$= \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2.4 \cdot 1} \cdot \frac{1.6}{3.25} \cdot \left(\frac{100(0.03 - 0.002)}{1.6} \right)^2 \sqrt{\frac{100(0.03 - 0.002)}{1.6}}$$

$$= 3 \text{ МПа},$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 8,15 \cdot \frac{D}{l_{\text{ц}}} \cdot \sqrt{\frac{D}{100(S - C)}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1,0; 8,15 \cdot \frac{1.6}{3.25} \cdot \sqrt{\frac{1.6}{100(0.03 - 0.002)}} \right\} = \min\{1,0; 3,0\} = 1$$

Допустимий тиск з умов міцності в межах пружності:

$$[P]_{\sigma} = \frac{2[\sigma]_{40}(S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 158 \cdot 10^6(0.03 - 0.002)}{1.6 + 0.03 - 0.002} = 5,4 \text{ МПа}.$$

Допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{[P]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\sigma}}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{5,4 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{5,4 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^6} \right)^2}} = 2,6 \text{ МПа}$$

$$0,21 \text{ МПа} < 2,6 \text{ МПа},$$

Отже, обичайка з товщиною стінки 0,03м працездатна та не потребує укріплення.

7.2 Розрахунок товщини кришок, що навантажені зовнішнім надлишковим тиском

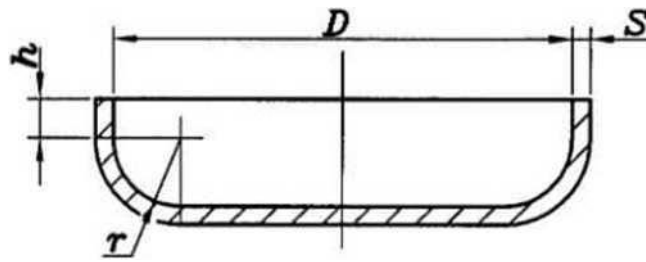


Рис. 7.1 Розрахункова схема плоскої відбортованої кришки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки плоских відбортованих кришок апарата та перевірка їх працездатності в робочих умовах.

Розрахунок виконаний за методикою викладеною в [8].

Попередньо визначаємо розрахункову товщину стінки кришки:

$$S_{1p} = K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P}{\varphi \cdot [\sigma]}}$$

де $K = 0,4$ - коефіцієнт, що залежить від конструкції кришки,

$K_0 = 1$ - коефіцієнт ослаблення кришки отворами,

$\varphi = 0,8$ - коефіцієнт міцності зварних швів кришки [9]

$$S_p = K_0 \cdot K \cdot D_{об} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma] \cdot \varphi}} = 1 \cdot 0,4 \cdot 1,6 \sqrt{\frac{0,21 \cdot 10^6}{158 \cdot 10^6 \cdot 0,8}} = 0,026 \text{ м.}$$

Виконавча товщина кришки:

$$S_1 = S_{1p} + C + C_0 = 0,026 + 0,002 = 0,028$$

де $C = C_1 + C_2 + C_3$ - прибавка до розрахункової товщини стінки, м

Прибавка для компенсації корозії:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau_{\Pi} = 0,1 \cdot 20 = 0,002 \text{ м,}$$

де $\Pi = 0,0001$ м/рік- швидкість корозії;

$\tau_{\Pi} = 20$ років- термін експлуатації апарату.

Прибавку для компенсації мінусового допуску C_2 та технологічну прибавку C_3 приймаємо рівними нулю.

Приймаємо виконавчу товщину кришки $S_1=0,03\text{м}$.

Допустимий внутрішній тиск в апараті:

$$[P] = \left(\frac{S_1 - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] = \left(\frac{0.03 - 0.002}{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6} \right)^2 \cdot 158 \cdot 10^6 = 0.30 \text{МПа}$$

Умова міцності виконується:

$$P < [P]$$

$$0.21 \text{МПа} < 0.30 \text{МПа}$$

Умова застосування розрахункових формул виконується:

$$\frac{S_1 - C}{D_p} < 0.11$$

$$\frac{0.03 - 0.002}{1.6} < 0.11$$

$$0.0175 < 0.11$$

7.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою даного розрахунку є визначення конструкції з'єднання плоскої круглї кришки апарату з корпусом.

Розрахунок виконаний за методикою викладеною в [8].

Конструкцію з'єднання кришки і корпусу вибираємо з плоскими приварними фланцями та ущільнюючою поверхнею типу «шип-паз».

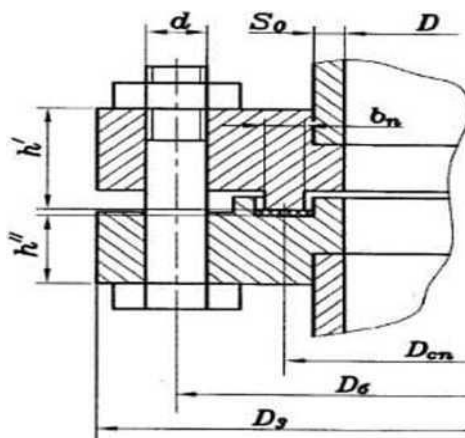


Рис. 7.2 Розрахункова схема для розрахунку фланцю плоского приварного

Приймаємо матеріал фланцю - 09Г2С(ГОСТ 5520-79)

матеріал болтів - сталь 35Х(ГОСТ 977-88)

коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 1$

Приймаємо стандартний фланець з наступними розмірами:

діаметр болтової окружності $D_b = 1,2$ м,

зовнішній діаметр фланця $D_3 = 1,3$ м,

діаметр болта $d = M24$.

Товщину втулки фланця приймаємо $S_0 = S = 0,02$ м, де S - виконавча товщина обичайки сушарки.

Середній діаметр прокладки для всіх фланців:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{сн}} - b = 1,16 - 0,03 = 1,13 \text{ м.}$$

де $b=0,03$ м - ширина прокладки.

Кількість болтів, необхідних для герметичності з'єднання:

$$n_b > \frac{\pi D_b}{t_{\text{ш}}} = \frac{3,14 \cdot 1,2}{0,2} = 18,8$$

приймаємо $n = 20$,

$$\text{де } t_{\text{ш}} = (3,8 \dots 4,8)d_6 = 4,8 \cdot 0,042 = 0,2 \text{ м}$$

Висота фланця:

$$h_{\text{ф}} > \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D \cdot S_0} = 0,32 \sqrt{1,6 \cdot 0,02} = 0,0572 \text{ м,}$$

де $\lambda_{\phi} = 0,32$ — допоміжний коефіцієнт для плоских фланців,
Приймаємо $h_{\phi} = 0,057$ м.

7.4 Розрахунок штуцерів

Метою даного розрахунку є визначення умовного діаметру штуцерів апарату.

Розрахунок виконаний за методикою викладеною в [10].

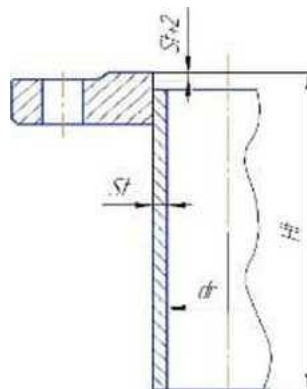


Рис. 7.3. Схема штуцера

Таблиця 7.4 - Розрахунок штуцерів. Вихідні дані

№ з/п	Характеристика	Одиниці виміру	Значення
1	Витрата води, $G_{\text{в}}$	кг/год	981
2	Швидкість подачі води, V	м/с	0,5
3	Густина води, $\rho_{\text{в}}$	кг/м ³	1177

Розрахунковий діаметр штуцера для подачі та відводу води:

$$d = \left(\frac{4 \cdot G_{\text{в}}}{\pi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot V \cdot 10} \right)^{0.5} = \left(\frac{4 \cdot 981}{3.14 \cdot 1177 \cdot 0.5 \cdot 10 \cdot 3600} \right)^{0.5} = 0.0077 \text{ м.}$$

Виходячи з конструктивних міркувань вибираємо штуцер з умовним діаметром $d_y = 0,032$ м для подачі та відводу води; штуцер з умовним діаметром $d_y = 0,1$ м для відводу пари.

7.5 Розрахунок опор

Метою даного розрахунку є визначення конструкції опор апарату та перевірка їхньої працездатності в робочих умовах. Розрахунку підлягає стінка апарату.

Розрахунок ведеться за ГОСТ 26202-84.

Для даного апарату обираємо сідлові опори, кількість опор $n = 2$.

Орієнтовна маса апарату з середовищем складає:

$$\begin{aligned} M_o &= M_{кр} + M_{ф} + M_{ц} + M_{ш} + M_{кр} + M_{пр} = \\ &= 500 + 78 + 800 + 25 + 60 + 200 = 1663, \text{ кг} \end{aligned}$$

де $M_{кр} = 2 \cdot 250 = 500$ кг - маса кришок;

$M_{ф} = 2 \cdot 39 = 78$ кг - маса фланців;

$M_{ц} = 800$ кг - маса циліндричної обичайки;

$M_{ш} = 25$ кг - маса штуцерів;

$M_{кр} = 60$ кг - маса кріпильних виробів;

$M_{пр} = 200$ кг - маса продукту;

Тоді, навантаження на опори:

$$F = M_o \cdot g = 1663 \cdot 9.81 = 16314$$

Реакції опор:

$$Ra = Rb = 0.5 \cdot 16314 = 8157H$$

де $F = 8157$ Н - навантаження на опори від повністю заповненого апарату.

Приведена довжина обичайки:

$$L_{пр} = L_{ц} + L_{кр} = 2,5 + 2 \cdot 0,56 = 3,62$$

де $L_{ц} = 2,5$ м - довжина циліндричної частини корпусу;

$L_{кр} = 0,56$ - висота кришки апарату.

Розрахунковий згинаючий момент:

$$M = R(0.24L_{\text{пр}} - 0.2D) = 8157(0.24 \cdot 3.62 - 0.2 \cdot 1.6) = 4476 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору поперечного перерізу обичайки:

$$W = \frac{(b + 8(S - C)(S - C)^2)}{6} = \frac{(0.25 + 8(0.03 - 0.002)(0.03 - 0.002)^2)}{6} \\ = 0.042 \text{ м}^3$$

де $b = 0,25$ м - ширина опори;

$S = 0,02$ м - товщина стінки обичайки;

$C = 0,002$ м - прибавка до товщини стінки обичайки.

Напруження в перерізі обичайки від опор:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{4476}{4.2 \cdot 10^{-2}} = 1.06 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\sigma = 1.06 \cdot 10^5 \text{ Па} < [\sigma] = 140 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності виконується.

6. РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНТАЖУ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Оптимальний режим роботи випарної установки забезпечує отримання в заданій кількості концентрувати розчину з останнього ступеня і вторинно-го пара корисних властивостей з проміжних корпусів при мінімальній витраті тепла. Витрата гострої пари, що гріє перший корпус, зазвичай мінімальний при максимально можливому відборі необхідної кількості вторичної пара для підігріву слабкого розчину з корпусів, які перебувають ближче до кінця випарної установки.

Для забезпечення оптимального режиму роботи ви-парної установки необхідно:

- 1) підтримувати заданий тиск пари, що гріє з коливаннями не більше $\pm 0,1$ ат;
- 2) підтримувати передбачене технологічним процесом розподіл температур і тисків по корпусам випарної установки;
- 3) здійснювати безперервне відведення конденсату з нагрівальних камер випарних апаратів і перевіряти його якість;
- 4) забезпечувати безперервне харчування випарної установки розчином, підігрітим до температури, близької до температури кипіння;
- 5) проводити нормальний перепуск розчину з одного корпусу в інший і систематично відводити з останнього корпусу готовий продукт, підтримуючи встановлений рівень розчинів в апаратах;
- 6) мати мінімальні втрати розчинів, концентратів і теплоносіїв;
- 7) підтримувати заданий розрідження в випарних апаратах, що працюють під вакуумом, і в випадках погіршення вакууму негайно виявляти причини і усунути їх; підтримувати в межах, заданих технологи-ного режимом, температуру води, що відводиться з барометричного конденсатора;
- 8) не рідше 1 разу в зміну видаляти з гріють камер повітря і неконденсуючі гази через витяжні труби;
- 9) дотримуватися графіка і порядок промивання випарних апаратів, а при

необхідності проводити позачергово-ні промивання і очищення апаратів від накипу;

10) забезпечувати безперервну роботу приладів теплового контролю і автоматичного регулювання, а так-же справний стан і безвідмовну роботу арматури і допоміжного обладнання випарної станції.

Випарні установки оснащують наступними приладами розчинами теплового контролю і автоматичного регулювання: паромером і манометром на цеховому паропроводі, автоматичними регуляторами тиску пари, що гріє , манометрами і вакуумметрами на гріючих камерах та на кожусі парового простору всіх корпусів, автоматичними регуляторами рівня розчину, вказують і сигналізують вакуумметрами на трубопроводах від барометричних або поверхневих конденсаторів, термометрами на всіх випарних апаратах, підігрівачах, барометричному або поверхневому конденсаторі, водоміром для обліку витрати води, що надходить на установку або в цех, витратоміром для обліку розчину, що надходить на випарки , і запобіжними клапанами по первинному та вторинному парам, якщо їх тиск перевищує атмосферний.

Для контролю за безперервним відведенням конденсату, а також за його якістю встановлюють водомірні скла, пробні крани, які сигналізують солеміри і інші прилади.

Багатокорпусна установка регулюється паровим вентилем, установленим на трубопроводі пара, яка гріє перший корпус, і проміжними вентилями на трубопроводах проміжного продукту між корпусами. Додаткове регулювання може здійснюватися зміною розрідження в останньому корпусі по засобом дросельного клапана на паровій комунікації до конденсатору або зміною витрати холодної води, що надходить в конденсатор. Температури в окремих корпусах самовстановлюються відповідно величині поверхні нагрівання, кількості випарованої води і коефіцієнту теплопередачі даного корпусу.

Автоматичне регулювання випарної станції може здійснюватися: в

залежності від щільності вихідного продукту - впливом на вентиль пари, що гріє першого корпусу, переданим від вентиля, який подає продукт, або в залежності від температури в інших корпусах - пропускними вентилями на паровій комунікації цих корпусів і автоматичними регуляторами сталості рівня в окремих корпусах.

Особливості обслуговування випарних установок. Перед початком випарювання установка піддається гарячій пробі на воді для перевірки в гарячому стані герметичності апаратів, арматури, трубопроводів, конденсатотвідників, приладів теплового контролю і автоматичного регулювання, для перевірки справності дренажів, конденсатора і повітряних насосів, а також для усунення всіх виявлених дефектів. Проба випарної станції на гарячій воді продовжується кілька годин. Під час гарячої проби підтягують болтові і з'єднання.

Для заповнення корпусів водою останній з них з'єднують з конденсатором і пуском вакуум-насоса створюють в ньому вакуум. Відкриваючи витяжні труби, створюють рівномірний перепад тисків між корпусами, що сприяє перетіканню води самопливом послідовно з першого корпусу до останнього. Одночасно з цим в парову камеру першого корпусу подають гострий пар; утворюється вторинна пара подають в гріючу камеру другого корпусу і т. д. до конденсатора, куди разом з надходженням пара з останнього корпусу подається охолоджуюча вода.

Після усунення дефектів установку в тому ж порядку заповнюють слабким розчином і пускають в роботу.

Не дозволяється подавати пар в випарні апарати, не заповнені водою або розчином, пускати холодну воду або холодний розчин в гарячу гріючу камеру, і різко підвищувати температуру, а також швидко підвищувати або знімати вакуум в апараті.

У міру випаровування розчину його рівень в корпусах опускається нижче нормального. Поповнення корпусів розчином починають з останнього

корпусу, подаючи в нього розчин з попереднього. Так поповнюються до нормального рівня все апарати аж до першого, куди слабкий розчин подається з витратного бака за допомогою насоса. Коли в останньому щаблі розчин досягне потрібної щільності, починають його випуск або відкачування з одночасним поповненням розчином послідовно кожного корпусу. Надалі процес ведуть так, щоб подача розчину в перший корпус, перепуск в наступні і випуск згущеного розчину з останнього корпусу відбувалися безперервно і рівномірно.

При сталому режимі роботи випарної станції необхідно дотримуватися таких умов, сприяє зниженню витрати пари, що гріє і досяг-ня максимальної продуктивності установки:

- 1) слабкий розчин повинен надходити на випарювання рівномірно, відповідати заданої концентрації і мати задану температуру;
- 2) в апаратах повинен підтримуватися рівень розчину, що забезпечує найбільший коефіцієнт тепло-віддачі;
- 3) за допомогою регулювання вентилями на трубопроводах пари, що гріє необхідно підтримувати заданий перепад температур між корпусами;
- 4) по витратомірам необхідно стежити за установленим по режиму відбором; перевищення відборів, особливо в перших корпусах, порушує розподіл теплового навантаження між корпусами Їх температурний режим, що знижує загальну продуктивність установки;
- 5) якість згущеного розчину необхідно витримувати на рівні не нижче заданого;
- 6) необхідно контролювати роботу конденсатовідвідника, відведення газів, кількість і чистоту вторинного пара, розрідження в останньому корпусі і конденсаторі.

При зупинці випарної станції припиняють подачу слабого розчину в першу щабель випарювання і замість нього починають подавати воду. Вторинний пар від випаровуючої води служить гріючою парою для розпарювання розчину в наступних корпусах. Так поступово водою

наповнюють всі апарати і ведуть випаровування до тих пір, поки з останнього корпусу не буде видалений весь згусте розчин.

Якщо зупинка проведена для промивання апаратів, то до води додають соду або соляну кислоту і протягом декількох годин підтримують в апаратах кипіння, після чого апарати спорожнюють, промивають чистою водою і провітрюють. При зупинці на тривалий час всі апарати і трубопроводи звільняють від рідини для запобігання розривів при її замерзанні.

Вимоги до експлуатації:

- Допустимі показники щільності вмісту не повинні перевищувати 1600 кг / м³;
- Експлуатація горизонтальних суцільнозварних апаратів ГЕЕ можлива при наступних допустимих показниках тиску: 0,6 МПа, 1,0 МПа і 1,6 МПа;
- Сейсмічний показник в регіоні, де експлуатується апарат типу ГЕЕ, не повинен перевищувати 7 балів;
- Установка апарату ГЕЕ в регіоні з сейсмічним показником більше 7 балів можлива тільки за умови, що всі діючі навантаження на апарат будуть розраховані на сейсмічність регіону.

Конструкція і монтаж:

Даний тип апаратів випускається в обсязі від 6,3 м³ до 100м³. При цьому допустимі варіанти діаметру корпусу складають від 1,6 м до 3 м.

Конструкція апарату типу ГЕЕ є горизонтальним посудину з двома еліптичними днищами. При цьому для виготовлення ємності використовується метод цілісної зварювання, що забезпечує високу міцність і довговічність судини.

Кожен апарат при цьому оснащений люком для прийому і видачі вмісту, а також необхідними штуцерами для підведення технологічного

резервуарного обладнання. На вимогу замовника резервуар може додатково комплектуватися приладами КВП, майданчиками обслуговування зі сходами, а також деталями для кріплення теплоізоляції. Ємнісні апарати ГЕЕ можуть бути встановлені тільки наземно. Як настановної конструкції використовуються опори-лапи, опори-стійки або сідлові опори.

Залежно від вимог замовника, слив збереженої рідини в таких апаратах може здійснюватися двома методами:

- Злив самопливом без будь-якого механічного впливу на процес
- Злив під тиском. Для цього може бути використаний або стиснене повітря, або газ.

Ємнісні апарати ГКК з конічними невідбортвані днищами під кутом 140°

Ємнісні апарати ГКК призначені для зберігання різного типу рідких середовищ, в тому числі високотоксичних, вибухонебезпечних і пожежонебезпечних речовин. Апарати ГКК підходять для кінцевого зберігання, а також можуть входити до складу технологічних ліній. Для підведення додаткового технологічного обладнання апарат оснащується необхідними штуцерами і патрубками.

Технічні рекомендації до експлуатації:

- Рівень робочого тиску не повинен перевищувати 0,7 МПа
- Максимальний тиск в люках до 0,3 МПа
- Можливо тільки наземне розміщення
- Допустимі температурні показники робочого середовища від +2 до +60 градусів.

7. ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

7.1. Техніка безпеки

1. Нагляд за роботою апарата, перевірку справності дії арматури, контрольно-вимірних приладів необхідно доручати працівникам, які пройшли інструктаж по техніці безпеки, здали техмінімум, освоїли управління та вивчили технічний паспорт даного апарата.

2. Потрібно знаходитись на своєму робочому місці під час роботи апарата, суворо виконувати правила експлуатації та не допускати сторонніх до керування апаратом.

3. Жорстко стопорити спускний клапан у період упарювання.

4. Перевіряти надійність ущільнення запірної арматури, що підводять та відводять трубопроводи.

5. Не допускати ремонт апарата та його елементів під час праці.

6. Користуватись переносними лампами з напругою не більш ніж 12 В [11; 13].

Процес випарювання може проводитись періодично та безперервно. При періодичному випарюванні у апарат заливають певну кількість розчину, котрий нагрівається до кипіння (період підігріву), після чого починається процес випарювання (період випарювання води). У процесі випарювання безперервно підвищується концентрація та температура кипіння розчину. По мірі випарювання води рівень розчину у апараті знижується. Випарювання проводять до досягнення заданої кінцевої концентрації розчину.

Зниження рівня розчину часто порушує роботу апарата, тому описаний вище спосіб проведення процесу зазвичай змінюють наступним чином: починаючи з моменту закипання розчину, у апарат безперервно подають слабкий розчин у такій кількості, щоб рівень розчину не змінювався. При такому способі роботи отриманий у кінці операції упарений розчин займає той же об'єм, що спочатку залитий у апарат слабкий розчин.

При безперервному випарюванні рівень розчину та його температура не

змінюються у часі. Розчин зазвичай знаходиться у апараті при своїй кінцевій концентрації (або дуже близькій до неї); для стійкої роботи в апараті повинна міститися значна кількість рідини, щоб надходження слабого розчину не знижувало істотно концентрацію розчину в апараті.

Для створення таких умов апарат заповнюють при пуску слабим розчином і доводять його концентрацію до кінцевої шляхом періодичного випарювання при постійному рівні (або одразу заповнюють апарат концентрованим розчином), після чого переходять на безперервну подачу слабого розчину з відводом відповідної кількості упареного розчину.

При обслуговуванні випарних апаратів необхідно слідкувати за підтриманням рівня рідини на певній висоті. У апаратах періодичної дії рівень рідини регулюється підведенням слабого розчину, а в апаратах безперервної дії – відведенням упареного розчину.

Процес випарювання сильно залежить від температури, яка контролюється термометром. Необхідний температурний режим встановлюється регулюванням подачі гріючої пари. Окрім того, при обслуговуванні випарного апарата слідкують за вірним відведенням конденсату та газів, що не конденсуються. Конденсат відводиться за допомогою конденсатовідбірників. Для відводу газів, що не конденсуються, у верхній частині простору для гріючої пари є трубка, через котру ці гази безперервно або періодично видаляються.

Періодично, у міру забруднення поверхні теплообміну, випарний апарат зупиняють для очищення[11].

7.2. Охорона праці

Продуцент ітаконової кислоти, що відноситься до роду *Asp. terreus* й *Asp. itaconicus*. є патогенним, оскільки може викликати захворювання аспергілоз. Тому особливо велику увагу треба приділяти концентрації спор гриба у повітрі, неприпустиме вдихання спор *Asp. terreus* й *Asp. itaconicus*. робітниками. Необхідно також контролювати кількість інших патогенних мікроорганізмів в повітрі робочої зони і загальну кількість мікроорганізмів.

Працюючі з споровим матеріалом мають бути захищені засобами індивідуального захисту. Приміщення повинні дезинфікуватись, стерилізуватись (опроміненням УФ променями) і т.д.

Мікроорганізми здатні також пошкоджувати різного роду матеріали, тобто змінювати їх властивості у результаті своєї життєдіяльності. Найнадійніший спосіб захисту матеріалів від ураження мікроорганізмами – усунення збудників порчі. Однак практично виконати це не можливо, оскільки виробництво матеріалів і тим більше їх експлуатація у стерильних умовах не можливі. Разом з тим при підтримання певних санітарно-гігієнічних правил на виробництві, при зберіганні і подальшій експлуатації дозволяє значно знизити ураження матеріалів мікроорганізмами. Перш за все це стосується мастильно-охолоджуючих рідин, різних емульсій і оптичного скла.

Найбільш надійним способом захисту промислових матеріалів визнано використання біоцидів. Як правило, біоциди вводять у склад матеріалів, рідше ними обробляють поверхню. У якості біоцидів запропоновано сотні сполук різної хімічної природи: органічні сполуки важких металів, феноли та їх похідні, четвертинні амонійні сполуки, олово- і кремнійорганічні сполуки, комплексоутворювачі. Однак на практиці використовується порівняно вузьке коло сполук, що поєднується з високими вимогами, котрі пред'являються до біоцидів.

Підприємства по виробництву ітаконової кислоти одночасно являються підприємствами хімічного та мікробіологічного профілю, оскільки у технологічних процесах широко використовуються хімічні реактиви, а також мікроорганізми, які можуть впливати на здоров'я працюючих. Деякі з продуктів, що використовуються у технологічному процесі є пожежо- та вибухонебезпечні.

На підприємствах мікробіологічної промисловості повинен здійснюватись постійний контроль за наявністю в повітрі токсичних газів і пари. У виробництві промислові стоки поділяються на умовно-чисті та

забруднені.

До умовно-чистих відносяться води, які проходять теплообмінні апарати, в них не відбувається зміни складу, а лише температури. Забруднені стоки характеризуються наявністю органічних і 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 1л рідини), БВК₅, БВК₂₀ (при 5-ти та 20-ти діб витримки).

Основним забруднювачем стоків мікробіологічних виробництв є культуральна рідина (30-35% від об'єму загальних стічних вод; 70-90% від загальної кількості забруднень). Якісний склад стоків змінюється в залежності від перероблюваної сировини, виду продукції, технологічних режимів роботи, витрат свіжої води [13].

Необхідність охорони праці і навколишнього середовища в даний час найбільш актуальні, оскільки із зростанням виробництва збільшується забруднення навколишнього середовища, що несприятливо позначається на здоров'ї людини, викликаючи різні захворювання. Охорона праці дозволяє зберегти здоров'я і працездатність людини в процесі праці. В Україні був прийнятий "Закон про охорону праці". Чинний закон визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту був розрахований та спроектований горизонтальний суцільнозварний апарат з еліптичним днищем і трубним пучком для концентрування розчину ітаконової кислоти.

Був проведений опис технологічного процесу виробництва ітаконової кислоти, та складена її апаратурна схема.

Конструкція дозволяє підтримувати усі необхідні для процесу параметри (температуру, тиск, однорідність суспензії, стерильність проведення процесу), а також проводити контроль параметрів та за необхідністю вдосконалювати апарат. Розрахований апарат дозволяє ефективно проводити процес випарювання використовуючи значно менше водяної пари для підігріву.

Апарат повністю задовольняє поставлені вимоги та забезпечує оптимальні умови проведення процесу випарювання розчину ітаконової кислоти.

Наведені методи захисту навколишнього середовища від відходів виробництва та вимоги, щодо техніки безпеки роботи з апаратом і охорони здоров'я працюючих.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беккер М.Е. Введение в биотехнологию. Пер. с латышского (Рига, 1974), 1978. – 356 с.
2. Биотехнология: Учеб. пособие для вузов: В 8 кн./ Под. ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова. Кн. 6. Микробиологическое производство биологически активных веществ и препаратов/ Быков В.А., Крылов И.А., Манаков М.Н. и др. – М.: Высш. шк., 1987. – 143 с.; ил.
3. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: Колос, 2004.
– 296 с.: ил. – (Учебники и учеб пособия для студентов высш. учеб. заведений).
4. Биотехнология: Учеб. пособие для вузов: В 8 кн./ Под. ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова. Кн. 4. Автоматизация биотехнологических исследований/ Д.В. Зудин, В.М. Кантере, Г.А. Угодчиков. – М.: Высш. шк., 1987. – 112 с.; ил.
5. Гапонов К.П. Процессы и аппараты микробиологических производств. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 240 с.
6. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. – М.: Химия, 1981 г. – 812 с., ил.
7. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 368 с.: ил.
8. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн. Часть 1. Теретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с.: ил.
9. Елинов Н.П. Основы биотехнологии. Для студентов институтов; аспирантов и практических работников. Издательская фирма «Наука» СПб, 1995. – 600 с.

Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1991. – 352 с., ил.

11. Касаткин Л.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.

Издание восьмое, переработанное. М.: Химия, 1971.

12. Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б. Общая технология микробиологических производств. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264 с.

13. Основы химической технологии. Под. ред. проф. И.П. Мухленова. Издание четвертое, переработанное и дополненное. – М.: «Высшая школа», 1991. – 435 с.

14. Основы проектирования предприятий микробиологической промышленности/ Кантере В.М., Мосичев М.С., Дорошенко М.И. и др.: - Учеб. пособие для вузов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.: ил.

15. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии./ Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Учебное пособие для вузов/ Под. ред. П.Г. Романкова – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.

16. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. Под ред. В.Н. Стабникова. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 199 с.

17. Слесарев Ю.Н. Правила безопасности для производств микробиологической промышленности, 2-е изд., доп., М. Недра. – 1980, 30 с.

18. Соколов В. Н., Яблокова М. А. Аппаратура микробиологической промышленности. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 278 с.: ил.

19. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А. – Л.: «Химия», 1975. –

384 стр., 197 рис., 31 табл.

20. Техника безопасности в микробиологической промышленности:
Справочное пособие/ В.М. Цыгальницкий, А.А. Андреев, Р.М. Коло и др.// Под ред. В.М. Цыгальницкого. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн.пром-сть, 1988. – 256 с.
21. Расчеты по технологии органических веществ.: Учебн. пособие/ .Л. Товажнянський, В.Г. Новиков, С.И. Бухкало. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 84 с.
22. Устройства перемешивающие для жидких неоднородных сред. Термины и определения. ГОСТ 22577 – 77. Издательство стандартов, 1977.
23. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия. ГОСТ 20680 – 2002. – Минск.

Апаратурна схема виробництва ітаконової кисл

						БІ-71.04.7033.12.00-10			
Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лінійка виробництва імакнодійної кисталити			Лист	Масса	Мощность
Розробл.	Дубиня ЄВ			Апаратура технологічна схема					11
Лист							Лист	Листов	1
Голов.							НТУУ "КПІ", ФБТ, гр. БІ-71		
Н.контр.									
Змін.									

Перв. застосув.	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
Додат. №	A1							
					Документація			
				БІ7104.606322.0.0.00-10 СК	Складальне креслення			
					Складальні одиниці			
		1	БІ7104.606322.0.0.01-10	Корпус	1			
		2	БІ7104.606322.0.0.02-10	Трубний пучок	1			
		3	БІ7104.606322.0.0.03-10	Кришка	1			
				Деталі				
		4	БІ7104.606322.0.0.01-10	Прокладка	4			
		5	БІ7104.606322.0.0.02-10	Прокладка	2			
Підп. і дата								
					Стандартні вироби			
		7		Болт М16х20 ГОСТ 7798-70	64			
		8		Гайка М16 ГОСТ 5915-70	64			
		9		Шайба Ø16 ГОСТ 9065-75	64			
Інв. № ориг.	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	БІ-7104.7033.12.00-10		
	Розроб.	Дідук Є.В.						
	Перев.	Остапенко Ж.І.						
	Н. контр.							
	Затв.							
Вакуум-выпарный аппарат						Літ.	Аркуш	Аркушів
								1
						НТУУ "КПІ" ФБТ		

