

**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.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

**на тему: «Інтенсифікація гідродинаміки при гомогенізації суспензій шляхом
вдосконалення турбінної мішалки»**

Виконав:

студент VI курсу, групи БІ-01 мп

Цицюра Андрій Сергійович _____

Науковий керівник:

доц., к.т.н.

Костик Сергій Ігорович _____

Консультант _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____ Цицюра А. С.

Київ – 2021 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

магістерської дисертації

**на тему: “Інтенсифікація гідродинаміки при гомогенізації суспензій шляхом
вдосконалення турбінної мішалки ”**

РЕФЕРАТ

УДК 663.1

Атестаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему «Інтенсифікація гідродинаміки при гомогенізації суспензій шляхом вдосконалення турбінної мішалки» / НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»; керівник: Костик С. І.; виконавець: Цицюра А. С., студент групи БІ-01 мп.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, дев'яти розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Повний обсяг роботи становить 94 сторінки, 19 рисунків, 15 таблиць і переліку посилань з 17 найменувань.

В магістерській дисертації було розглянуто технологічний процес виробництва біовіту, виконані розрахунки, що підтверджують працездатність, надійність конструкції біореактора з перемішуючим пристроєм та можливість реалізації інженерних рішень, надані рекомендації щодо монтажу і експлуатації, обґрунтовано вибір конструкції біореактора, матеріалів. Був проведений патентний пошук та розроблений стартап-проект.

Об'єктом дослідження є обладнання для гомогенізації рідких продуктів – біореактор з перемішуючим пристроєм.

Предмет дослідження – процес гомогенізації, дослідження впливу конструкції перемішуючого пристрою на гідродинамічну обстановку у робочому об'ємі біореактора вцілому та на утворення воронки під час гомогенізації..

Всі проведені розрахунки відповідають діючим стандартам.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОВІТ, БІОРЕАКТОР, ПЕРЕМІШУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ДВОХДИСКОВА ТУРБІННА МІШАЛКА З ЛОПАТЯМИ ПІД КУТОМ, РІДКИЙ ПРОДУКТ.

ABSTRACT

UDC 663.1

Certification work of the educational qualification level "Master" on the topic "Intensification of hydrodynamics in the homogenization of suspensions by improving the turbine stirrer" / NTUU "Igor Sikorsky KPI"; head: Kostyk S. I.; performer: Tsytsiura A. S., student of group BI-01 MP.

The work consists of a list of symbols, an introduction, nine sections, conclusions, a list of references and appendices. The total volume of the work is 94 pages, 19 figures, 15 tables and a list of references from 17 titles.

The master's dissertation considered the technological process of Biovit production, performed calculations confirming the efficiency, reliability of the bioreactor design with mixing device and the possibility of implementing engineering solutions, provided recommendations for installation and operation, justified the choice of bioreactor design, materials. A patent search was conducted and a start-up project was developed.

The object of research is the equipment for homogenization of liquid products - a bioreactor with a stirring device.

The subject of research is the process of homogenization, the study of the influence of the design of the mixing device on the hydrodynamic situation in the working volume of the bioreactor as a whole and on the formation of the funnel during homogenization.

All calculations meet current standards.

KEY WORDS: BIOVIT, BIOREACTOR, MIXING DEVICE, HOMOGENIZATION, TWO-DISC TURBINE MIXER WITH SHOVELS AT ANGLE, LIQUID.

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

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ МЕЛЬНИК В.М.

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Цицюрі Андрію Сергійовичу

1. Тема дисертації «Інтенсифікація гідродинаміки при гомогенізації суспензій шляхом вдосконалення турбінної мішалки», науковий керівник дисертації Костик Сергій Ігорович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021р. №
2. Термін подання студентом дисертації
3. Об'єкт дослідження: біореактор з механічним перемішуючим пристроєм.
4. Предмет дослідження: процес гомогенізації, вплив конструкції перемішуючого пристрою на гідродинамічну обстановку в робочому об'ємі та на виникнення воронки під час гомогенізації.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести літературний аналіз за темою дисертації, дослідити стан проблеми; розглянути математичну модель процесу гомогенізації, провести натурний експеримент на її основі; запропонувати оптимізаційну конструкцію перемішуючого пристрою; розробити конструкцію та 3D модель перемішуючого пристрою.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурна схема лінії для виробництва ітаконової кислоти (A1); Біореактор. Складальне креслення (A1), Корпус. Складальне креслення (A1), Кришка. Складальне креслення (A1). Плакати за темою магістерської дисертації.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Літературний огляд	01.09.2021-03.11.2021	
2.	Теоретичні дослідження	10.10.2021-15.11.2021	
3.	Патентний пошук; розробка конструкції перемішуючого пристрою	15.10.2021-20.10.2021	
4.	Проведення комп'ютерного моделювання: оформлення результатів дослідження	01.11.2021-15.11.2021	
5.	Проведення натурного дослідження, аналіз та оформлення отриманих результатів	15.11.2021-28.11.2021	
6.	Розробка стартап-проєкту	01.10.2020-30.11.2020	
7.	Оформлення пояснювальної записки, креслень та документації	01.11.2021-30.11.2021	

Студент

А. С. Цицюра

Науковий керівник дисертації

С. І. Костик

ЗМІСТ

ЗМІСТ	7
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	13
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ БІОРЕАКТОРА.....	16
1.1 Призначення біореактора і галузь його застосування	16
1.2 Обґрунтування вибору конструкції біореактора	17
1.3 Патентний пошук та огляд літератури	19
1.3.1 Патентна документація.....	19
1.3.2 Довідка про пошук	20
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕПАРАТУ	21
2.1 Склад і можлива форма випуску Біовіту	22
2.2 Фармакологічні властивості препарату	22
2.3 Показання для застосування	23
2.4 Дозування і спосіб застосування	23
2.5 Побічні дії та реакції.....	24
2.6 Умови зберігання.....	24
2.7 Вибір класів чистоти виробничих приміщень	24
3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОВІТУ.....	26
4. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОРЕАКТОРА	34
5. РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ БІОРЕАКТОРА.....	35
5.1 Розрахунок Біореактора.....	35
5.1.1 Розрахунок геометричних розмірів апарата	35
5.1.2 Розрахунок барботера	36
5.1.3 Матеріальний баланс	39
5.1.4 Тепловий баланс та розрахунок поверхні теплообміну	40
5.1.5 Розрахунок перемішуючого пристрою	44
5.1.6 Розрахунок та вибір торцьового ущільнення та розрахунок потужності електродвигуна	46
5.1.7 Розрахунок циліндричної частини Біореактора та його сорочки.....	47
5.1.8 Розрахунок еліптичного днища та еліптичної частини сорочки біореактора.....	53
5.1.9 Розрахунок та підбір оптимального типу опор для біореактора.....	59
6. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗІ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	64

6.1 Компоновка та монтаж	64
6.2 Вимоги до експлуатації Біореактора.....	64
7. РІВЕНЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА УНІФІКАЦІЇ	65
8. ОПИС НОВИЗНИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	67
9. СТАРТАП-ПРОЕКТ	73
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	90
ДОДАТОК А. АПАРАТУРНА СХЕМА	92
ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ.....	93
ДОДАТОК В. ПАТЕНТНИЙ ПОШУК.....	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АФІ – активний фармацевтичний інгредієнт;

КР – культуральна рідина;

ЛЗ – лікарський засіб;

НТД – нормативно-технічна документація;

ТУ – технічні умови;

ТШХ – тонкошарова хроматографія;

ХГ – хлортетрацикліну гідрохлориду;

c_1 – прибавка до товщини стінки, яка враховує корозію та ерозію, м;

c_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа, м;

c_3 – технологічна прибавка, яка враховує зменшення товщини листа внаслідок технологічних операцій, м;

c_4 – прибавка на заокруглення до стандартного значення, м;

D – внутрішній діаметр апарату, м;

D_6 – діаметр барботажного елемента, м;

d_0 – діаметр отворів на барботажному елементі, м;

d_b – діаметр вала перемішуючого пристрою, м;

d_m – діаметр перемішуючого пристрою, м;

$d'_{тр}$ – внутрішній діаметр труби барботажного елемента, м;

F_d – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища, м²;

$F_{ц}$ – площа поперечного перерізу циліндричної частини корпусу апарату, м²;

$G_{вод}$ – витрата води для відведення тепла, кг/с;

H – висота обладнання, м;

$H_{ва}$ – загальна висота обладнання, м;

$H_{дн}$ – висота еліптичного днища, м;

H_p – висота рівня рідини в апараті, м;

H_c – розрахункова висота теплообмінної сорочки, м;

$H_{ц}$ – висота циліндричної обичайки апарату, м;

h_b – глибина вортєксної воронки, м;

h_r – відстань між барботером і перемішуючим пристроєм, м;

$h_{гр}$ – максимально допустима глибина воронки, м;

h_d – висота еліптичного днища, м;

$h_{л}$ – висота лопатей мішалки, м;

h_m – відстань від мішалки до днища апарата, м;

$h_{цд}$ – висота відбортованої частини еліптичного днища, м;

k – коефіцієнт теплопередачі від рідкого середовища в біореакторі до теплоносія в сорочці;

k_p – коефіцієнт наповнення рівня рідини в апараті;

l_R – розрахункова довжина циліндричної частини, що навантажена зовнішнім тиском, м;

m_1 – маса вуглеводів, що містяться в кукурудзяному екстракті, які розчиняються у воді кг;

m_3 – загальна маса цукру в поживному середовищі для технологічного процесу, кг;

$N_{ущ}$ – потужність, яка затрачається у торцевому ущільненні, Вт;

Nu_1 – критерій Нуссельта, коефіцієнт тепловіддачі від рідини, що перемішується до стінки;

n_y – коефіцієнт запасу стійкості;

$[P]_E$ – допустимий тиск виходячи з умов стійкості в границях пружності, Па;

$[P]_M$ – допустимий тиск виходячи з умов міцності, Па;

P – тиск газу над рідиною в апараті, Па;

$P_{СТ}$ – тиск пари при стерилізації, Па;

Pr – критерій Прандтля;

P_r – гідростатичний тиск, створений культуральною рідиною на днище біореактора, Па;

P_{II} – тиск повітря для аерації, Па;

Q_1 – кількість теплоти, що виділяється середовищем, Вт;

$Q_{вт}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище, Вт;

- $Q_{\text{вод}}$ – теплова енергія, що відводиться теплоносієм, Вт;
 Re_1 – модифікований критерій Рейнольдса;
 $Re_{\text{цб}}$ – критерій Рейнольдса при гомогенізації;
 S – виконавча товщина стінки, мм;
 S_d – товщина стінки еліптичного днища, мм;
 S_p – розрахункова товщина стінки, мм;
 $t_{\text{в}1}$ – температура холодного теплоносія на вході, °С;
 $t_{\text{в}2}$ – температура холодного теплоносія на виході, °С;
 $t_{\text{з}1}$ – температура продукту на початку процесу, °С;
 $t_{\text{з}2}$ – кінцева температура продукту, °С;
 $t_{\text{ср}}$ – середня температура води, °С;
 V – увесь об'єм апарату, м³;
 V_d – об'єм еліптичного днища, м³;
 V_3 – загальний об'єм середовища у апараті, м³;
 $V_{\text{ц}}$ – об'єм циліндричної частини апарату, м³;
 $V'_{\text{п}}$ – витрата повітря для аерації, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;
 $w_{\text{п}}$ – швидкість руху повітря по трубі барботера, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;
 z – кількість перемішуючих пристроїв на одному валу;
 z_0 – кількість отворів на барботажному елементі;
 $\Delta t_{\text{ср}}$ – середня різниця температур теплоносіїв;
 $\xi_{\text{м}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору перемішуючого пристрою;
 Π – проникність, або швидкість корозії, $\frac{\text{мм}}{\text{рік}}$;
 $[\sigma]$ – допустиме напруження для сталі, Па;
 $\rho_{\text{с}}$ – густина середовища (культуральної рідини), $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
 $\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, яке подається на аерацію, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
 φ – коефіцієнт наповнення апарату;
 λ_1 – коефіцієнт теплопровідності середовища, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності стінки апарату, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

ВСТУП

Розвиток біотехнологічних явищ, процесів та їхня роль у науково-технічному розвитку має велике значення для створення матеріально-технічної бази суспільства. Досягнення такої галузі, як біотехнологія, використовуються у різних сферах: фармацевтичне виробництво, медицина, матеріалознавство, харчова промисловість, енергетика, виробництво хімічних речовин, для контролю параметрів навколишнього середовища, у сільському господарстві.

У галузі фармацевтичного виробництва, висуваються ряд вимог до технологічного обладнання:

1) конструкцію виробничого обладнання необхідно проектувати, розташовувати та обслуговувати так, щоб воно відповідало своєму призначенню;

2) роботи з технічного обслуговування та ремонту потрібно проводити так, щоб вони не створювали загрози для якості продукції;

3) технологічне обладнання повинно проектуватись так, щоб його можна було зручно, легко і ретельно очищати;

4) обладнання, що використовується для миття та очистки, слід обирати і використовувати так, щоб воно не було джерелом контамінації;

5) виробниче обладнання має бути встановлено так, щоб не допустити ризику помилок або контамінації;

6) технологічне обладнання не повинно створювати жодної небезпеки для продукції;

7) для виробничих та контрольних операцій має використовуватись обладнання для вимірювання;

8) стаціонарні трубопроводи мають бути промарковані з точною вказівкою їх вмісту, тиску, матеріалу труб, при необхідності вказується напрямок потоку;

9) несправне технологічне обладнання за можливості має бути виключене з виробничих зон і зон контролю якості [1].

У даній дипломній роботі було проведено розрахунок біореактора, а також виконано натурний експеримент та комп'ютерне моделювання процесу

гомогенізації з метою покращення умов проведення даного процесу та зменшення ймовірності виникнення вортексної воронки. Тема даної роботи є дуже актуальною, оскільки розвиток біотехнологічних виробництв вимагає дослідження та розробки нових більш інтенсивних процесів, ефективнішого використання біореакторів.

На сьогоднішній день важливою є розробка препаратів, які допомагають людям попереджувати хвороби у домашніх тварин та вирощувати їх здоровими, адже продукти, які ми отримуємо від тварин також мають бути якісними. Представником таких препаратів є біовіт, активним інгредієнтом якого є хлортетрациклін.

Хлортетрациклін (ауреоміцин) — це антибіотик, який виробляє бактерія *Streptomyces aureofaciens*. Хлортетрацикліни – це група близьких за хімічною структурою до синтетичних антибіотиків. Хлортетрацикліну гідрохлорид (*Chlortetracyclini hydrochloridum*), (4S, 4aS, 5aS, 6S, 12aS)-7-хлор-4-диметиламіно-1,4,4a,5,5a,6,11,12a-октагідро-3,6,10,12,12a-пентагідрокси-6-етил-1,11-діоксонафтацен-2-карбоксамід має АФІ мікробіологічного походження. Короткий опис препарату: жовтий порошок, малорозчинний у воді та етанолі, розчиняється в розчинах лугів та карбонатів лужних металів. Умови зберігання – у щільно закупореній ємності, в захищеному від світла місці.

Спосіб ідентифікації – методом ТШХ, за реакцією виникнення ангідропохідного хлортетрацикліну (синє забарвлення, яке переходить у зелено-блакитне); за реакцією на хлориди. Кількісне визначення проводять методом рідинної хроматографії [2].

В даній магістерській роботі розраховується і перевіряється біореактор, призначений для проведення процесу виробничого біосинтезу. Цей апарат є найважливішою частиною всієї апаратурної схеми і замінити його на інший неможливо. Також метою дипломного проекту є покращення конструкції біореактора, підвищення ефективності його використання, підвищення якості продукції, проведення відповідних патентних досліджень.

Для проектування біореактора з механічним перемішуючим пристроєм проводиться тепловий розрахунок, в який входить визначення теплового навантаження апарату, коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі, площі поверхні теплообміну, розрахунок потужності перемішування, а також проводиться

розрахунок міцності основних елементів конструкції для забезпечення надійності та цілісності конструкції. Усі розрахунки підтверджуються наступними результатами комп'ютерного моделювання за допомогою різного програмного забезпечення: КОМПАС-3D, SolidWorks, ANSYS.

Спроектований біореактор повинен задовольняти всі вимоги проведення технологічного процесу та техніки безпеки, бути герметичним, надійним та зручним в експлуатації.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ БІОРЕАКТОРА

1.1 Призначення біореактора і галузь його застосування

Біореактор – обладнання, в якому проходить процес гомогенізації культурального середовища при процесі мікробіологічного синтезу. Використовується в біотехнологічній промисловості на виробництві лікарських і ветеринарних препаратів, вакцин, продуктів харчової промисловості (ферменти, харчові добавки, глюкозні сиропи і т. д.), а також при біоконверсії крохмалю та виробництві полісахаридів і нафтодеструкторів [3]. Продуктом являються або самі клітини (біомаса), або клітинний метаболіт. Всі операції повинні проходити у асептичних умовах для уникнення забруднення культури. Окрім цього, є необхідність забезпечення підтримки стерильності усіх вхідних і вивідних отворів біореактора. Біореактор і культуру стерилізують перед використанням разом або окремо. Початкові культури організму, що повинен використовуватися в процесі культивування, зберігають в неактивній формі (наприклад, в замороженому стані). Пробу активують, нарощують в достатньому об'ємі з використанням асептичних методів (нарощування) і потім додають в біореактор. У біореакторі організм росте і розмножується, за допомогою поживного середовища.

В більшості випадків біореактор виготовляють з високоякісної нержавіючої сталі, яка не має кородуючих процесів і не виділяє в продукт токсичні солі металів. Все технологічне обладнання, яке використовується, допоміжні матеріали і аеруюче та навколишнє повітря повинні бути стерильними. Обладнання стерилізується гострою парою під тиском. Пара повинна мати доступ до всіх поверхонь, які в свою чергу повинні бути гладкими і відполірованими, наскільки це можливо, і не мати тріщин і нерівностей, в яких можуть накопичуватися мікроорганізми. Середовище стерилізують перед інокуляцією, пропускаючи пар через систему охолодження. Повітря стерилізують шляхом фільтрації [4].

1.2 Обґрунтування вибору конструкції біореактора

Особливості конструкції технологічного обладнання дозволяють уникнути забруднення вмісту біореактора сторонніми хімічними продуктами і механічними частинками, забезпечити гомогенізацію, підтримувати необхідну сталість температури під час технологічного процесу, забезпечувати киснем середовище у повному обсязі, підтримувати постійний надлишковий тиск у апараті.

Перемішування в біореакторі відбувається за допомогою турбінної мішалки відкритого типу, що закріплена на валу мотор-редуктора. Муфти забезпечують співвісне розташування валів та надійну довготривалу експлуатацію, а також здійснюють зменшення вібрацій під час технологічного процесу.

У біореакторі здійснюється приготування посівного матеріалу для наступного культивування препарату. Окрім перемішування середовища, також відбувається його охолодження до 28°C та підтримка даної температури. Охолодження середовища відбувається завдяки подачі холодного теплоносія (води) у сорочку біореактора за температури 15°C та надлишкового тиску $0,3\text{ МПа}$.

Даний біореактор може бути використано як у фармацевтичній, так і у харчовій, хімічній, нафтопереробній промисловостях.

Конструкція апарату обирається виходячи з технологічної операції, яку необхідно провести в даному апараті, а саме: теплофізичних властивостей розчину, теплового режиму, що має підтримуватися під час проведення основного технологічного процесу та вимог до процесу перемішування.

В конструкцію біореактора входить: циліндрична обичайка, до якої методом зварювання прикріплене еліптичне днище, а зверху фланцевим з'єднанням – еліптична кришка. Використання фланцевого з'єднання значно полегшує монтаж, демонтаж, обслуговування та забезпечує необхідну герметичність апарату. Перемішувач створює необхідне перемішування середовища та, створюючи потоки рідини, приводить в рух та запобігає налипанню твердих часток на стінки біореактора.

Біореактор оснащено теплообмінною сорочкою, яка призначена для циркуляції в ній холодоагенту, що забезпечує відведення теплової енергії і рівномірність протікання процесу охолодження продукту.

Матеріал обирають, керуючись технічними вимогами, які має задовольняти апарат. Значний вплив на вибір матеріалу апарату має галузь його використання. Так як біореактор використовується у фармацевтичній, хімічній та харчовій промисловості, тому обираємо корозійностійкі матеріали. Враховуємо той фактор, що максимальний робочий тиск в апараті становить 0,05 МПа, а максимальний тиск у теплообмінній сорочці – 0,3 МПа, то для корпусу, сорочки і кришки біореактора обираємо матеріал Сталь 08Х18Н10Т. Також даний матеріал може бути використаний для обладнання, робоча температура якого сягає до 375°C включно. Дані умови повністю задовольняють наш випадок і дають можливість в разі необхідності використовувати даний біореактор в інших промислових виробничих схемах. Цю ж марку сталі приймаємо і для виготовлення сорочки, штуцерів та перемішуючого пристрою, що зумовлено неприпустимістю виникнення корозії в апаратурі фармацевтичного призначення. Виникнення корозії ускладнює очищення та дезінфекцію, що може негативно впливати на підтримку асептичних умов та якість готової продукції.

Болти, гайки та шайби, які будуть використовуватись для кріплень виготовляємо із матеріалу Сталь 3, що характеризується високою міцністю та корозійною стійкістю.

Прокладки фланцевих з'єднань виготовляються із пароніту марки ПОН за ГОСТ 28759.6-90, тому що дане середовище не реагує з нею. Даний матеріал витримує температури до +450°C та є стійким до агресивних середовищ.

1.3 Патентний пошук та огляд літератури

1.3.1 Патентна документація

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № БІ6113.204211.000.00-60

Найменування Біореактор.

Шифр теми БІ6113.204211.000.00-60

Етап Проектування пристрою

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

№ БІ6113.204211.000.00-60, 10.10.2021 р.

Обґрунтування регламентного пошуку Предмет пошуку – Ферментери, Реактори. (Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

Початок пошуку 10.10.2021 р.

Закінчення пошуку 31.10.2021 р.

1.3.2 Довідка про пошук

№ БІ01МП10.204211.000.00-10

Завдання на проведення патентних досліджень БІ6113.204211.000.00-60 МД.Етап Розрахунок та проектування пристроюНомер, дата завдання на проведення патентних досліджень № БІ6113.204211.000.00-60, 10.10.2021 р.Номер, дата регламенту пошуку № БІ6113.204211.000.00-60, 10.10.2021 р.Початок пошуку 10.10.2021 р. Закінчення пошуку 31.10.2021 р.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕПАРАТУ

Препарат Біовіт – антибактеріально-вітамінна кормова добавка, яка за допомогою хлортетрацикліну гідрохлориду пригнічує та призупиняє ріст і розвиток грамнегативних і грампозитивних мікроорганізмів, включаючи *Escherichia coli*, *Salmonella typhosa*, *Staphylococcus aureus*, а також *Streptococcus pyogenes*, *Bacillus subtilis*, *Haemophilus influenzae*, *Klebsiella pneumoniae*, і пригнічує ріст *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* тощо [5].

Хлортетрациклін HCl або хлортетрациклін гідрохлорид є першим дослідженим антибіотиком тетрацикліну з широким спектром впливу. Він сприяє пригніченню грамнегативних і грампозитивних мікроорганізмів, Бруцелу, мікоплазму, спірохети і анаеробів. Хлортетрациклін гідрохлорид призначається в якості ветеринарного препарату для лікування деяких захворювань для домашньої птиці, великої рогатої худоби, овець та інших тварин.

Будова та структурна формула хлортетрацикліну гідрохлориду показана на рисунку 2.1.

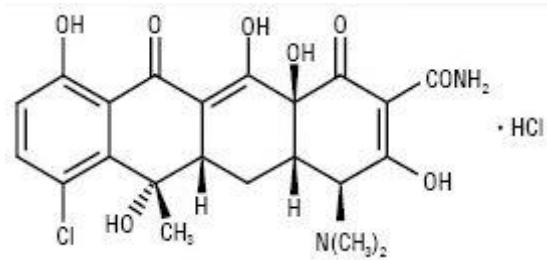


Рисунок 2.1 – Будова та структурна формула хлортетрацикліну гідрохлориду.

Хлортетрациклін можна перетворити в препарати різної форми випуску: мазь ХГ, офтальмологічну мазь ХГ, розчинний порошок ХГ, таблетки ХГ. Ветеринарне використання: ХГ, Премікс 15% ХГ, Ветеринарний пероральний порошок. Професійним постачальником і виробником сировини для виробництва хлору в Китаї є FENGCHEN GROUP CO., LTD, а також успішно експортує протягом майже десяти років Hlortetracycline HCl API з Китаю.

Хлортетрациклін (HCl), механізм дії: ХГ, як і інші тетрацикліни, конкурує за сайт А бактеріальної рибосоми. Цей процес пов'язує конкурує з тРНК, що несе амінокислоти, не дозволяючи додавання більшої ніж допустима кількість

амінокислот в пептидний ланцюг. Це напряму впливає на синтез білка. І, врешті-решт, ХГ досягає результату інгібування росту і розмноження клітин бактерій, оскільки потрібні білки не можуть бути синтезовані [6].

Біореактор в даній апаратурно-технологічній схемі виробництва є найважливішим апаратом, так як в ньому відбувається приготування посівного матеріалу для подальшого біосинтезу, в результаті додавання якого до продуцента культури *Act. aureofaciens*, утворюється хлортетрациклін.

В загальному випадку, такий апарат як біореактор використовується в усіх областях харчової, мікробіологічної, нафтопереробної, косметичної і фармацевтичної промисловостей. Біореактор використовують і при невеликих кількостях вихідної сировини, і на серійному виробництві, за рахунок можливості багатократного повторювання циклу роботи.

2.1 Склад і можлива форма випуску Біовіту

Кормовий антибіотик Біовіт за формою випуску є висушеною міцеліальною масою, отриманою з культуральної рідини *Streptomyces aureofaciens*, продукуючої хлортетрациклін.

В 1 грамі, в якості активних речовин, препарат містить 80 міліграм хлортетрацикліну та 8 мікрограм вітаміну В₁₂, а також містить в собі мінімум 35-40% білків, включаючи ферменти і як мінімум 8-10% жирів, мінеральні речовини і вітаміни групи В.

Препарат є однорідним сипучим порошком від світло-коричневого до темно-коричневого забарвлення, зі специфічним запахом. Його розфасовують в поліетиленові пакети по 100, 200, 300, 400, 500 грам та 1 кілограм, або паперові чотиришарові мішки по 1, 3, 5, 10, 15 і 20 кілограм.

2.2 Фармакологічні властивості препарату

Дія хлортетрацикліну заснована на призупиненні та припиненні росту і розвитку багатьох грампозитивних та грамнегативних мікроорганізмів, включаючи *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia spp.*, *Shigella spp.*, *Salmonella spp.*, *Enterobacter spp.*, *Pasteurella spp.*, *Klebsiella spp.*, *Leptospira spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Fusobacterium spp.*, *Clostridium spp.*, *Mycoplasma spp.*, *Chlamydia spp.*,

Haemophilus spp., *Bacillus spp.*, *Actinomyces bovis*, *Bordetella spp.*, *Brucella spp.*, *Treponema spp.*, *Rickettsia spp.*

Терапевтична концентрація в крові утримується на високому рівні близько 8-12 год. Хлортетрациклін виводиться з організму в більшості випадків протягом першої доби з сечею і фекаліями.

Вітаміни групи В регулюють біохімічні процеси в організмі, при недостатній кількості їх надходження в організм можуть виникати тяжкі захворювання обміну речовин, анемія, парези і паралічі, ураження шкіри та інші порушення. Біовіт позитивно впливає на обмін речовин в організмі, стимулює клітинний і гуморальний імунітет, підвищує газообмін в легенях, прискорює ріст і збільшує стійкість тварин і птахів до шлунково-кишкових захворювань.

При використанні кормового антибіотика знижуються показники смертності, збільшується середньодобовий приріст, підвищується активність сільськогосподарських тварин і птахів. Біовіт є безпечним для застосування для тварин, що не має алергізуючих та сенсibiliзуючих властивостей.

2.3 Показання для застосування

Препарат призначають сільськогосподарським тваринам, кролям, хутровим звірям і птахам для профілактики і лікування бактеріальних хвороб, включаючи пастерельоз, колібактеріоз, сальмонельоз, сибірка, лептоспіроз, лістеріоз, некробактеріоз, актиномікоз, бронхопневмонія, дизентерія, паратиф, токсична диспепсія, а також гострі і хронічні шлунково-кишкові та легеневі захворювання бактеріальної етіології у рогатої худоби, поросят і хутрових звірів; кокцидіоз, пуллороз, колісептицемія, холера, мікоплазмоз, ларинготрахеїт і орнітоз у птахів. Також ефективний для стимулювання і прискорення росту молодняку, підвищення продуктивності.

2.4 Дозування і спосіб застосування

Біовіт вводять в організм індивідуально кожному або групі у суміші з кормом, водою або молоком, ЗЦМ.

При профілактиці препарат згодовують 1 раз на добу протягом 5-20 днів.

У таблиці 2.1 наведено рекомендоване дозування препарату для тварин для лікування, 2 рази на день протягом 4-5 днів, і ще 3 доби після зникнення клінічних симптомів з розрахунку на одну тварину (у грамах):

Таблиця 2.1 – Рекомендоване дозування препарату.

Вид і вікова група тварин	Кількість препарату, г
Телята 5-10 днів	5
Телята 11-30 днів	6
Телята 31-60 днів	8
Телята 61-120 днів	10
Поросята 5-10 днів	0,75
Поросята 11-30 днів	1,5
Поросята 31-60 днів	3
Поросята 61-120 днів	7,5
Кролі та хутрові звірі	0,13-0,20
Птиця (молодняк)	0,63 г на 1кг маси тіла

2.5 Побічні дії та реакції

У деяких випадках при високій індивідуальній чутливості до компонентів препарату у тварини можуть спостерігатися алергічні реакції.

При довготривалому лікуванні та порушеному порядку дозування в деяких випадках виникає можливість втрати апетиту, діарея, нудота, тимпанія, диспепсичні розлади, стоматит, екзема, еритема шкіри в області анального отвору, ураження печінки, зміна забарвлення зубів.

2.6 Умови зберігання

Зберігати з пересторогою (за списком Б). При низькій вологості, добре захищеному від прямих сонячних променів та недоступному для дітей і тварин місці. А також окремо від продуктів харчування та корму, при температурі від -20 до 37 °С.

Максимальний термін зберігання: протягом одного року з дня виготовлення [7].

2.7 Вибір класів чистоти виробничих приміщень

За методичними рекомендаціями щодо класифікації виробничих приміщень нестерильних лікарських засобів за максимально допустимим вмістом

мікроорганізмів та часток у повітрі наказу МОЗу України від 14.12. 2001 №502 про затвердження методичних рекомендацій щодо виконання санітарно-гігієнічних вимог та проведення мікробіологічного контролю при виробництві нестерильних ЛЗ, клас чистоти приміщення визначається за вмістом часточок розміром 0,5 мікрметрів і більше та життєздатних мікроорганізмів в 1 м³ повітря. Також приміщення класифікують в залежності від типу лікарської форми, що виробляється, стадії технологічного процесу і вимог до конкретних лікарських засобів.

Кінцевим продуктом лінії виробництва біовіту є порошок. Для усіх стадій даного виробництва обираємо клас чистоти виробничих приміщень D. Це пов'язано з тим, що технологічні операції можуть бути визначені як критичні з точки зору можливої контамінації мікроорганізмами. Контамінацію може бути спричинено проникненням мікроорганізмів в обладнання.

Для приміщення пакування готової продукції необхідно також присвоїти клас чистоти D. А наступні після даної стадії приміщення етикетування та оформлення готової продукції і зберігання готової продукції допустимо не контролювати на вміст часточок та мікроорганізмів у повітрі згідно до методичних рекомендацій щодо класифікації виробничих приміщень нестерильних лікарських засобів за допустимим вмістом мікроорганізмів та часток у повітрі наказу МОЗу України від 14.12. 2001 №502.

3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОВІТУ

ДР 1. Санітарна підготовка виробництва.

На даному етапі відбувається підготовка дезінфікуючих розчинів, підготовка стерильного очищеного повітря, підготовка виробничих приміщень, підготовка прибирального та допоміжного інвентарю, технологічного обладнання і комунікацій, підготовка виробничого персоналу.

ДР 1.1 Приготування миючих та дезінфікуючих розчинів.

Приготування дезінфікуючих розчинів проводять згідно до відповідних інструкцій. Під час приготування дезінфікуючих розчинів дотримуються заходів безпеки. Розчини готують при працюючій витяжній вентиляції, використовуючи засоби індивідуального захисту: гумові рукавички, захисні окуляри, двошарову марлеву пов'язку або респіратор та гумовий фартух.

Для обробки приміщень, повітроводів, обладнання використовують 0,5- 6% розчин перекису водню з додаванням 0,5% миючого засобу. Дані розчини готують в чистій ємності (скляній чи емальованій) шляхом розведення пергідроллю (27,5-31,0% розчин перекису водню) водою знесоленою (пергідроль додають в воду) з подальшим додаванням миючого засобу, перемішують та передають до місць використання.

Розчин перекису водню готують в чистій ємності додаючи до води спочатку перекис водню, а потім миючий засіб. В якості миючого засобу використовують різні миючі порошки. Допустимий термін зберігання приготованих розчинів складає 5-6 днів. Готують 3%-й розчин перекису водню.

ДР 1.2 Підготовка очищеного технологічного повітря.

Повітря, що відбирається на висоті 10-20 м, очищується від дрібно-дисперсних забруднень на паперових фільтрах. До виробничих цехів та діляниць повітря транспортується після компресування на поршневому компресорі при температурі від +20 до +30°C та тиску 0,3 МПа. З компресору повітря через теплообмінний апарат подається на ресивер для стабілізації температурних параметрів та, за необхідності, видалення вологи.

Очищення повітря від життєздатних мікроорганізмів здійснюється у фільтрі попереднього очищення, в якому у якості наповнювача використовують скловолокно, та у фільтрі тонкого очищення.

ДР 1.3 Підготовка персоналу.

Підготовка персоналу включає в себе проведення інструктажу з техніки безпеки та санітарну підготовку виробничого персоналу. Штат має бути укомплектований необхідною кількістю кваліфікованого персоналу. Інструктаж з техніки безпеки та про принципи та правила GMP проводять перед прийомом на роботу, а також повторно – щороку. Під час виробництва персонал повинен бути ознайомлений з регламентом та технологічною інструкцією випуску даної продукції.

Метою санітарної підготовки персоналу встановлена мікробіологічна безпека виробництва, що забезпечується дотриманням асептичних умов на підприємстві. До санітарної підготовки виробництва також відносять підготовку технологічного одягу. Його перуть спеціальним миючим розчином, ополіскують, висушують, прасують, а після цього – передають в гардеробну.

ДР 1.4 Підготовка прибирального та допоміжного інвентарю, обладнання і комунікацій.

Підготовку проводять до і після технологічного процесу. В цю частину робіт входить мийка та обробка дезінфікуючими розчинами допоміжного інвентарю, обладнання і комунікацій, після цього йде ополіскування. Обов'язковою є також перевірка на герметичність і справність.

Мийка вузлів обладнання проходить наступним чином: обладнання миють теплим мильним розчином (температура близько +40°C). З'ємні частини обладнання, які контактують з препаратом, знімають, за необхідності розбирають, промивають мильним розчином при тій же температурі.

Обробка вузлів обладнання дезінфікуючими розчинами проходить згідно визначеного плану-графіку: повну дезінфекцію обладнання і комунікацій проводять 1-2 рази на рік розчином формальдегіду 1%-го або розчином перекису водню, або іншим дозволеним антисептиком. Для дезінфекції обладнання, його повністю наповнюють розчином антисептика і витримують протягом 1,5-3,0 годин при

температурі +65°C. З'ємні частини обладнання витримують в розчині антисептика при умовах аналогічних до дезінфекції обладнання. Дезінфекцію комунікацій проводять передавлюванням розчину антисептика з одного апарату в інший. Після обробки антисептиками обладнання та комунікації промивають декілька раз очищеною водою, контролюючи якість промивної води. Обробку зовнішньої поверхні обладнання проводять аналогічно до підготовки виробничих приміщень.

Перевірка обладнання на герметичність проходить таким чином: в апараті створюють надлишковий тиск 0,4 МПа і протягом 30 хвилин спостерігають за показами манометра. Вони повинні бути сталими.

Стерилізація обладнання проходить таким чином: продувають апарати гострою парою або повітрям. Більш ефективною є обробка паром. Тому зазвичай використовують вологу термічну обробку. Процес стерилізації гострою парою при тиску 0,4 МПа вузлів обладнання проводять при температурі +130°C протягом 1 години.

ДР 1.5 Підготовка виробничих приміщень.

Обробка виробничих приміщень, зовнішніх поверхонь апаратів та комунікацій проводиться мильними розчинами. Далі йде обробка дезінфікуючими речовинами і водою очищеною. Дезінфікуючі розчини необхідно періодично замінювати, щоб уникнути резистентності (появи стійких форм) мікроорганізмів. На даному етапі контролюється ступінь запиленості приміщення і концентрація бактерій у повітрі. Прибирання виробничих приміщень ділять на щозмінне і генеральне. Щозмінне прибирання проводять після кожної зміни, генеральне 1 раз на тиждень.

ДР 2. Підготовка сировини.

Процес приготування поживного середовища є дуже відповідальним, оскільки від якості середовища залежить процес отримання посівного матеріалу та проведення культивування.

Поживним середовищем забезпечується життєдіяльність, зростання і розвиток продуцента *Act. aureofaciens* та ефективний синтез цільового продукту – Біовіту.

Висуваються такі основні вимоги до поживного середовища для продуцента антибіотика: здатність забезпечувати активний ріст продуцента і максимально

можливе утворення антибіотика; дешева вартість і легка доступність компонентів; добра фільтруюча здатність; можливість використання максимально економічних та ефективних прийомів виділення та очищення антибіотика.

З метою отримання посівного матеріалу рекомендується використовувати комплексне середовище, склад якого вказаний у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Рекомендований склад поживного середовища для приготування посівного матеріалу.

Компонент поживного середовища	Концентрація, %
Кукурудзяна мука	6
Кукурудзяний екстракт	1,5
Сірчаноокислий аміак	0,6
NaCl	0,4
CaCO ₃	0,8
Кашалотовий жир	2

Для проведення процесу біосинтезу рекомендується використовувати поживне середовище, склад якого наведений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Компонентний склад поживного середовища, який рекомендується для проведення процесу виробничого біосинтезу.

Компонент поживного середовища	Концентрація, %
Кукурудзяна мука	6
Кукурудзяний екстракт	1,5
Сірчаноокислий аміак	0,6
NaCl	0,4
CaCO ₃	0,8
Кашалотовий жир	2
CoCl ₂	3,36 (г/см ³)

Стерилізація поживного середовища повинна відбуватись періодичним способом при температурі +120°C, витримуватись 30 хвилин, після цього середовище охолоджується до +25°C.

ТП 3. Отримання посівного матеріалу

Продуценти забезпечують культуру необхідними поживними елементами та ростовими факторами для нормального росту та розмноження. Продуцент *Ast. aureofaciens* можна отримувати на поживному середовищі на основі кукурудзяного екстракту та глюкози. Посівний матеріал готується у суворо асептичних умовах.

Підготовка посівного матеріалу – це двоступеневий процес. Продуценти перед цим вирощують на агаризованому середовищі у пробірці, потім з пробірки сіють у колби з рідким поживним середовищем і проводять двоступеневу генерацію при глибинному культивуванні на колбах-качалках протягом 2-3 діб для кожної генерації. З іншої генерації культури роблять засів у колби, а потім культуру передають у Біореактор (інокулятор), а звідти подають посівний матеріал в біореактор для основного біосинтезу. Для посіву у великий біореактор застосовують від 5 до 10% інокуляту.

ТП 4. Виробничий біосинтез.

Біосинтез Біовіту – це процес, що полягає у вирощуванні продуценту штамів культури *Ast. aureofaciens* в глибинній культурі в біореакторі для основного біосинтезу та створення ним антибіотика в результаті його життєдіяльності. Полягає задача ферментації в тому, щоб створити такі умови, при яких продуцент добре розвивається, а також виділяє велику кількість Біовіту.

Ферментація триває 100-120 год. Основні параметри такі:

- 1) Температура культуральної рідини – стала на рівні +28°C.
- 2) В Біореактор постійно подають стерильне повітря з масовою витратою 42,4 кг/год.
- 3) Надлишковий тиск в апараті підтримують від 0,03 до 0,05 МПа.
- 4) Ферментація проводиться при працюючому перемішувачу пристрою зі швидкістю $290-300 \frac{об}{хв}$.
- 5) Для гасіння піни, яка створюється під час ферментації, в КР періодично подають невеликі порції піногасника.

Про закінчення ферментації і можливість передачі КР на наступну стадію

визначають за такими показниками, як:

- а) незначне підвищення рН середовища до рівня 6,9-7,2;
- б) активність глибинної культури продуцента досягає від 3000 од/мл.
- с) Об'єм культуральної рідини становить 1,6 м³.

ТП 5. Обробка культуральної рідини.

Розділення міцелію на дисковому вакуум-фільтрі. Концентрат виділяють в сушильних апаратах з дисковим розпилюванням. Температура теплоносія на вході в сушильну камеру становить 200-220°C, на виході – 80-90°C. Сухий продукт нагрівається трохи нижче температури теплоносія на виході із сушильного апарату, чим забезпечує збереження активності продукту. В процесі сушіння рекомендується також додавати консервант – піросульфат натрію в кількості близько 2-3 кілограм на 1 м³ КР. В залежності від активності культури і режиму культивування в 1 кг сухого препарату повинно міститись 90-150 г антибіотика. За вимогами ТУ вміст антибіотика в препараті повинно бути 80 г/кг. Це досягається шляхом стандартизації, змішування препаратів з різною активністю або додавання спеціальних наповнювачів. Потрібна кількість наповнювача для стандартизації 100 кг нативного препарату можна знайти за формулою:

$$X_0 = \frac{(A_n - A_x)}{(A_x - A_0)}$$

де X_0 – кількість наповнювача, кг; A_n – активність нативного препарату, г/кг; A_0 – активність наповнювача, г/кг; A_x – активність стандартного препарату, г/кг.

Під час стандартизації Біовіту за активністю в ролі наповнювача виступають тонкоподрібнені висівки, борошно знежирене, кукурудзяний і соєвий або буряковий жом. Біовіт використовується для профілактики шлунково-кишечних та легеневих захворювань, покращення розвитку і підвищення продуктивності молодняка сільськогосподарського скота і птахів [8].

ПМВ 6. Пакування, маркування, відвантаження.

Первинна упаковка препарату – це мішки по 1 кг. Продукт у первинній упаковці укладаємо в групову тару. Згідно з наказом Державного комітету ветеринарної медицини України від 14.07.2008 №133 упаковка Біовіту повинна бути

промаркована з наступною інформацією:

1. Назва продукції.
2. Склад компонентів, допоміжних речовин.
3. Форма випуску, опис.
4. Розмір пакування (об'єм, вага).
5. Цільові види тварин.
6. Показання для застосування.
7. Дози і способи застосування.
8. Спеціальні застереження та протипоказання (вказати за необхідності).
9. Максимальний термін зберігання.
10. Умови зберігання.
11. Назва та місцезнаходження власника реєстраційного посвідчення.
12. Назва та місцерозташування виробників препарату.
13. Обов'язкова позначка

РП*:

14. Обов'язкова позначка

Серія:

15. Обов'язкова позначка

Дата виготовлення:

16. Додаткова інформація

* Реєстраційне посвідчення [9].

На вторинній упаковці, окрім маркування, розміщують інструкцію по застосуванню.

ЗВ 7. Знезараження відходів та викидів.

Проводиться знезараження відпрацьованого вентиляційного та технологічного повітря, утвореного конденсату, несконденсованого посівного матеріалу та КР, стоків, партій бракованого препарату тощо.

Відпрацьоване повітря після стадій технологічних процесів перед викидом в атмосферу потрапляє на фільтри тонкої очистки. Ступінь очистки складає близько 99% (повітря після сушіння очищається від твердих частинок продукту в рукавних

фільтрах, після чого виходить в атмосферу; ступінь очистки складає 98%).

Несконденсований посівний матеріал, що утворився на стадії вирощування посівного матеріалу та несконденсовану культуральну рідину після ферментації стерилізують при температурі $+130^{\circ}\text{C}$ парою під надлишковим тиском 0,4 МПа протягом 45 хвилин, далі охолоджують оборотною водою до температури $+25^{\circ}\text{C}$ та направляють на очисні споруди.

Промивні дезінфікуючі розчини та використану відпрацьовану воду транспортують до збірника нейтралізації стоків, там розводять водою в 3-4 рази, встановлюють рН на рівні 7,0 85%-вою ортофосфорною кислотою або 20%-вим розчином їдкого натру, та направляють на очисні споруди, а далі – вже в каналізацію.

4. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОРЕАКТОРА

Апарат призначений для приготування посівного матеріалу.

1. Об'єм апарату, м ³	3,2.
2. Тип перемішуючого пристрою	відкрита турбінна мішалка.
3. Частота обертів на валу мішалки, сек ⁻¹ .	3,33.
4. Потужність електродвигуна, кВт	7,5.
5. Коефіцієнт заповнення	0,5.
6. Площа робочої поверхні теплообміну сорочки, м ²	8,5.
7. Робочий тиск, МПа	
в корпусі	0,05;
в сорочці	0,3;
при стерилізації	0,4.
8. Температура середовища, °С	
в корпусі	28;
в сорочці:	
початкова	15;
кінцева	25.
9. Витрата повітря, м ³ /с	0,01.
10. Маса апарату в умовах випробувань, кг	4766.
11. Габаритні розміри, мм	
довжина	1736;
ширина	2008;
висота	4184.

5. РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ БІОРЕАКТОРА

5.1 Розрахунок Біореактора

5.1.1 Розрахунок геометричних розмірів апарата

Вихідні дані:

Загальний об'єм апарату $V = 3,2 \text{ м}^3$.

Визначаємо геометричні розміри апарату. Обираємо діаметр та висоту апарату за ГОСТ 20680-2002:

$$D = 1,6 \text{ м} = 1600 \text{ мм}; H = 1,85 \text{ м} = 1850 \text{ мм} [10].$$

Висота еліптичного днища буде дорівнювати:

$$H_{\text{дн}} = 0,25 \cdot D + h_{\text{цд}} = 0,25 \cdot 1600 + 40 = 440 \text{ мм}.$$

Оскільки еліптичні днища є стандартними виробами то за ГОСТ 6533-78 обираємо днище типу 1600 – 8 – 400 ГОСТ 6533-78.

Основні характеристики еліптичного днища:

$S_{\text{д}} = 8 \text{ мм}$ – товщина стінки матеріалу еліптичного днища;

$H_{\text{д}} = 400 \text{ мм}$ – висота опуклої частини еліптичного днища;

$h_{\text{цд}} = 40 \text{ мм}$ – висота відбортовки еліптичного днища;

$F_{\text{д}} = 2,98 \text{ м}^2$ – площа еліптичного днища, яка контактує з продуктом;

$V_{\text{д}} = 0,6141 \text{ м}^3$ – об'єм еліптичного днища [11].

Об'єм циліндричної частини апарата:

$$V_{\text{ц}} = V - 2 \cdot V_{\text{д}} = 3,2 - 2 \cdot 0,6141 = 1,9718 \text{ м}^3,$$

де V – загальний об'єм апарата;

$V_{\text{д}}$ – об'єм еліптичного днища.

Звідси висота циліндричної обичайки апарата:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}} = \frac{1,9718}{2,01} \approx 1 \text{ м},$$

де $F_{\text{ц}}$ – це площа поперечного перерізу циліндричної обичайки апарату:

$$F_{\text{ц}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{3,14}{4} \cdot 1,6^2 = 2,01 \text{ м}^2.$$

Загальна висота еліптичного днища:

$$h_d = h_{цд} + H_d = 40 + 400 = 440 \text{ мм} = 0,44 \text{ м.}$$

За відомими даними знайдемо загальну висоту Біореактора:

$$H_{заг} = H_{ц} + 2h_d = 1 + 2 \cdot 0,44 = 1,88 \text{ м.}$$

Розрахуємо геометричні розміри перемішуючого пристрою.

Обираємо турбінну відкриту мішалку за АТК 24.201.17-90 типу 03, виконання 1, діаметр якої визначаємо за:

$$d_m = \frac{D}{4} = \frac{1600}{4} = 0,4 \text{ м} = 400 \text{ мм.}$$

Висота лопаті:

$$h_l = 0,2 \cdot d_m = 0,2 \cdot 400 = 80 \text{ мм.}$$

Довжина лопаті:

$$l = 0,5d_m = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ мм.}$$

Діаметр валу:

$$d_b = 65 \text{ мм.}$$

Товщина диску:

$$S = 6 \text{ мм.}$$

Висота ступиці:

$$h = 90 \text{ мм.}$$

Умовне позначення мішалки:

Мішалка 03.1-400-08X18H10T АТК 24.201.17-90 [12].

Відстань від ступиці мішалки до еліптичного днища апарата визначаємо за:

$$h_m = (0,4 \div 1) \cdot d_m = 160 \div 400 \text{ мм.}$$

Приймаємо $h_m = 0,3 \text{ м.}$

Діаметр барботера $D_0 = 0,75 \cdot d_m = 0,75 \cdot 400 = 300 \text{ мм.}$

Висота між барботером і мішалкою:

$$h_r = 0,25 \cdot d_m = 0,25 \cdot 400 = 100 \text{ мм.}$$

5.1.2 Розрахунок барботера

Вихідні дані:

Загальна висота біореактора H_3 , м	1,88;
Об'єм, заповнений КР V , м ³	1,6;
Густина КР ρ_c , кг/м ³	1060;
Густина аеруючого повітря $\rho_{\text{п}}$, кг/м ³	1,127;
Надлишковий тиск над рідиною в апараті P , МПа	0,05;
Витрата повітря $V_{\text{п}}$, м ³ /с	0,01;
Діаметр кільця барботеру D_6 , м	0,3;
Висота між барботером і мішалкою h_r , м	0,1;

Тиск повітря, яке використовується для аерації, має бути достатнім для створення необхідного напору в трубопроводі і подолання місцевих опорів і гідростатичного опору стовпа КР, що переміщується.

Тиск повітря визначають за формулою:

$$P_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}} \cdot w_{\text{п}}^2}{2} \cdot \left(1 + \sum \xi\right) + g \cdot \rho_c \cdot H_p + P$$

де $\sum \xi = 1$ – сума коефіцієнтів опору тертю і місцевих втрат при русі повітря по трубі і на виході з неї в КР;

$w_{\text{п}}$ – швидкість руху повітря по трубі;

H_p – висота рівня рідини, яка визначається за формулою:

$$H_p = \varphi \cdot H_{\text{заг}} = 0,5 \cdot 1,88 = 0,94 \text{ м,}$$

де $\varphi = 0,5$ – коефіцієнт заповнення апарата.

Визначимо швидкість руху повітря по трубі. Для цього приймаємо умовно цю величину і визначимо внутрішній діаметр труби барботера, за допомогою якого можна буде знайти розрахункове значення швидкості руху повітря. Розбіжність ε між прийнятими і розрахунковими значеннями можна вважати допустимими, якщо вони не перевищують 5%.

Нехай швидкість руху повітря:

$$w'_{\text{п}} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

тоді внутрішній діаметр труби барботера знаходимо за:

$$d'_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{п}}}{\pi \cdot w'_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot 25}} = 0,023 \text{ м,}$$

де $V_{\text{п}}$ – попередньо прийнята витрата повітря.

Оберемо із стандартного ряду трубу 25×1 мм за ГОСТ 10704-91.

Тиск подачі повітря для аерації знаходимо за:

$$\begin{aligned} P_{\text{п}} &= \frac{\rho_{\text{п}} \cdot w_{\text{п}}^2}{2} \cdot \left(1 + \sum \xi\right) + g \cdot \rho_{\text{с}} \cdot H_{\text{р}} + P = \\ &= \frac{1,127 \cdot 25^2}{2} \cdot (1 + 1) + 9,81 \cdot 1060 \cdot 0,94 + 0,05 \cdot 10^6 = 60\,479 \text{ Па} \\ &\approx 0,0605 \cdot 10^6 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Витрату повітря знаходимо з рівняння:

$$V'_{\text{п}} = 0,28 \cdot 10^{-8} \cdot K \cdot F \cdot P_{\text{п}} = 0,28 \cdot 10^{-8} \cdot 31 \cdot 2,01 \cdot 0,0605 \cdot 10^6 = 0,01 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

де $K = 31$ – дослідний коефіцієнт, що залежить від інтенсивності перемішування.

При перемішуванні середньої інтенсивності;

$F = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,8^2 = 2,01 \text{ м}^2$ – площа вільної поверхні рідини в апараті перед перемішуванням.

Розбіжність між прийнятими $V'_{\text{п}}$ і розрахованими значеннями $V_{\text{п}}$ становить:

$$\varepsilon = \left| \frac{V'_{\text{п}} - V_{\text{п}}}{V'_{\text{п}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{0,01 - 0,01}{0,01} \right| \cdot 100\% = 0\%.$$

Розрахуємо потужність на валу насоса для подачі повітря на аерацію:

$$N = \frac{V_{\text{п}} \cdot \Delta P}{\eta} = \frac{0,01 \cdot 0,0105 \cdot 10^6}{0,9} = 117 \text{ Вт,}$$

де $\Delta P = P_{\text{п}} - P = 0,0605 \cdot 10^6 - 0,05 \cdot 10^6 = 0,105 \cdot 10^6 \text{ Па}$ – повний опір, що затрачається на перемішування.

З урахуванням можливості закупорення отворів барботера поживним середовищем діаметр отворів має дорівнювати: $d_0 = 2 \div 5 \text{ мм}$.

Оберемо діаметр отворів $d_0 = 3 \text{ мм}$, тоді мінімальну необхідну кількість отворів визначимо за:

$$z_0 = \frac{4 \cdot V_{\Pi}}{\pi \cdot d_0^2 \cdot w_{\Pi}} = \frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot 0,003^2 \cdot 25} = 56,6.$$

Прийmemo кількість отворів $z_0 = 58$.

Якщо отвори розмістити по колу діаметром $D_0 = 300$ мм, то крок їх розміщення буде:

$$t = \frac{\pi D_0}{z_0} = \frac{\pi \cdot 300}{58} = 16,25 \text{ мм.}$$

Приймаємо крок розміщення отворів $t = 17$ мм.

5.1.3 Матеріальний баланс

Вихідні дані:

- холодний теплоносій – вода,
- температура холодного теплоносія на вході – $t_{B_1} = 15^\circ\text{C}$,
- температура холодного теплоносія на виході – $t_{B_2} = 25^\circ\text{C}$,
- температура продукту – $t_3 = 28^\circ\text{C}$.

Перерахунок на цукор поживного середовища, що буде завантажено в Біореактор:

- Маса крохмалю, при вмісті крохмалю в муці $K_{\text{кр}} = 51\%$ отримаємо:

$$m_{\text{кр}} = m_{\text{м}} \cdot \frac{K_{\text{кр}}}{100} = 80 \cdot \frac{51}{100} = 40,8 \text{ кг,}$$

де $m_{\text{м}}$ – маса муки в Біореакторі:

$$m_{\text{м}} = 50V_{\text{н}}K_3 = 50 \cdot 3,2 \cdot 0,5 = 80 \text{ кг,}$$

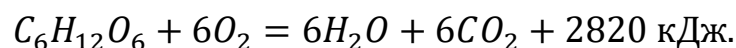
де 50 – маса муки в 1 м³ біореактора.

- Маса цукру:

$$m_{\text{ц}} = m_{\text{кр}} \cdot k_1 = 40,8 \cdot 1,11 = 45,288 \text{ кг,}$$

де k_1 – коефіцієнт перерахунку крохмалю в глюкозу, $k_1 = 1,11$.

Визначаємо кількість теплоти, що виділяється в процесі розвитку культури грибів. В процесі розвитку пліснявих грибів відбувається дисиміляція цукрів з виділенням надлишкового тепла:



Відповідно, при згоранні 1-го граму на моль цукру виділяється 2820 кДж тепла.

Маса одного молю цукру складає:

$$m_{ц1} = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ г} = 0,18 \text{ кг.}$$

Питоме тепловиділення складає:

$$q = \frac{2820}{m_{ц1}} = \frac{2820}{0,18} = 15,7 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}.$$

На основі експериментальних даних вважаємо, що засвоєння цукру культурою мікроорганізмів відбувається протягом $\tau_{\text{культ}}$, год. Для спрощення розрахунків приймаємо, що тепловиділення в цей період відбувається рівномірно. Тоді кількість теплоти, що виділяється культурою,

$$Q_1 = \frac{m_{ц}}{3600} \cdot \frac{q}{\tau_{\text{культ}}} = \frac{45,288}{3600} \cdot \frac{15,7 \cdot 10^6}{40} = 5000 \text{ Вт.}$$

Визначаємо кількість охолоджуючої води.

Для уникнення перегріву середовища тепло, що виділяється відводять. Тепло відводять холодним теплоносієм – водою $Q_{\text{вод}}$, повітрям $Q_{\text{пов}}$, яке подається на аерацію культури, а також через втрати в навколишнє середовище $Q_{\text{вт}}$.

Тепловий баланс біореактора:

$$Q_1 = Q_{\text{вод}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{вт}}.$$

В розрахунку можна не враховувати $Q_{\text{пов}}$, так як його величина не значна, оскільки повітря, що йде на аерацію подається в апарат з температурою, близькою до температури середовища $t_{\text{ср}} = 28^\circ\text{C}$.

Втрати в навколишнє середовище приймаємо рівними 2% від Q_1 :

$$Q_{\text{вт}} = 0,02Q_1 = 100 \text{ Вт.}$$

Тепло, що відводиться водою:

$$Q_{\text{вод}} = Q_1 - Q_{\text{вт}} = 5000 - 100 = 4900 \text{ Вт.}$$

Необхідна кількість води для відводу тепла:

$$G_{\text{вод}} = \frac{Q_{\text{вод}}}{c(t_2 - t_1)} = \frac{4900}{4183 \cdot (25 - 15)} = 0,117 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0,117 \cdot 3600 = 421,2 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

5.1.4 Тепловий баланс та розрахунок поверхні теплообміну

Метою теплового розрахунку є перевірка правильності вибору Біореактора.

Тепловий режим у Біореакторі підтримується за рахунок подачі у сорочку апарату холодного теплоносія.

Визначення площі поверхні охолодження біореактора.

$$F = \frac{Q_{\text{вод}}}{k \cdot \Delta t_{\text{cp}}},$$

де k – коефіцієнт теплопередачі від середовища в біореакторі до охолоджуючої води в сорочці;

Δt_{cp} – середня різниця температур теплоносіїв:

$$\text{– якщо } \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} < 2, \text{ то } \Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{м}} + \Delta t_{\text{б}}}{2};$$

$$\text{– якщо } \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} > 2, \text{ то } \Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{к}} - t_2 = 28 - 25 = 3^\circ\text{C} \text{ – менша різниця температур};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{к}} - t_1 = 28 - 15 = 13^\circ\text{C} \text{ – більша різниця температур.}$$

$$\frac{13}{3} = 4,3 = \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} > 2,$$

отже Δt_{cp} визначаємо за формулою:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = \frac{13 - 3}{\ln\left(\frac{13}{3}\right)} = 6.82^\circ\text{C}.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від КР до стінки. Для апаратів з теплообмінною сорочкою при перемішуванні мішалкою коефіцієнт тепловіддачі визначається з критеріального рівняння:

$$Nu_1 = \frac{\alpha_1 D}{\lambda_1},$$

$$\text{де } Nu_1 = 0,36 Re_1^{0,67} Pr_1^{0,33} \left(\frac{\mu_1}{\mu_{\text{ст1}}}\right)^{0,14},$$

Re_1 – модифікований критерій Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{\rho_1 n d_{\text{м}}^2}{\mu_1};$$

Pr_1 – критерій Прандтля:

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 c_1}{\lambda_1};$$

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності культури пліснявих грибів, при $t_k = 28^\circ\text{C}$, $\lambda_1 = 0,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$;

$D = 1,6 \text{ м}$ – внутрішній діаметр біореактора;

ρ_1 – густина рідкої культури, при $t_k = 28^\circ\text{C}$, $\rho_1 = 1060 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

n – число обертів мішалки, $n = 3,33 \text{ с}^{-1}$;

d_m – діаметр мішалки, $d_m = \frac{1}{4}D = \frac{1}{4} \cdot 1,6 = 0,4 \text{ м}$;

μ_1 і $\mu_{ст1}$ – динамічна в'язкість середовища при середній температурі рідини і температурі стінки; так як різниця між ними не суттєва, приймаємо їх однаковими: $\mu_1 = \mu_{ст1} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;

$c_1 = 4000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ – теплоємність середовища, при $t_k = 28^\circ\text{C}$.

Підставимо значення у формули, та знайдемо критерій Нуссельта:

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 c_1}{\lambda_1} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4000}{0,6} = 10;$$

$$Re_1 = \frac{\rho_1 n d_m^2}{\mu_1} = \frac{1060 \cdot 3,33 \cdot 0,4^2}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 3,77 \cdot 10^5;$$

$$Nu_1 = 0,36 Re_1^{0,67} Pr_1^{0,33} \left(\frac{\mu_1}{\mu_{ст1}} \right)^{0,14} = 0,36 \cdot (3,77 \cdot 10^5)^{0,67} \cdot 10^{0,33} \cdot 1^{0,14} = 4192,3.$$

Завдяки критерію Нуссельта визначимо коефіцієнт тепловіддачі від середовища до стінки біореактора:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{D} = \frac{4192,3 \cdot 0,6}{1,6} = 1572,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджуючої води.

Теплофізичні властивості теплоносія (води):

$\lambda_2 = 0,599$ – теплопровідність води при середній температурі води,

$\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{град}}$;

$S = 0,008$ – товщина стінки біореактора, м;

$D_1 = 1,7$ – внутрішній діаметр сорочки біореактора, м;

w_B – швидкість води в сорочці біореактора:

$$w_B = \frac{G_{\text{вод}}}{\rho_2 f} = \frac{0,117}{998,2 \cdot 0,219} = 5,35 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

f – площа перетину сорочки:

$$f = 0,785 \cdot (D_1^2 - (D - 2S)^2) = 0,785 \cdot (1,7^2 - (1,6 + 2 \cdot 0,008)^2) = 0,219 \text{ м}^2;$$

$\rho_2 = 998,2$ – густина води при середній температурі води, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$\nu_2 = 1,006 \cdot 10^{-6}$ – кінематична в'язкість води при середній температурі води, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

$c_2 = 4183$ – теплоємність води при середній температурі води, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

$\mu_2 = 1004 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості води при середній температурі води, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Середня температура води:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{25 + 15}{2} = 20^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки апарату до теплоносія в сорочці:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{H_p},$$

де $Nu_2 = C(GrPr)^a$,

звідки $GrPr = H_p^3 (t_{\text{ст}} - t_{\text{cp}}) B$,

коефіцієнт $B = 15,5 \cdot 10^9$ визначається в залежності від t_{cp} .

$$GrPr = 0,94^3 \cdot (28 - 20) \cdot 15,5 \cdot 10^9 = 1,03 \cdot 10^{11},$$

при $GrPr > 10^9$: $C = 0,15$ та $a = 0,33$.

$$Nu_2 = 0,15 \cdot (1,03 \cdot 10^{11})^{0,33} = 646,14,$$

звідки визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від стінки апарату до теплоносія в сорочці:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{H_p} = \frac{646,14 \cdot 0,599}{0,94} = 411,74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі від КР в Біореакторі до холодного теплоносія:

$$k_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1572,1} + \frac{0,008}{58,15} + \frac{1}{411,74}} = 312,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

де $\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки, для сталі:

$$\lambda_{ст} = 58,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

З урахуванням забруднень на стінках коефіцієнт теплопередачі:

$$k = 0,95k_T = 0,95 \cdot 312,3 = 296,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Для умов даного розрахунку мінімальна охолоджуюча поверхня сорочки Біореактора має складати:

$$F = \frac{Q_{\text{вод}}}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{4900}{296,7 \cdot 6,82} = 2,422 \text{ м}^2.$$

При діаметрі корпусу біореактора $D = 1,6$ м, мінімальна висота сорочки у циліндричній частині:

$$H = \frac{F}{\pi \cdot D} = \frac{2,422}{\pi \cdot 1,6} = 0,48 \text{ м.}$$

Обираємо для біореактора об'ємом $3,2 \text{ м}^3$ стандартизовану площу теплообміну $F = 8,5 \text{ м}^2$, яка перевищує розрахункову та забезпечить повне відведення теплоти.

5.1.5 Розрахунок перемішуючого пристрою

Метою розрахунку – розрахувати глибину вортексної воронки, ущільнення валу перемішуючого пристрою, потужності на перемішування та вибір двигуна.

Враховуючи співвідношення $D/d_M = 4$, отримаємо діаметр мішалки:

$$d_M = 0,4.$$

Приймаємо за АТК 24.201.17.90: $d_M = 0,4$.

Обираємо частоту обертів мішалки $n = 3,33 \text{ с}^{-1}$. Тоді кутова швидкість мішалки:

$$\omega = \pi d_M n = 3,14 \cdot 0,4 \cdot 3,33 = 4,185 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Для визначення глибини вортексної воронки в Біореакторі знайдемо значення параметрів γ і $Re_{цб}$ при коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,5$ та висоті стовпа рідини $H_p = 0,94$ м. В цьому випадку параметр висоти завантаження:

$$\gamma = \frac{8 \cdot H_p}{D} + 1 = \frac{8 \cdot 0,94}{1,6} + 1 = 5,7.$$

Критерій Рейнольдса при перемішуванні:

$$Re_{цб} = \frac{\rho_1 n d_M^2}{\mu_1} = \frac{1060 \cdot 3,33 \cdot 0,4^2}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 3,77 \cdot 10^5,$$

де $\mu_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості для суспензії.

Знаходимо значення параметра гідравлічного опору E :

$$E = \frac{\gamma}{\xi_{зм} \cdot z \cdot Re_{цб}^{0,25}} = \frac{5,7}{1,2 \cdot 1 \cdot (3,77 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,19$$

де $z = 1$ – кількість мішалок на одному валу;

$\xi_{зм} = 1,2$ – коефіцієнт гідравлічного опору мішалки.

За допомогою значення E по монограмі знаходимо параметр $B = 10,5$.

Визначаємо глибину вортексної воронки:

$$h_B = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_M^2}{2g} = \frac{10,5 \cdot 3,33^2 \cdot 0,4^2}{2 \cdot 9,81} = 0,95 \text{ м.}$$

Гранично допустима глибина вортексної воронки:

$$h_{кр} = H_{ст} - h_M = 0,94 - 0,3 = 0,64 \text{ м,}$$

де $h_M = 0,3$ – висота розміщення мішалки над днищем.

Так як розрахована глибина вортексної воронки перевищує гранично допустиму, то є необхідність встановлення відбиваючих перегородок. Рекомендована стандартна кількість перегородок у Біореакторі – 4 шт.

Ширина відбиваючої перегородки b :

$$b = 0,1d_M = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 \text{ м.}$$

5.1.6 Розрахунок та вибір торцьового ущільнення та розрахунок потужності електродвигуна

Для обирання торцьового ущільнення попередньо розраховуємо діаметр вала мішалки:

$$d_B = C \cdot d_M = 0,117 \cdot 0,4 = 0,047 \text{ м} = 47 \text{ мм.}$$

де $C = 0,117$ для турбінної мішалки.

Приймаємо стандартизований діаметр вала $d_B = 65 \text{ мм} = 0,065 \text{ м}$, обираємо торцьове одинарне ущільнення за АТК 24.201.13-90:

Ущільнення T2-65-6K-01

Потужність, що втрачається на подолання сил тертя у торцьовому ущільненні, розраховується наступним чином:

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot d_B^{1,3} = 6020 \cdot 0,065^{1,3} = 172,34 \text{ Вт}$$

Знаходимо критерій $K_N = 7$, тоді потужність, яка затрачається на перемішування:

$$N = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5 = 7 \cdot 1060 \cdot 3,33^3 \cdot 0,4^5 = 2805,7 \text{ Вт.}$$

Для розрахунку мінімальної потужності електродвигуна приймаємо такі додаткові умови: в Біореакторі встановлена гільза термометра та труба передавлювання. Тоді коефіцієнт, який враховує наявність внутрішніх пристроїв, $\sum k_i = 2 \cdot 1,2 = 2,4$.

Коефіцієнт, що враховує наявність перегородок в апараті: $k_{\Pi} = 1$ – для апаратів з перегородками.

Коефіцієнт стовпа рідини в апараті:

$$k_H = \left(\frac{H_p}{D}\right)^{0,5} = \left(\frac{0,94}{1,6}\right)^{0,5} = 0,766.$$

Беручи до уваги ці умови, знаходимо:

$$N_{\Pi} = \frac{k_{\Pi} \cdot k_H \cdot \sum k_i \cdot N + N_{\text{ущ}}}{\eta} = \frac{1 \cdot 0,766 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 2805,7 + 172,34}{0,9} = 5922,6 \text{ Вт.}$$

Обираємо в якості приводу перемішуючого пристрою стандартизований мотор–редуктор типу МПО-1 з потужністю електродвигуна $N_E = 7,5 \text{ кВт}$.

5.1.7 Розрахунок циліндричної частини Біореактора та його сорочки

Початкові дані:

Внутрішній діаметр Біореактора D , м	1,6;
Внутрішній діаметр сорочки D_c , м	1,7
Робочий тиск в біореакторі P , МПа	0,05;
Тиск стерилізації у біореакторі $P_{ст}$, МПа	0,4;
Робочий тиск в сорочці P_c , МПа	0,3
Тиск стерилізації у сорочці $P_{c,ст}$, МПа	0,4
Температура КР $t_{кр}$, °C	28;
Температура стерилізації $t_{ст}$, °C	130
Матеріал корпусу та сорочки	Сталь 08X18H10T

Для знаходження розрахункового тиску виділимо режими роботи Біореактора:

1. Режим стерилізації;
2. Режим біосинтез.

При стерилізації біореактора, тиск в ньому сягає $P_{ст} = 0,4$ МПа. В режимі біосинтезу в біореакторі є надлишковий тиск, який дорівнює $P = 0,05$ МПа.

Оскільки тиск пари при стерилізації більший за робочий, то розрахуємо товщину стінки обичайки апарату для режиму стерилізації. На неї діє внутрішній тиск $P = 0,4$ МПа.

Тоді розрахунковий тиск – внутрішній і дорівнює $P_p = 0,4$ МПа. На рисунку 5.1 показано схему навантажень обичайки внутрішнім надлишковим тиском.

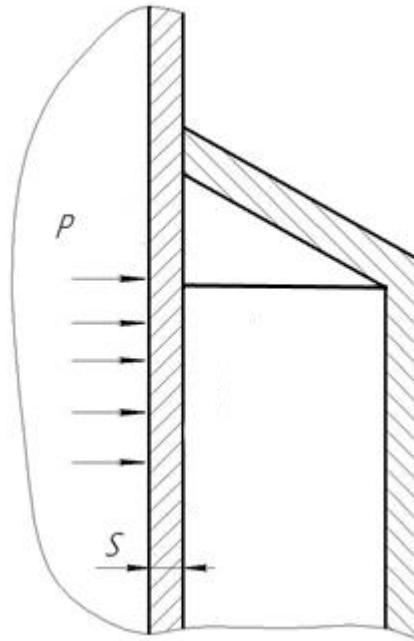


Рисунок 5.1. Схема впливу на обичайку внутрішнього тиску.

Знайдемо допустиме напруження при температурі стерилізації 130°C для Сталі 08X18H10T:

$$[\sigma] = 149,6 \text{ МПа.}$$

Знайдемо виконавчу товщину стінки труби:

$$S_1 = S_{1p} + c,$$

приймаємо $\varphi = 1$:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot D}{2[\sigma]\varphi - P} = \frac{0,4 \cdot 1,6}{2 \cdot 149,6 \cdot 1 - 0,4} = 0,0021 \text{ м} = 2,1 \text{ мм};$$

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

Прибавка на корозію з врахуванням рівномірного кородування з обох боків стінки обичайки:

$$c_1 = P\tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм};$$

$$c_2 + c_3 = 1;$$

$$S_1 = S_{1p} + c_1 + c_2 + c_3 = 2,1 + 1 + 1 = 4,1 \text{ мм} \rightarrow 6 \text{ мм},$$

приймаємо стандартне значення $S_1 = 6 \text{ мм}$. З нього отримуємо:

$$c_4 = 6 - 4,1 = 1,9 \text{ мм}.$$

Визначаємо допустимий тиск $[P]$ на обичайку:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_1 - c)}{D + S_1 - c} = \frac{2 \cdot 149,6 \cdot 0,0021}{1,6 + 0,0021} = 0,392 \text{ МПа.}$$

Перевіримо виконання умови міцності:

$$P \leq [P];$$

$$0,4 \text{ МПа} \leq 0,392 \text{ МПа.}$$

$$\frac{0,4 - 0,392}{0,4} \cdot 100\% = 2\% < 5\%$$

Оскільки розрахований тиск перевищує допустимий менше ніж на 5%, то умова міцності виконується. Отже міцність циліндричної обичайки під дією внутрішнього тиску забезпечена.

Розрахуємо обичайку в робочому режимі. На неї діють надлишковий тиск всередині апарату $P = 0,05 \text{ МПа}$ і надлишковий тиск в сорочці апарату $P_{\text{сор}} = 0,3 \text{ МПа}$.

Тоді розрахунковий тиск є зовнішнім і дорівнює $P_p = 0,3 - 0,05 = 0,25 \text{ МПа}$. На рисунку 5.2 показано схему впливу зовнішнього тиску на обичайку.

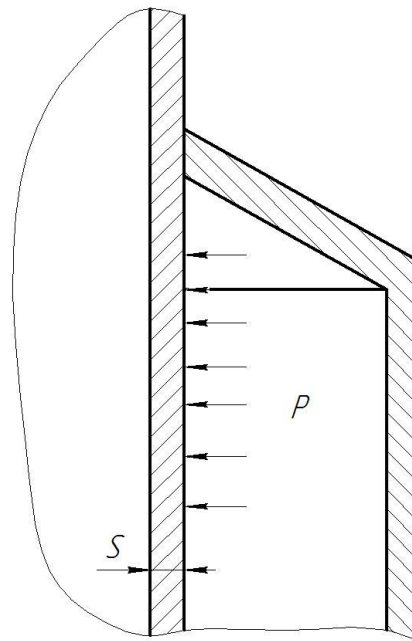


Рисунок 5.2 – Схему впливу зовнішнього тиску на обичайку.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S'_{1R} = \max \left(\frac{1,1 \cdot P \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right) \rightarrow \max \left(\frac{1,1 \cdot 0,25 \cdot 1,6}{2 \cdot 166,8} \right) \rightarrow \max \left(\frac{0,0013}{0,0056} \right) = 0,0056 \text{ м,}$$

де $[\sigma] = 166,8$ МПа – допустиме напруження для Сталь 08Х18Н10Т при температурі стінки 28°C ;

$K_2 = 0,35$ – коефіцієнт, що визначається за номограмою та залежить від K_1 та K_3 , які визначаються за формулами:

$$K_1 = \frac{0,865 \cdot n_y}{2,4} \cdot \frac{P}{E \cdot 10^{-6}} = \frac{0,865 \cdot 2,4}{2,4 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{0,25 \cdot 10^6}{1,96 \cdot 10^{11}} = 1,1;$$

$$K_3 = \frac{l}{D} = \frac{1}{1,6} = 0,625.$$

Виконавча товщина стінки:

$$S' = S'_{1R} + c_1 + c_2 + c_3 = 5,6 + 1 + 1 = 7,6 \text{ мм} \rightarrow 8 \text{ мм}.$$

Прибавки до товщини стінки:

$$c_1 = P\tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм};$$

$$c_2 + c_3 = 1 \text{ мм};$$

$$c_4 = 8 - 7,6 = 0,4 \text{ мм}.$$

Приймаємо стандартизоване значення $S' = 8$ мм.

Допустимий тиск виходячи з умов міцності в межах пружності розраховується за формулою:

$$[P]_M = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S' - c)}{D + S' - c} = \frac{2 \cdot 166,8 \cdot 0,0056}{1,6 + 0,0056} = 1,164 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск виходячи з умов стійкості в межах пружності:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot E}{n_y \cdot B_1 \cdot l_R} \cdot \left(\frac{100(S' - c)}{D} \right)^{2,5} =$$

$$= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot 1,982 \cdot 10^{11}}{2,4 \cdot 1 \cdot 0,4} \cdot \left(\frac{100 \cdot 0,0056}{1,6} \right)^{2,5} = 0,498 \text{ МПа}.$$

де $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості;

$l_R = 0,4$ – розрахункова висота частини обичайки, що навантажена зовнішнім тиском;

$$B_1 = \min \left\{ 9,45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100(S' - c)}} \rightarrow B_1 = \min \left\{ 9,45 \cdot \frac{1,6}{0,4} \cdot \sqrt{\frac{1,6}{100 \cdot 0,0056}} \rightarrow \right.$$

$$\rightarrow B_1 = \min \left\{ \frac{1}{33,6} \right\} \rightarrow B_1 = 1.$$

Максимально допустимий зовнішній тиск дорівнює:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_M}{[P]_E}\right)^2}} = \frac{1,164 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,164 \cdot 10^6}{0,498 \cdot 10^6}\right)^2}} = 0,458 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P];$$

$$0,25 \text{ МПа} \leq 0,458 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується, і це означає, що апарат сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

Приймаємо товщину стінки циліндричної обичайки корпусу рівною $S = 8 \text{ мм}$.

Розрахуємо на міцність теплообмінну сорочку апарату, навантажену внутрішнім тиском за наступними вихідними даними:

- тиск в сорочці $P_c = 0,3 \text{ МПа}$;
- тиск в сорочці під час стерилізації $P_{c,ст} = 0,4 \text{ МПа}$;
- внутрішній діаметр обичайки сорочки $D_c = 1,7 \text{ м}$;
- матеріал теплообмінної сорочки – Сталь 08Х18Н10Т;
- термін придатності біореактора $\tau = 10 \text{ років}$.

Оскільки сорочка працює лише під дією внутрішнього надлишкового тиску, то розрахунки проводимо за тиском стерилізації, так як він є більшим від тиску в робочих умовах. Приймаємо $P = 0,4 \text{ МПа}$. На рисунку 5.3 зображено схему навантаження сорочки внутрішнім тиском.

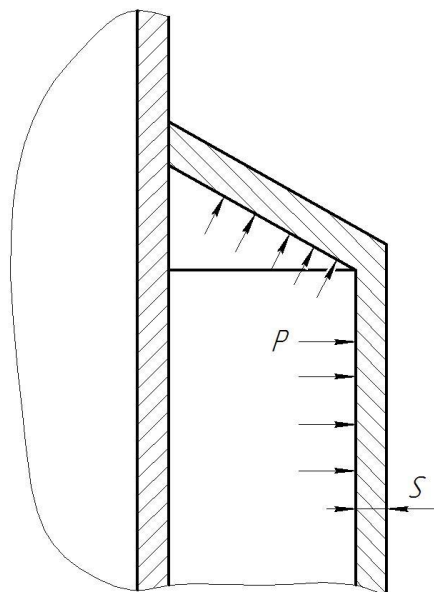


Рисунок 5.3 – Схема навантаження сорочки внутрішнім тиском

Розрахункова товщина стінки сорочки:

$$S_{2R} = \frac{P \cdot D}{2[\sigma]\varphi - P} = \frac{0,4 \cdot 1,7}{2 \cdot 149,6 - 0,4} = 0,0023 \text{ м,}$$

де $[\sigma] = 149,6$ МПа – допустиме напруження для Сталь 08Х18Н10Т при температурі стерилізації 130 °С [13].

Виконавча товщина стінки:

$$S_2 = S_{2R} + c_1 + c_2 + c_3 = 2,3 + 1 + 1 = 4,3 \text{ мм} \rightarrow 6 \text{ мм.}$$

$$c_1 = \Pi\tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм;}$$

$$c_2 + c_3 = 1 \text{ мм;}$$

$$c_4 = 6 - 4,3 = 1,7 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки $S_2 = 6$ мм.

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_2 - c)}{D + S_2 - c} = \frac{2 \cdot 149,6 \cdot 0,0023}{1,7 + 0,0023} = 0,404 \text{ МПа}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P]$$

$$0,4 \text{ МПа} \leq 0,404 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується. Отже міцність циліндричної обичайки сорочки під дією внутрішнього тиску забезпечена [14].

5.1.8 Розрахунок еліптичного днища та еліптичної частини сорочки біореактора

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр обичайки D , м	1,6;
Висота стовпа рідини в Біореакторі H_p , м	0,94;
Робочий тиск в Біореакторі P , МПа	0,05;
Тиск стерилізації P_{CT} , МПа	0,4;
Температура КР в біореакторі t_{KR} , °C	28;
Температура стерилізації в Біореакторі t_{CT} , °C	130;
Матеріал днища – Сталь 08X18H10T (AISI 321).	

На еліптичне днище Біореактора, окрім внутрішнього надлишкового тиску діє також гідростатичний тиск стовпа КР.

Розрахуємо гідростатичний тиск КР на днище біореактора:

$$P_{\Gamma} = \rho g H_p = 1060 \cdot 9,81 \cdot 0,94 = 9775 \text{ Па.}$$

Перевіряємо умову:

$$\frac{P_{\Gamma}}{P_p} = \frac{9775}{400000} = 0,025 \rightarrow 2,5\%.$$

Отже, гідростатичний тиск при розрахунках не будемо враховувати через його незначну величину ($5\% \geq P_{\Gamma}$).

Отже, обираємо розрахунковий тиск:

$$P_R = 0,4 \text{ МПа.}$$

Розраховуємо розрахункову товщину днища:

$$S_{3R} = \frac{P \cdot D}{2[\sigma]\varphi - 0,5P} = \frac{0,4 \cdot 1,6}{2 \cdot 149,6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,4} = 0,0021 \text{ м.}$$

Розраховуємо виконавчу товщину стінки днища:

$$c_1 = P\tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм;}$$

$$c_2 + c_3 = 1$$

$$S_3 = S_{3R} + c_1 + c_2 + c_3 = 2,1 + 1 + 1 = 4,1 \text{ мм} \rightarrow 6 \text{ мм,}$$

приймаємо стандартне значення $S_3 = 6 \text{ мм}$. З нього отримуємо:

$$c_4 = 6 - 4,1 = 1,9 \text{ мм.}$$

Визначаємо допустимий тиск $[P]$ на днище:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_3 - c)}{D + 0,5(S_3 - c)} = \frac{2 \cdot 149,6 \cdot 0,0021}{1,6 + 0,5 \cdot 0,0021} = 0,392 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності днища:

$$P_R \leq [P];$$

$$0,4 \text{ МПа} \approx 0,392 \text{ МПа.}$$

$$\frac{0,4 - 0,392}{0,4} \cdot 100\% = 2\% < 5\%$$

Оскільки розрахунковий тиск перевищує допустимий менше ніж на 5%, то умова міцності виконується. Отже міцність стандартизованого еліптичного днища для даного біореактора під дією сил внутрішнього тиску забезпечена.

Розрахуємо еліптичне днище апарату в робочому режимі. На неї діє надлишковий тиск із середини апарату $P = 0,05$ МПа і надлишковий тиск з боку сорочки $P_c = 0,3$ МПа.

Тоді розрахунковий тиск є зовнішнім і дорівнює $P_p = 0,3 - 0,05 = 0,25$ МПа.

$$S'_3 \geq S'_{3R} + c$$

Визначимо розрахункову товщину кришки:

$$S'_{3R} = \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right), \left(\frac{K_E \cdot D}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y P}{E \cdot 10^{-6}}} \right) \right) \rightarrow \max \left(\left(\frac{0,25 \cdot 1,6}{2 \cdot 166,8} \right), \left(\frac{0,9 \cdot 1,6}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,25 \cdot 10^6}{1,982 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-6}}} \right) \right) \rightarrow$$

$$\rightarrow \max \left(\begin{matrix} 0,0012 \\ 0,0049 \end{matrix} \right) = 0,0049 \text{ м.}$$

Визначимо виконавчу товщину стінки днища:

$$c_1 = \Pi\tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм;}$$

$$c_2 + c_3 = 1 \text{ мм;}$$

$$S'_3 = S'_{3R} + c_1 + c_2 + c_3 = 4,9 + 1 + 1 = 6,9 \text{ мм} \rightarrow 8 \text{ мм,}$$

приймаємо стандартне значення товщини стінки еліптичного днища, що дорівнює товщині стінки циліндричної частини апарату $S'_3 = 8$ мм. З нього отримуємо:

$$c_4 = 8 - 6,9 = 1,1 \text{ мм.}$$

Допустимий тиск виходячи з умов міцності в межах пружності розраховується за формулою:

$$[P]_M = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S'_3 - c)}{D + 0,5 \cdot (S'_3 - c)} = \frac{2 \cdot 166,8 \cdot 0,0049}{1,6 + 0,5 \cdot 0,0049} = 1,02 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск виходячи з умов стійкості в межах пружності:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S'_3 - c)}{K_E \cdot D} \right)^2 = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,982 \cdot 10^{11}}{2,4} \cdot \left(\frac{100 \cdot 0,0049}{0,9 \cdot 1,6} \right)^2 = 0,249 \text{ МПа.}$$

де $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості;

$K_E = 0,9$ – конструктивний коефіцієнт, який змінюється в залежності від радіуса кривизни днища.

Допустимий зовнішній надлишковий тиск дорівнює:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{1,02 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,02 \cdot 10^6}{0,249 \cdot 10^6} \right)^2}} = 0,242 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,242 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P];$$

$$0,25 \text{ МПа} \approx 0,242 \text{ МПа.}$$

$$\frac{0,25 - 0,242}{0,25} \cdot 100\% = 3,2\% < 5\%$$

Оскільки отриманий розрахунковий тиск не перевищує допустимий більше ніж на 5%, то умова міцності виконується, отже міцність та стійкість еліптичного днища для біореактора забезпечена. Приймаємо товщину стінки днища $S'_3 = 8$ мм та обираємо для біореактора стандартизоване днище за ГОСТ 6533-78:

Днище 1600 – 8 – 400 ГОСТ 6533-78.

Розрахуємо також еліптичне днище сорочки. Розрахуємо розрахункову товщину днища сорочки в умовах стерилізації за умовою міцності:

$$S_{4R} = \frac{P_{c.ст} \cdot D}{2[\sigma]\varphi - 0,5P_{c.ст}} = \frac{0,4 \cdot 1,7}{2 \cdot 149,6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,4} = 0,0023 \text{ м.}$$

Визначимо виконавчу товщину стінки днища сорочки:

$$c_1 = \text{П}\tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм;}$$

$$c_2 + c_3 = 1;$$

$$S_4 = S_{4R} + c_1 + c_2 + c_3 = 2,3 + 1 + 1 = 4,3 \text{ мм} \rightarrow 6 \text{ мм},$$

приймаємо стандартне значення $S_4 = 6 \text{ мм}$, яке відповідає товщині стінки циліндричної частини сорочки. З нього отримуємо:

$$c_4 = 6 - 4,3 = 1,7 \text{ мм}.$$

Визначаємо допустимий тиск $[P]$ на еліптичну частину сорочки:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_4 - c)}{D + 0,5(S_4 - c)} = \frac{2 \cdot 149,6 \cdot 0,0023}{1,7 + 0,5 \cdot 0,0023} = 0,405 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності днища:

$$P_{\text{с.ст}} \leq [P];$$

$$0,4 \text{ МПа} \leq 0,405 \text{ МПа};$$

Умова міцності виконується, адже робочий тиск у сорочці менший за допустимий, отже міцність еліптичного днища сорочки даного біореактора забезпечена. Отже обираємо для сорочки біореактора стандартизоване днище за ГОСТ 6533-78:

Днище 1700–6–425 ГОСТ 6533-78

Для перевірки отриманих розрахунків проведемо проектування корпусу з днищем та сорочки з днищем у програмному забезпеченні SolidWorks. За допомогою даного програмного забезпечення можна створити робочі умови та умови стерилізації даних вузлів Біореактора. Для отримання результатів виведемо такі епюри: напруження, переміщення, деформація, запас міцності. Отримані результати навантажень зображено на рисунках 5.4, 5.5 та 5.6.

Спочатку проведемо випробування для корпусу з привареним днищем в робочих умовах. Задаємо тиск на всіх внутрішніх поверхнях 0,05 МПа і температуру 28°C. Із зовнішньої частини на поверхні, де знаходиться сорочка задаємо тиск 0,3 МПа і середню температуру теплоносія 20°C. Також додаємо вплив сили тяжіння.

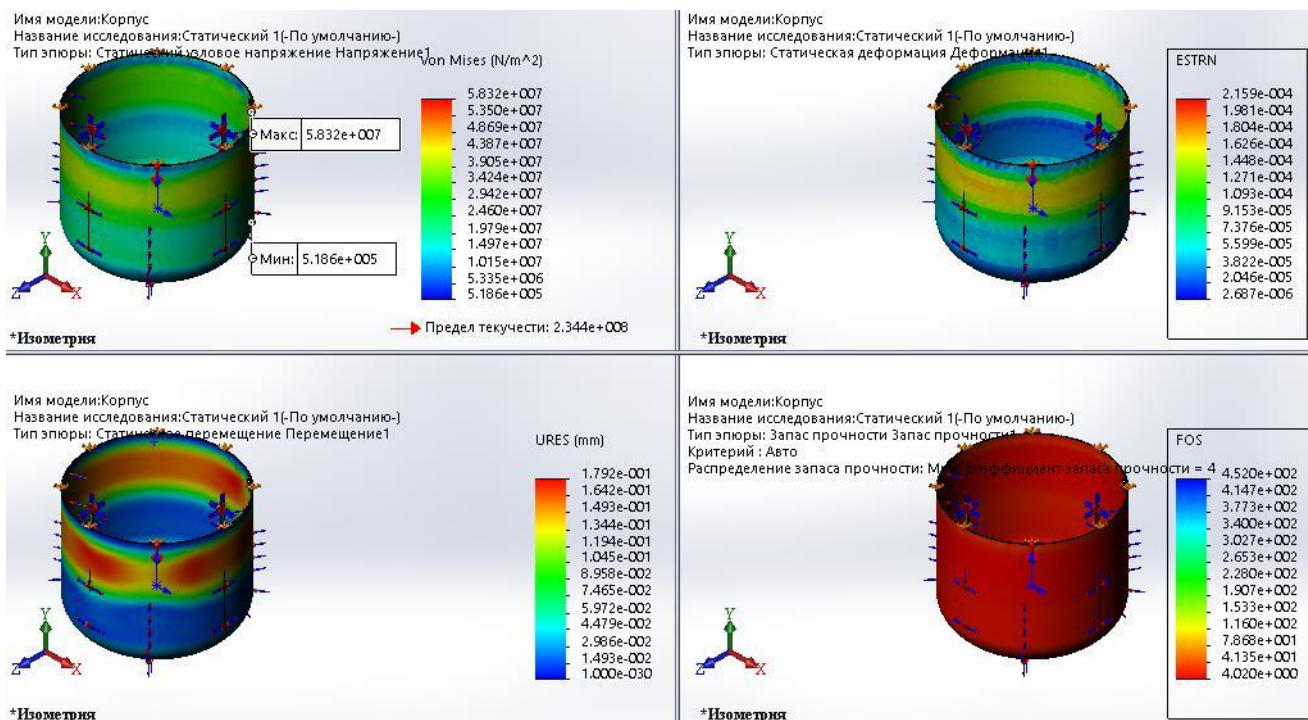


Рисунок 5.4 – Отримані епюри результатів навантажень корпусу з днищем в робочих умовах.

На епюрах ми бачимо, що найбільше напруження становить 58,3 МПа, що не перевищує границю текучості 234,4 МПа. Максимальне зміщення при цьому складає 0,18 мм, що є допустимою величиною. Мінімальний запас міцності у заданому режимі складає 4.

Далі проведемо моделювання навантаження корпусу з днищем в умовах стерилізації. Задаємо надлишковий тиск на всіх внутрішніх поверхнях 0,4 МПа і вплив температури 130°C. Ззовні на поверхні, де є сорочка задаємо тиск 0,4 МПа і вплив температури 130°C. Також додаємо силу тяжіння.

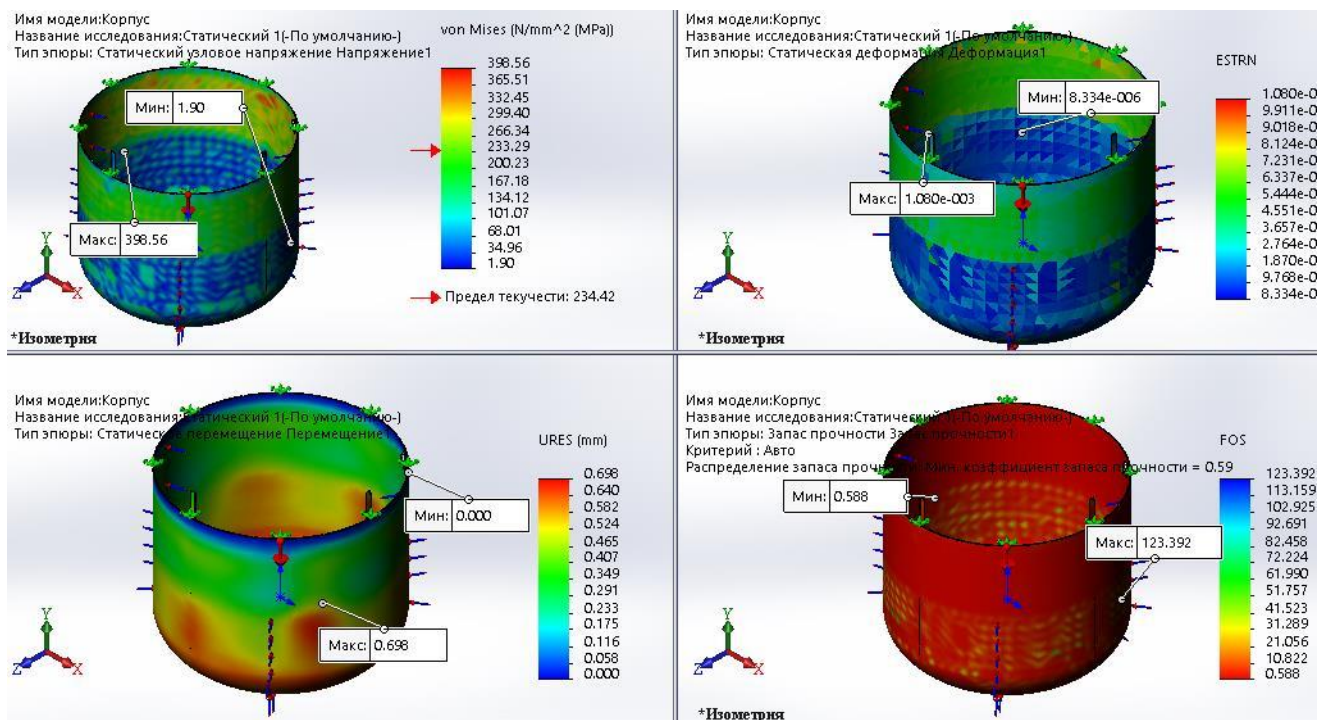


Рисунок 5.5 – Отримані епюри результатів навантажень корпусу з днищем в умовах стерилізації.

На епюрах ми бачимо, що максимальне напруження складає 398,6 МПа, дане напруження виникає в зоні переходу від циліндричної частини корпусу до тієї частини, яку охоплює сорочка. Максимальне переміщення складає 0,698 мм, що є незначною величиною. Мінімальний запас міцності у заданому стані складає 0,6.

Далі проведемо навантаження сорочки з днищем в умовах стерилізації. Задаємо тиск на всіх внутрішніх поверхнях сорочки 0,4 МПа і температуру 130°C. Також додаємо силу тяжіння.

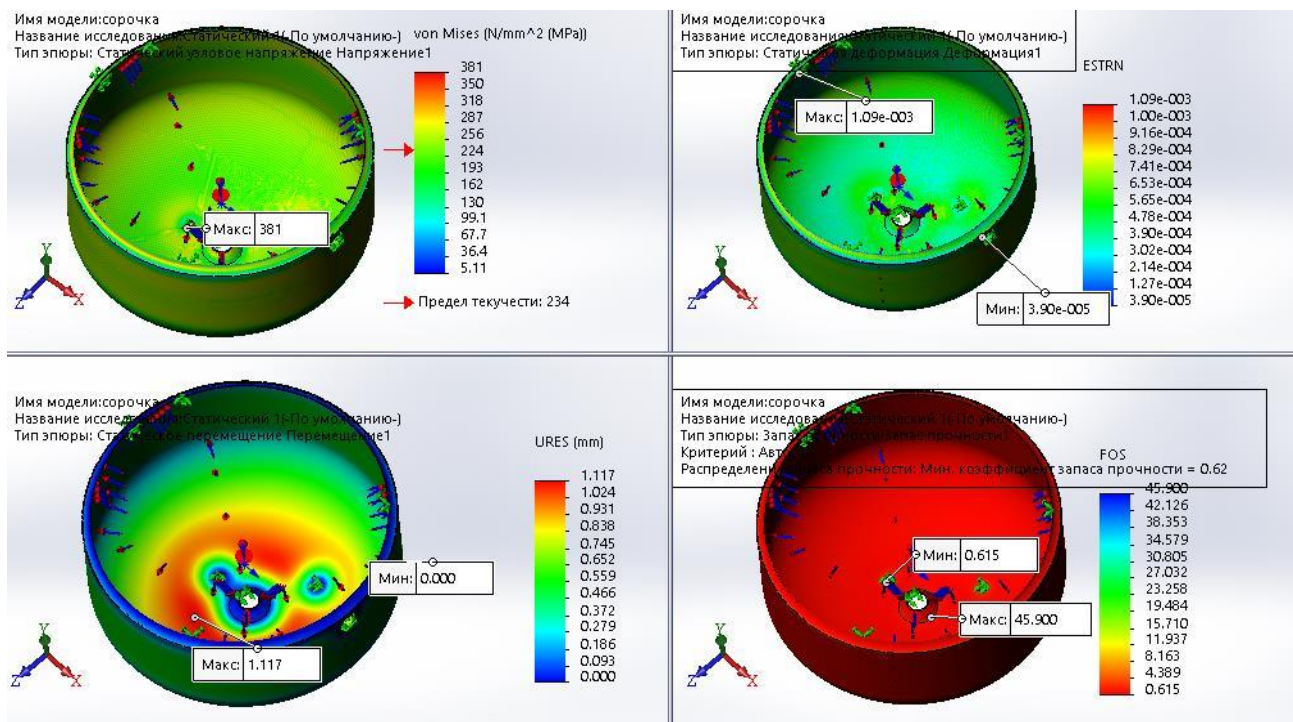


Рисунок 5.6 – Отримані епюри результатів навантажень сорочки з днищем в умовах стерилізації.

На епюрах ми бачимо, що найбільше напруження становить 381 МПа. Максимальне зміщення при цьому становить 1,1 мм, що є допустимою величиною. Мінімальний запас міцності у заданому режимі складає 0,62.

Зазначимо також, що дане проектування було виконано з певною розбіжністю, так як у моделях відсутні штуцери, що приварюються до апарату та тим самим додають міцності конструкції, тому в зонах розміщення штуцерів можуть бути надто великі значення.

5.1.9 Розрахунок та підбір оптимального типу опор для біореактора

Оскільки апарат вертикальний та з еліпсоїдним днищем і має порівняно невелику висоту, то він розміщується на робочому місці безпосередньо на підлозі. В такому випадку доцільно використовувати опори типу «Опора-стійка». За ГСТУ 3-17-192-2000 «Опори-стійки вертикальних апаратів. Типи, конструкція та розміри» обираємо Опору-стійку типу 1 (опора з листового прокату для апаратів з еліпсоїдними та конічними днищами з навантаженням на опору від 4 до 250 кН) вивчення 1 у кількості $n = 3$ шт, що зображена на рисунку 5. Розміри для даного типу опор в залежності від навантаження на одну опору наведені у таблиці 7.

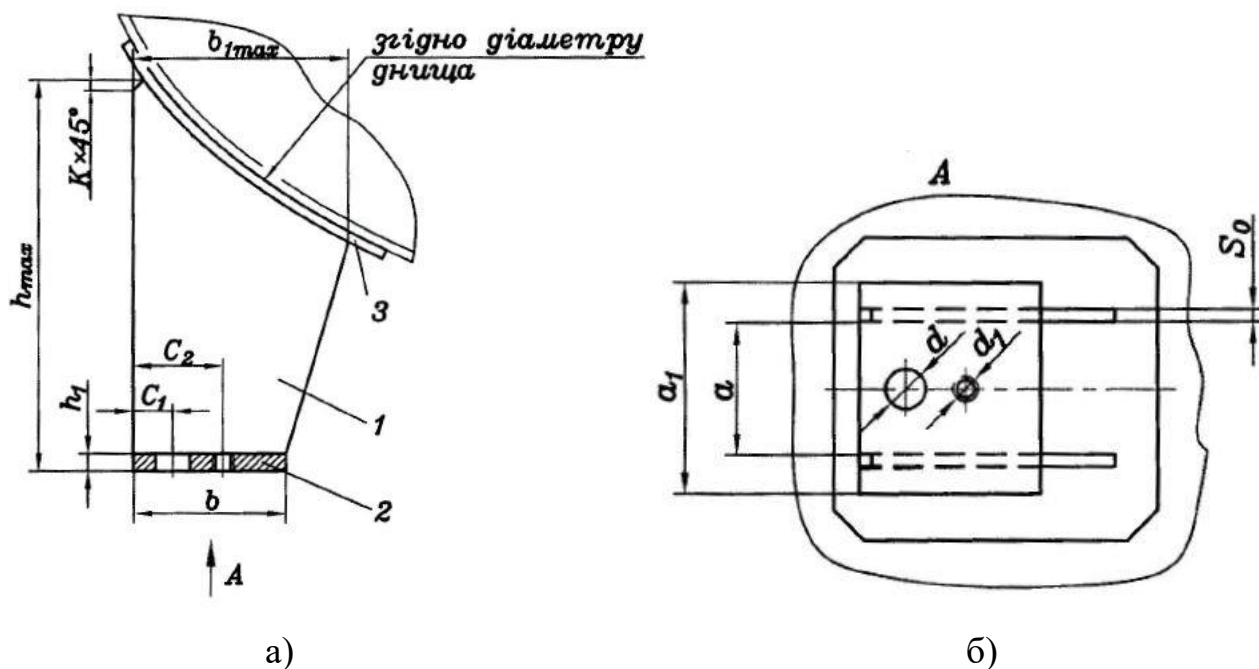


Рисунок 5.7 – Опора-стійка типу 1 виконання 1:

а) загальний вид; б) вид А.

Таблиця 5.1 – Розміри зварних опор-стійок з листового прокату (типу 1 виповнення 1).

Навантаження на опору, кН	a	a_1	b	b_{max}	C_1	C_2	h_{max}	h_1	S_0, K	d	d_1
4	75	100	85	120	22	50	220	10	6	19	M12
10	100	130	110	160		60	295	14	8		M16
25	125	160	130	200		80	365	16	8	24	M20
40	150	200	160	240	40	100	440	20	10	35	M24
63	175	230	200	280		120	515	25	12		M30
100	225	290	250	360		160	660	30	16	42	M36
160	300	390	340	480	60	-	875	30	20	42	-
250	400	500	450	680		-	1240	30	25	42	-

Для визначення максимального навантаження на одну опору, необхідно визначити орієнтовну масу апарату m за формулою:

$$m = 230pD^3 = 230 \times 0,4 \times 1,6^3 = 376,832 \text{ кг},$$

де p – надлишковий тиск у біореакторі, МПа; D – внутрішній діаметр апарату, м.

Тоді вага G апарату буде:

$$G = m \times g = 376,832 \times 9,81 = 3696,72 \text{ Н} \approx 3,7 \text{ кН},$$

де g – прискорення вільного падіння $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Вага апарату в умовах випробувань G_1 :

$$G_1 = m_1 \times g = 2072,832 \times 9,81 = 20334,5 \text{ Н} \approx 20,34 \text{ кН},$$

де $m_1 = m + m_0 = 376,832 + 1696 = 2072,832 \text{ кг}$ – маса апарату в умовах випробувань;

$m_0 = \rho \times V_p = 1060 \times 1,6 = 1696 \text{ кг}$ – маса середовища у апараті.

Розрахуємо максимальне навантаження на одну опору F_1 . При числі опорних стійок $n = 3$, розрахункове зусилля F_1 визначаємо за формулою:

$$F_1 = \frac{G}{3} + \frac{M}{0,866 \times D_1}.$$

Для Біореактора, що встановлений в приміщенні, зовнішній згинальний момент дорівнює $M = 0$. Тоді формула має вигляд:

$$F_1 = \frac{G}{3}.$$

Розрахункове зусилля F_1 дорівнює:

– в робочих умовах

$$F_1 = \frac{3,7}{3} = 1,23 \text{ кН};$$

– в умовах випробувань

$$F_1 = \frac{20,34}{3} = 6,78 \text{ кН};$$

За таблицею 7 приймаємо зварні опори-стояки з листового прокату типу 1 виповнення 1 з найближчим більшим допустимим значенням навантаження на одну опору-стійку 10 кН. Умовне позначення опори-стійки:

Опора-стійка 1-10-1 ГСТУ 3-17-192-2000.

Для перевірки адекватності розрахунків, було проведено моделювання, та створено проект навантаження опори у програмі SolidWorks, а також отримано позитивні результати, які відображені на рисунках 5.8 та 5.9.

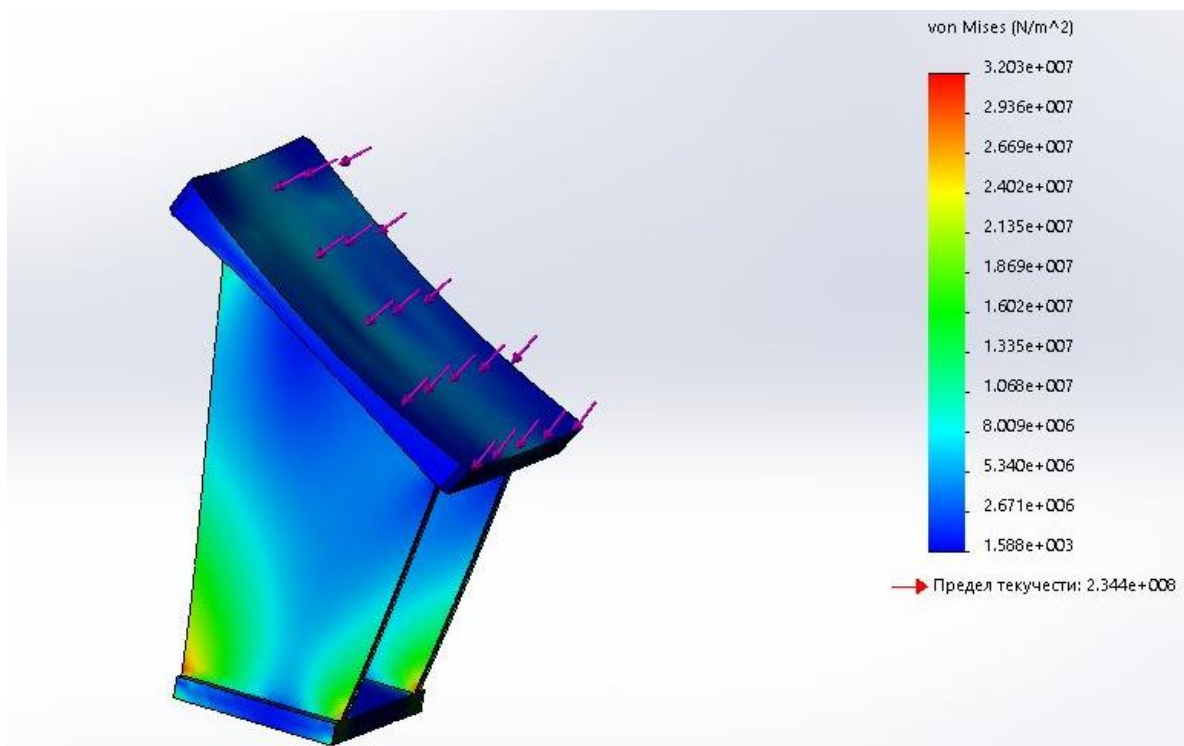


Рисунок 5.8. Епюра напружень опори при розрахованому навантаженні у програмному забезпеченні SolidWorks.

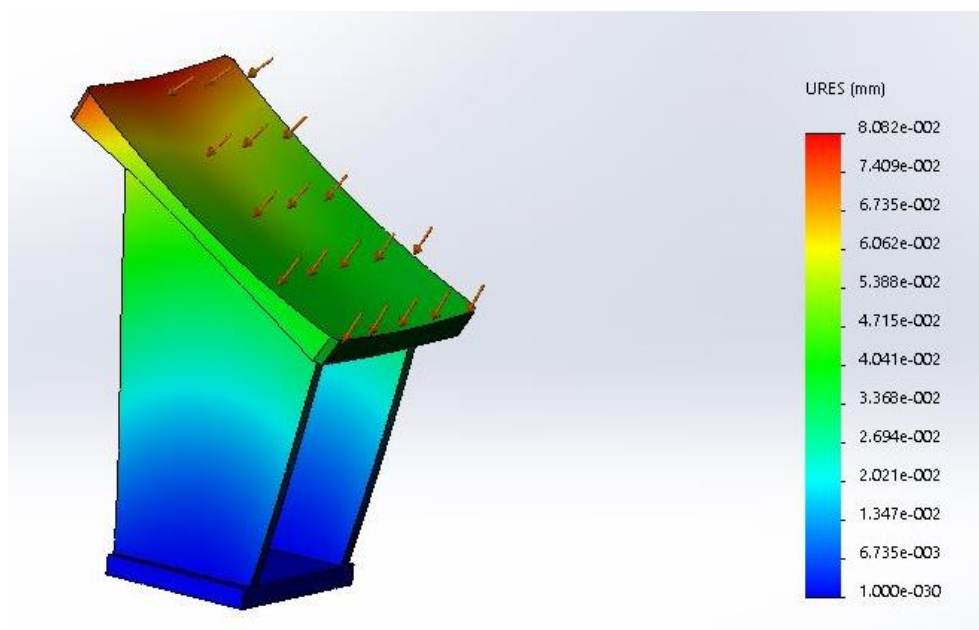


Рисунок 5.9. Епюра переміщень опори при розрахованому навантаженні у програмному забезпеченні SolidWorks.

Як ми бачимо, отримані результати є задовільними, так як максимальне напруження складає $3,203 \cdot 10^7$ Па, що не перевищує границю текучості $2,344 \cdot 10^8$ Па. Також значення переміщень є досить невеликі і максимальне значення дорівнює $8,082 \cdot 10^{-2}$ мм.

Після проведення всіх розрахунків проведемо проектування всього біореактора у програмному забезпеченні SolidWorks для того, щоб візуально уявити вигляд проектованого апарату. Модель Біореактора показано на рисунку 5.10.

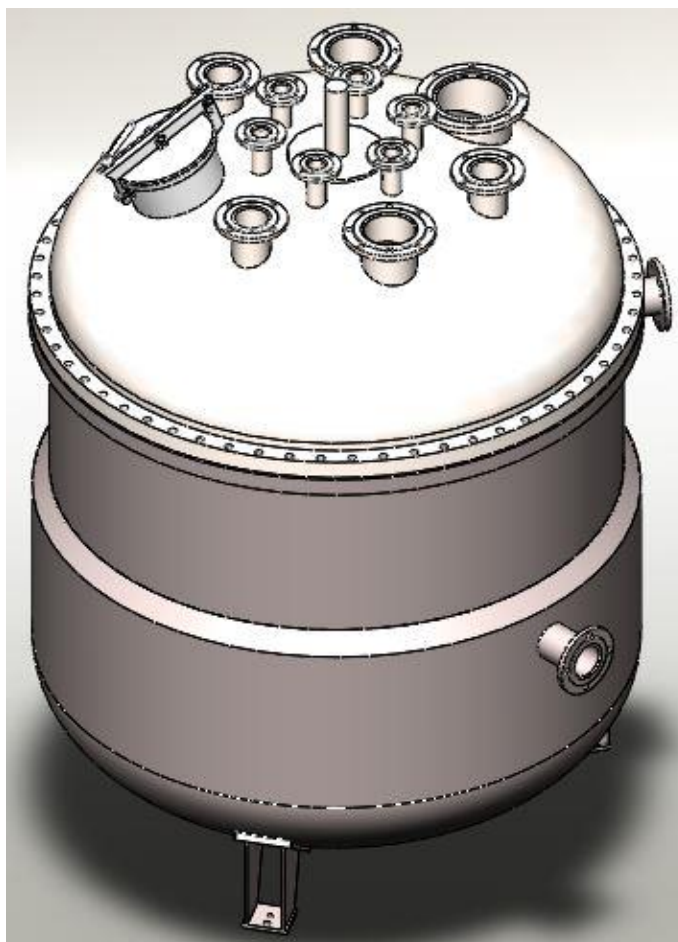


Рисунок 5.10. Модель Біореактора, створена у програмному забезпеченні Solidworks.

6. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗІ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

6.1 Компоновка та монтаж

Суть складальних робіт з монтажу полягає в установці Біореактора на металоконструкцію, установці і приєднанні допоміжного устаткування, приєднання трубопроводів, деталей, вузлів підведення і відведення продукту, встановленні приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. В процесі монтажу проявляються та усуваються негативні фактори конструкції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється пуско-налагоджувальні роботи апарату з метою виходу на робочі параметри та здачі в експлуатацію.

Проект виробництва монтажних робіт передбачає таку послідовність операцій збирання:

- встановлення корпусу Біореактора на металоконструкцію;
- встановлення внутрішніх елементів обладнання;
- приєднання всіх трубопроводів з енергоносіями;
- встановлення арматури і контрольно-вимірювальних приладів;
- герметизація місць з'єднання апарату (кришки, фланців, штуцерів і т.д.);
- під'єднання допоміжних механізмів і пристроїв;
- установка огорожень;
- випробування Біореактора на герметичність;
- пробний запуск установки;
- мийка та стерилізація апарату;
- здача Біореактора в експлуатацію.

6.2 Вимоги до експлуатації Біореактора

Для дотримання правильного режиму експлуатації Біореактора, в якому для технологічного процесу використовується теплоносія, необхідні:

- справність і безперебійність роботи устаткування;
- високий рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- забезпечення необхідними видами енергії і раціональна її витрата.

7. РІВЕНЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА УНІФІКАЦІЇ

Для прискорення конструкторської підготовки виробництва на підприємствах мікробіологічної та фармацевтичної промисловостей значний вплив має правильна послідовність проектування устаткування і виробів. Така послідовність здійснюється завдяки стандартизації й уніфікації відповідних деталей і вузлів.

Стандартизація – це, проведене в масштабах країни, обмеження доцільним мінімальним числом окремих типорозмірів. Стандартизація дозволяє адаптувати технологічне обладнання у відповідні технологічні схеми, що у свою чергу дозволяє проводити оборотність конструкцій, тобто змінювати в технологічній схемі апарати місцями.

Метою стандартизації є створення системи НТД, що визначатиме прогресивні вимоги до продукції, яка виготовляється, до її розробки, виробництва та галузі застосування, а також проведення контролю за достовірністю використання цієї документації.

Під стандартизацією розуміють конструктивну тотожність деталей і вузлів у різних видах устаткування. За рахунок стандартизації й уніфікації можна досягти обмеження використання оригінальних деталей і вузлів.

Якісною оцінкою цих понять є рівень стандартизації та уніфікованості, оскільки забезпечує відношення кількості стандартних деталей і складальних одиниць до загальної кількості одиниць, деталей і виробів у специфікації. Тому для продуктів, що розробляються, ступінь стандартизації та уніфікації становить 94%.

При розробці біореактора використовується якомога більше стандартних, нормалізованих та уніфікованих компонентів. Тому витрати на заміну деталей під час виготовлення та обслуговування обладнання можна значно знизити.

В даному апараті стандартизовано наступні вузли та деталі:

- болти – ДСТУ ГОСТ 7798:2008;
- гайки – ДСТУ ГОСТ 5915:2008;
- шайби – ДСТУ ГОСТ 22355:2008;
- фланці – ДСТУ ГОСТ 28759.2:2008;

- еліптичне днище – ГОСТ 6533-78;
- еліптична кришка – ГОСТ 6533-78;
- штуцери – АТК 24.218.06-90;
- турбінна мішалка – АТК 24.201.17-90;
- опори – ГСТУ 3-17-192-2000;
- прокладка – ГОСТ 28759.6-90;
- корпус – ГОСТ 20680-2002.

8. ОПИС НОВИЗНИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним процесом в сучасних ферментерах та біореакторах є перемішування з метою гомогенізації продукту у всіх точках його об'єму. Утворення вортексної воронки є одним з факторів, що перешкоджають створенню повністю гомогенного продукту, даний фактор часто виникає при підвищенні швидкості перемішування продукту. Сучасні швидкохідні перемішуючі пристрої не перешкоджають утворенню воронки, тому питання вдосконалення конструкції перемішуючих пристроїв з метою зменшення ймовірності утворення воронки є актуальним.

Було проведено комп'ютерне моделювання умов гомогенізації у біореакторі, а також натурне дослідження для підтвердження адекватності результатів комп'ютерного моделювання. Для комп'ютерного моделювання було створено 3D-моделі трьох типів перемішуючих пристроїв за допомогою програмного забезпечення SolidWorks: для стандартної відкритої турбінної мішалки з прямими лопатями, двохдискової відкритої турбінної мішалки з прямими лопатями та двохдискової відкритої турбінної з лопатями під кутами 45° (верх) та 135° (низ). Створені 3D-моделі показано на рис. 8.1.

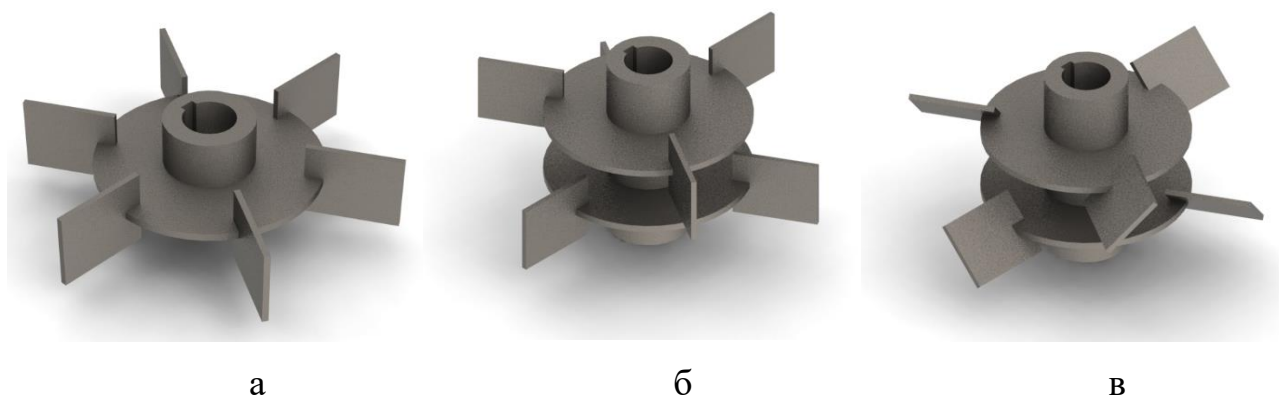


Рис. 8.1. Конструкція перемішуючих пристроїв: а – стандартна турбінна відкрита мішалка з прямими лопатями, б – турбінна відкрита двохдискова мішалка з прямими лопатями, в – турбінна відкрита двохдискова мішалка з різнонаправленими лопатями під кутом 45° та 135° .

Також для проведення комп'ютерного моделювання створимо 3D-модель об'єму ємності експериментального стенду, він показаний на рисунку 8.2.

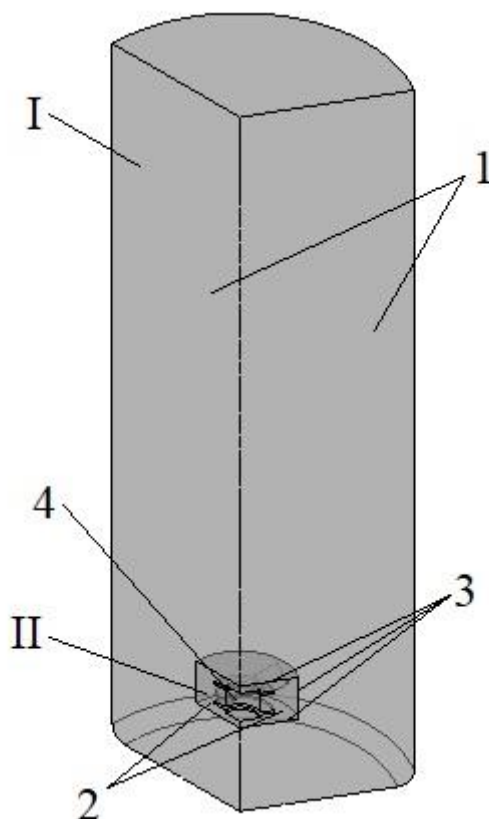


Рис. 8.2. Области моделювання:

I – нерухомий об’єм; II – менший рухомий об’єм; 1 – площини, для яких задаємо граничну умову *Rotation Periodicity*, для нерухомого об’єму; 2 – площини, для яких задаємо граничну умову *Rotation Periodicity*, для рухомого об’єму; 3 – площини, для яких задаємо граничну умову *Frozen Rotor*; 4 – стінка, яка є граничною умовою, що замінює стінку мішалки.

Підвантажуюємо створену 3D-модель до проекту програмного забезпечення ANSYS, де і буде проводитись моделювання. Спочатку розбиваємо область моделювання на кінцеві елементи, тобто створюємо сітку моделі. Далі вказуємо, що моделювання буде не стаціонарним та задаємо час проведення моделювання 10 секунд, а також зазначаємо, що рівень заповнення об’єму складає 75%. Частоту обертання мішалки задаємо від 200 до 600 об/хв. Далі запускаємо вирішувач і після завершення розрахунків переходимо до результатів.

Для відображення результатів побудуємо вектори швидкостей, контур об’ємного вмісту та контур розподілу швидкостей та покажемо їх на рисунках 8.3, 8.4, 8.5 відповідно.

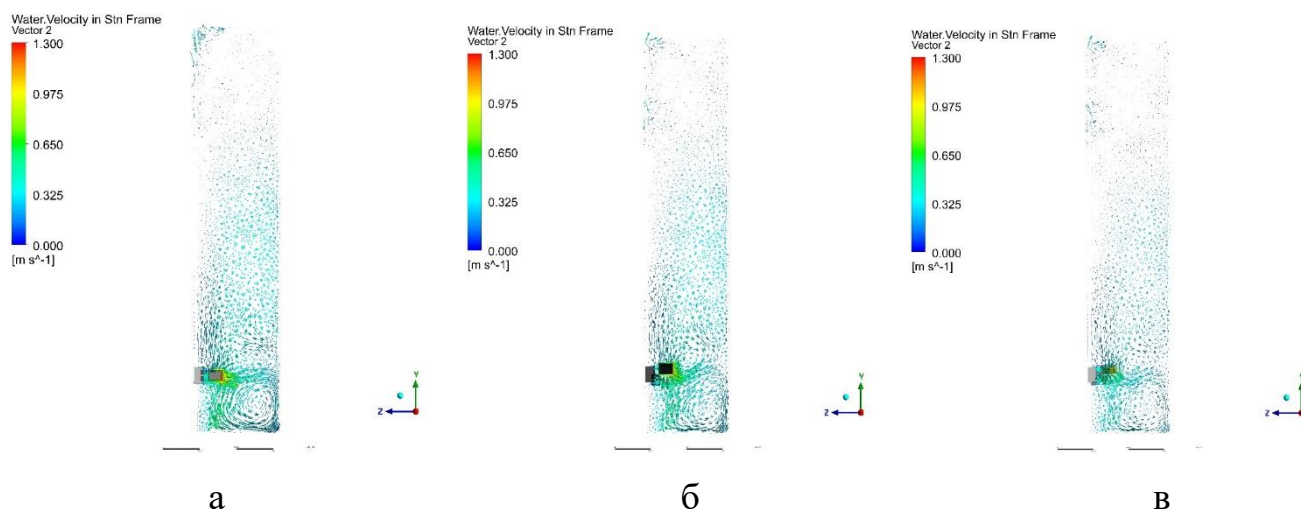


Рис. 8.3. Вектори швидкостей: а – для моделювання зі стандартною мішалкою, б – для моделювання з двохдисковою мішалкою, в - для моделювання з двохдисковою мішалкою з різнонаправленими лопатями під кутом 45° та 135° .

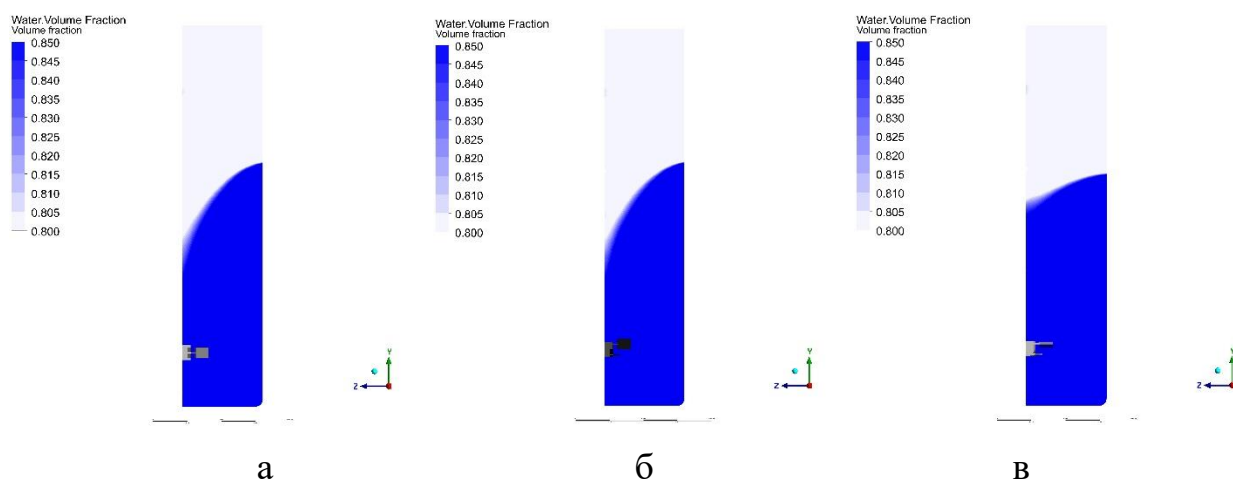


Рис. 8.4. Об'ємний вміст після 10 секунд перемішування:

а – для моделювання зі стандартною мішалкою, б – для моделювання з двохдисковою мішалкою, в - для моделювання з двохдисковою мішалкою з різнонаправленими лопатями під кутом 45° та 135° .

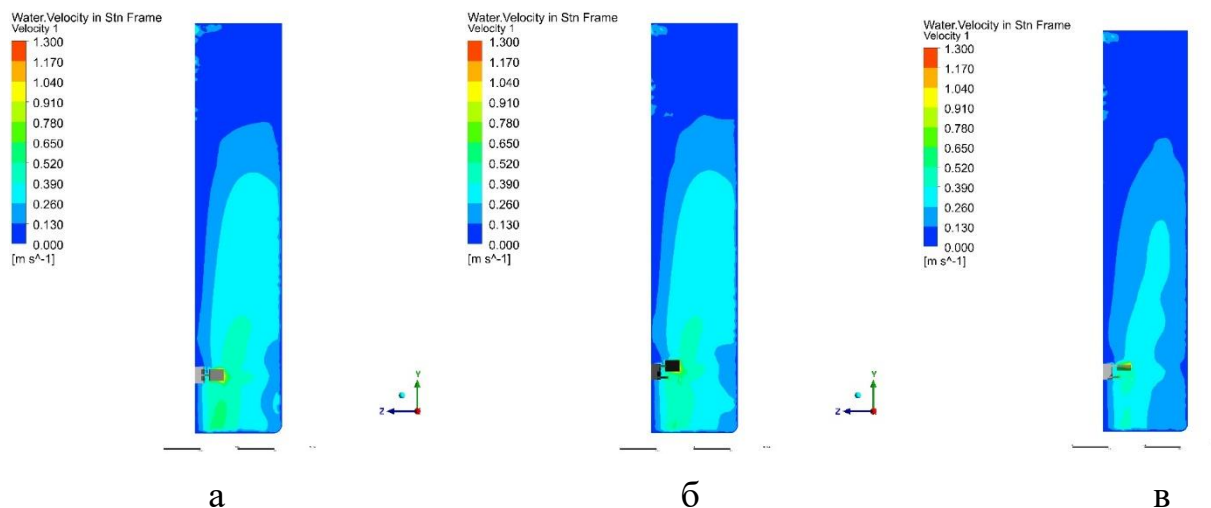
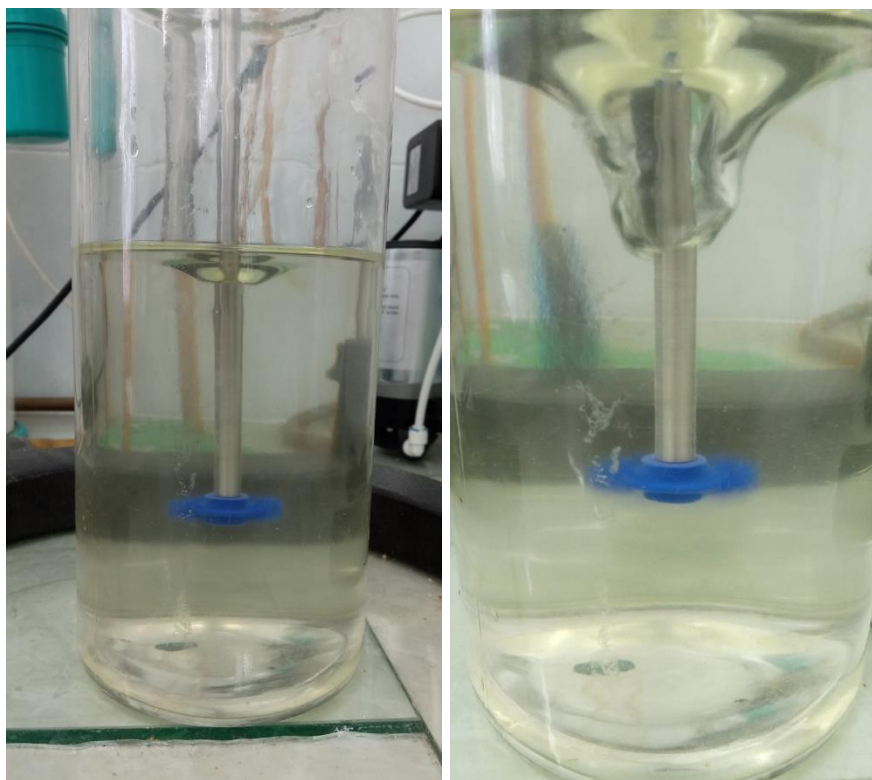


Рис. 8.5. Контур швидкостей: а – для моделювання зі стандартною мішалкою, б – для моделювання з двохдисковою мішалкою, в – для моделювання з двохдисковою мішалкою з різнонаправленими лопатями під кутом 45° та 135° .

Аналізуючи результати моделювання було визначено, що саме двохдискова конструкція із різнонаправленими лопатями при 600 об/хв практично не дає утворення воронки, на відміну від стандартної відкритої турбінної мішалки при тій же частоті. Тому було прийнято рішення про перевірку результатів моделювання в реальних умовах експерименту, для цього на 3D-принтері було створено мішалки, які представлені на рисунку 8.1.

Дослідження проводилось з поступовим підвищенням швидкості обертання мішалки до досягнення робочої швидкості перемішування з метою виявлення глибини воронки. При проведенні натурного дослідження було виявлено, що у ємності із стандартною турбінною мішалкою створюються радіальні потоки рідини, які відбиваючись від стінки ємності рухаються до верхньої частини ємності та до нижньої, після чого над мішалкою та під нею створюється зона розрідження, куди всмоктуються потоки рідини, в результаті чого і утворюється воронка.

Отже, під час дослідження, при використанні стандартної турбінної мішалки відкритого типу при швидкості обертання 200 об/хв було виявлено незначне зниження рівня рідини біля валу перемішуючого пристрою, що можна побачити на рис. 8.6.



а

б

Рис. 8.6. Стандартна турбінна мішалка відкритого типу:

а – частота обертання 200 об/хв, б – частота обертання 600 об/хв.

Дане явище свідчить про те, що воронка починає виникати у даному об'ємі при швидкості обертання 200 об/хв. В подальшому продовжуємо дослідження поступово збільшуючи швидкість обертання мішалки до 600 об/хв для того, щоб побачити максимальну глибину воронки на робочих обертах, яка орієнтовно становить: для 200 об/хв – 8 мм, для 600 об/хв – 45 мм (рис. 8.6. а, б).

Далі було замінено перемішувач на турбінну двохдискову мішалку з лопатями під кутом і проведено аналогічне дослідження. Спостерігаються не тільки радіальні потоки рідини, а й утворюються осьові переміщення рідини, що сприяє кращому перемішуванню та гомогенізації.

Отже, при використанні турбінної двохдискової мішалки з лопатями під кутом при досягненні швидкості 200 об/хв практично не спостерігалось зниження рівня рідини. При подальшому підвищенні швидкості обертання було виявлено незначне зниження рівня рідини біля валу перемішувача при швидкості обертання 400 об/хв – 0,06m, для 600 об/хв – 0,012m (рис. 9. а, б).

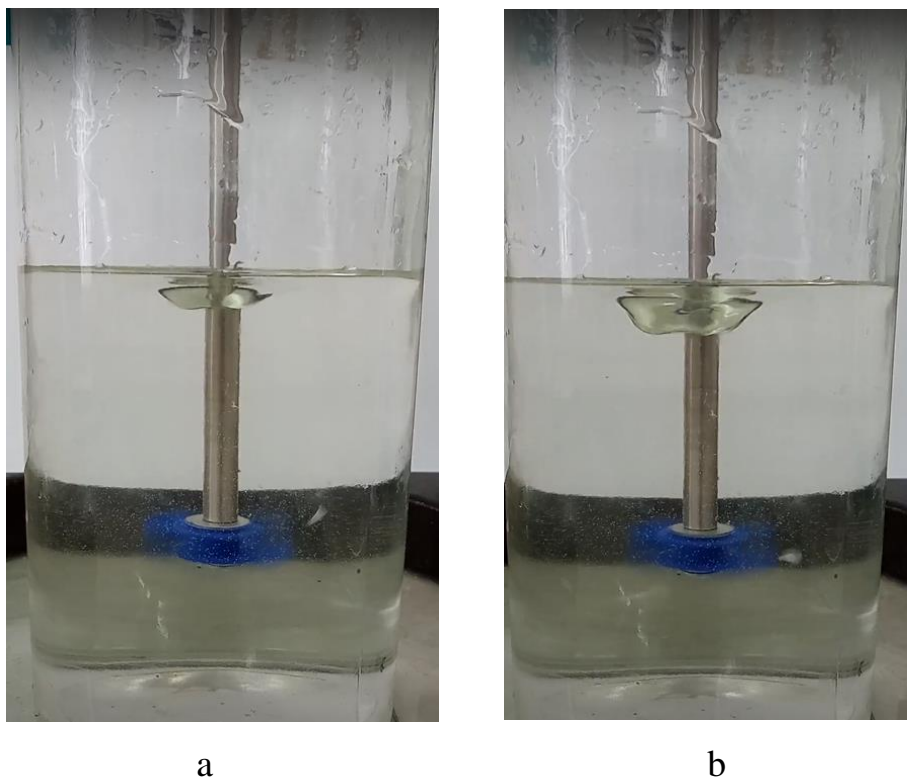


Рис 9. Двохдискова турбінна мішалка з лопатями під кутом:
а – частота обертання 400 об/хв, б – частота обертання 600 об/хв.

Отже, можемо констатувати те, що результати натурного експерименту відповідають тим, що були отримані при моделюванні в програмному забезпеченні ANSYS для встановлених режимів роботи мішалок. Розбіжність лежить в межах допустимих похибок. Збіжність результатів експерименту і комп'ютерного моделювання свідчить про те, що запропоновані моделі відповідають дійсності і підтверджують можливість оцінювання ефективності змішування і попередження небажаних чинників, таких як вортесна воронка на етапі проектування конструкції [15].

9. СТАРТАП-ПРОЕКТ

Для формування стартап-ідеї необхідно дати відповідь на запитання, які допоможуть правильно її сформулювати та визначити об'єкт та суб'єкт стартапу. Відповіді наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1. Формування стартап-ідеї.

Питання	Відповідь
Що є?	Біореактор з механічним перемішувачем пристроєм типу відкрита турбінна мішалка
Що якщо?	Змінити геометрію перемішувача пристрою
Що ВАУ?	В результаті збільшиться ефективність перемішування, зменшиться ймовірність виникнення воронки, зменшиться час на виробництво продукції і, як наслідок, збільшиться прибуток виробника
Що робити?	Дослідити всі відомі конструкції турбінних мішалок, проаналізувати їх недоліки та переваги і запропонувати удосконалення конструкції

Отже, стартап-ідея буде звучати так: вдосконалення відомої конструкції перемішувача пристрою з метою підвищення ефективності використання біореактора.

Об'єктом стартапу є турбінна мішалка, суб'єктом – особиста ідея автора стартап-проекту. Розглянемо основні потреби, які задовольняє стартап. Зі сторони споживача це буде збільшення ефективності перемішування та зменшення часу на приготування продукції, а зі сторони виробника – отримання прибутку від продажу одиниці обладнання, оснащеного вдосконаленою мішалкою. Стартап спрямований на

покращення виробничого процесу (фактор сприйняття) та задоволення споживачів (результат). У ланцюжку цінностей продукту стартап займає місце «розробки» та подальшого впровадження.

При визначенні мети проекту слід надати його характеристики за такими критеріями:

- позиція наданого товару в міжнародній товарній класифікації,
- місце запропонованого товару у міжнародній класифікації товарів,
- цінність,
- будь-яке матеріальне або ідеальне явище, яке має значення для людини чи суспільства, заради якого вона діє, витрачає сили, час, гроші, здоров'я тощо, заради якого вона живе,
- гранична корисність товару – суспільна цінність, яку споживач втратить при відмові від цього товару.

Ціннісна пропозиція за стартап-ідеєю наведена в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2. Ціннісна пропозиція за стартап-ідеєю.

Питання	Цінність
Авторська сутність ідеї	Біореактор з турбінною мішалкою нової конструкції
Наявність аналогів або прототипів ідеї	1. Реактор з нержавіючої сталі (ТОВ «Промвест Груп») 2. Корпорація Діоніс 3. ТОВ «Екологія води»
Ціна аналогів і прототипів, грн/од.	1. 280000 грн 2. 225000 грн 3. 200000 грн
Ступінь розробленості технології реалізації	90%. За основу взято існуючі реактори, внесено зміни лише в конструкцію перемішуючого пристрою.

Наявність готового технологічного обладнання	Стандартизовані вузли та ємнісне обладнання, кріпильні вироби, опорні лапи, теплообмінні пристрої.
Перелік потенційних постачальників для реалізації замовлень стартапу	ТОВ «Сталевий партнер» DECORMETUKR Мед-Мет
КВЕД до якого може належати дане виробництво	Клас С, група 28.93
Очікувана потужність стартапу (одиниць, одиниць/споживача)	5 одиниць (модернізація 5 біореакторів на замовлення)
За наявністю підготовленого персоналу	Персонал – автор ідеї
Бажана сфера пошуку капіталу і контролю для реалізації стартапу (національний, іноземний, спільний, багатонаціональний)	Національний, іноземний
Бажане географічне розташування	
- потужностей стартапу	М. Київ, м. Дніпро (біля великих виробників фармацевтичного та хімічного обладнання)
- офісу стартапу	М. Київ
- збутової мережі	Усі регіони України
- постачальників комплектуючих	В межах області
Яка форма організації виробничих процесів (періодична, безперервна)	Періодична
Який режим роботи підприємства з виробництва стартапу протягом року (сезонне, поза сезонне)	Поза сезонне

Яке географічне розташування на території України За плановим терміном реалізації проекту	
- До 3 років самостійної роботи	М. Київ
- До 5 років самостійної ідеї	М. Київ, м. Дніпро
- Самостійна робота з подальшим удосконаленням ідеї	М. Київ – в офісі стартапу.
- Продаж ідеї	Київ, Дніпро
- Продаж виробництва	Київ, Дніпро
- Закриття	Київ

На підставі сформованих цінностей можна визначити варіанти розвитку стартап-ідеї.

Таблиця 9.3. Варіанти розвитку стартап-ідеї.

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
Нормативно-технологічна документація, креслення	Найменші затрати на стартап, одноразовий продаж, мінімум доходів.
Турбінна мішалка із вдосконаленою конструкцією	Організація виробництва турбінних мішалок, постійний дохід від споживачів.
Біореактор у зібраному стані, оснащений турбінною мішалкою нової конструкції	Найскладніший і найдорожчий варіант розвитку подій. Закупівля комплектуючих, робочий цех із складання комплектуючих, перевірки працездатності, спеціалісти із пусконаладжувальних робіт. Великі затрати, які супроводжуються великими постійними доходами.

Визначивши варіанти розвитку стартап-ідеї, оберемо найбільш прибутковий варіант – біореактор у зібраному стані, оснащений турбінною мішалкою нової конструкції. Суть стартапу полягає у закупівлі всіх комплектуючих, їх збиранню та власному виготовленню турбінної мішалки нової конструкції. Так як даний варіант

розвитку стартап-ідеї є найбільш прибутковим, то саме його ми будемо просувати на ринок.

Необхідно визначити прогнозовану вартість стартап-ідеї, всі складові для зручності внесемо до таблиці 9.4.

Таблиця 9.4. Прогнозована вартість стартап-ідеї.

Прогнозований елемент витрат	Прогнозована кількість, одиниць.	Прогнозована вартість, грн.	Джерело покриття витрат
Підйомник гідравлічний	1	10000	Кредит
Звалювальний апарат	1	2000	Власні кошти
Оренда приміщення	1	50000	Кредит
Комплект інструментів	1	8000	Кредит
Транспорт	1	3000 грн/замовлення	Замовник
Комплектуючі для збирання обладнання	1	150000	Замовник
Нематеріальні активи	Технічна документація	10000	Замовник
Зварювальник	1	3000 грн/замовлення	Замовник
Разом		236000 грн/замовлення	

Проведемо також аналіз впливу факторів зовнішнього оперативного середовища на цінність стартап-проекту та занесемо дані до таблиці 9.5.

Таблиця 9.5. Аналіз впливу факторів зовнішнього оперативного середовища.

Фактор зовнішнього середовища	Загрози			Можливості		
	Сутність загрози	Ймовірність настання	Вплив на цінність стартапу	Сутність можливості	Ймовірність настання	Вплив на цінність стартапу
Політика	Війна	20%	1.5% Військовий податок. Виклик персоналу на виконання військового обов'язку.	Часткова переорганізація виробництва на воєнні потреби.	80%	Збільшення собівартості стартапу.
	Приєднання України до ЄС.	10%	30%. Втрата споживачів у країнах СНД.	Розширення кількості іноземних споживачів та партнерів.	90%	70%. Співробітництво та визнання в усьому світі.
	Закриття кордонів (у зв'язку з пандемією)	45%.	20%. Тимчасове припинення експорту продукції.	Зменшення впливу конкурентів.	80%.	20%. Збільшення вартості стартапу.
	Зміна місцевої влади.	50%	50%. Збільшення оподаткування на реалізацію продукції	Набуття політичних партнерів.	50%	50%. Збільшення кількості споживачів.
Економіка	Збільшення оподаткування для даної галузі.	55%.	10%. Збільшення загальних витрат на проект і як наслідок зменшення вартості стартапу.	Зменшення оподаткування для даної галузі.	45%. (При вдалому внесенні відповідного законопроекту).	10%. Збільшення вартості стартапу.
	Девальвація гривні	70%	30% Збільшення витрат на закупівлю і ремонт обладнання.	Додатковий дохід за рахунок продажу товару в доларах. Зменшення витрат на персонал.	90%	40%. Збільшення прибутковості стартапу.
	Ревальвація	30%	10% Зниження доходів за рахунок експорту.	Зменшення вартості імпортованої сировини. Покращення конкурентоспроможності.	70%.	90%. Збільшення прибутковості стартапу.
Географія	Розташування в сільській місцевості	20%	60%. Додаткові витрати на доставку/відведення енергоресурсів.	Розташування у містах, обласних центрах, столиці.	80%	40%. Зручність підведення/відведення комунікацій. Зменшення додаткових витрат.

	Екологічно чиста місцевість.	70%	20%. Збільшення витрат на утилізації відходів та очистку відпрацьованого повітря/води.	Зменшення витрат на підготовку води та повітря для виробничого циклу.	30%.	80%. Збільшення прибутковості стартапу.
Демографія	Зменшення кількості населення.	60%	70%. Відсутність кваліфікованих спеціалістів.	Збільшення кількості населення.	40%	30%. Збільшення кваліфікованих спеціалістів.
Культура	Зниження рівня популярності роботи в цехах	30%	50%. Небажання працювати в цехах серед студентів.	Підвищення інтересу до технічних спеціальностей.	70%	50%. Підвищення ймовірності найму більш кваліфікованих кадрів.
НТР	Нове технологічне обладнання.	40%.	60%. Додаткові витрати на заміну обладнання.	За рахунок нового обладнання можна досягти кращі економічні показники виробництва.	70%.	40%. Збільшення прибутковості стартапу.
	Автоматизація технологічного процесу.	50%.	50%. Додаткові витрати на переоблаштування виробничого циклу.	Зменшення витрат на виробничий персонал.	50%.	50%. Збільшення прибутковості стартапу.
	Можливість поширення інформації про погану якість продукції в інтернеті.	10%	40%. В	Підвищення ефективності від реклами продукції.	90%	60%. Збільшення кількості споживачів.

Важливо також знати вплив внутрішнього оперативного середовища на стартап-ідею. Аналіз впливу факторів внутрішнього оперативного середовища наведено в таблиці 9.6.

Таблиця 9.6. Аналіз впливу факторів внутрішнього оперативного середовища.

Фактор	Переваги			Недоліки		
	Сутність	Ймовірність настання	Вплив на цінність	Сутність	Ймовірність настання	Вплив на цінність
Постачальники	Велика кількість постачальників в сировини	70%	60%. Можливість вибору більш якісного постачальника	Велика вартість сировини через конкуренцію постачальників	30%	40%. Більші витрати на закупівлю сировини.
	Постачальники з країн, що розвиваються	40%	80%. Економія коштів на сировині.	Постачальники з країн, що розвиваються	60%	50%. Зниження якості продукції.
Посередники	Співпраця з посередниками нового покоління.	80%	70%. Пришвидшення реалізації продукції за допомогою новітніх технологій.	Співпраця з посередниками нового покоління.	20%	15%. Велика вартість послуг.
Конкуренти	Оновлення продукції.	70%	100%. Виготовлення більш якісної продукції та різних її видів.	Оновлення продукції.	30%	20%. Додаткові витрати на вдосконалення продукції.
	Зниження цін на продукцію.	60%	65%. Заохочення нових споживачів та збільшення випуску продукції.	Зниження цін на продукцію	40%	10%. Зниження прибутку з однієї одиниці продукції.
Споживачі	Підвищення попиту на продукцію.	75%	80%. Збільшення прибутку підприємства.	Підвищення попиту на продукцію.	70%	15%. Необхідність підвищення якості продукції.

Сформуємо потенційного споживача даного стартапу та запишемо дані в таблицю 9.7.

Таблиця 9.7. Характеристики потенційного споживача.

Критерій оцінки потенційного споживача	Значення
Форма власності	Змішане
КВЕД	КВЕД-2010: клас 21.20
За потужністю	Великомасштабні
За масштабом виробництва	Масові
За рівнем спеціалізації	Багатопрофільні
За ресурсами, що споживаються	Матеріаломісткі
За чисельністю персоналу	Великі
За сферою діяльності	Виробничі
За приналежністю капіталу і контролю	Спільні багатонаціональні
За географічним розташуванням	Київська область
За наявністю вільних ОБЗ	Від 500 000 грн.

Проаналізувавши характеристики потенційних споживачів можна звузати область пошуку споживача.

Для того, щоб виявити актуальну цінність стартапу для споживачів часто використовують один з методів збору інформації, який називається опитування, або анкетування. Даний спосіб зручний тим, що після проведення анкетування нам стає зрозуміло, чи зможе зацікавити наш стартап потенційного споживача.

Сформуємо список перших споживачів нашого стартапу, для яких ми можемо запропонувати наш продукт. Список потенційних споживачів занесемо до таблиці 9.8.

Таблиця 9.8. Список потенційних споживачів.

Місце пошуку	Конкретна адреса пошуку	Знайдена інформація	Контакти	Особливості
Каталог підприємств України	https://www.ua-	БІОФАРМА, ТОВ. Рік заснування: 2014 р. За розміром: велике.	03022, м. Київ, вул. Амурська, 6, корп. 5.	Виробництво фармацевтич

	region.com.ua/kved/21.20	Кількість працівників: 295. Код ЄДРПОУ: 39071152.	(044)3900810. info@biopharma.ua a https://biopharma.ua/	них препаратів.
Каталог підприємств України	https://www.ua-region.com.ua/kved/21.20	БОРЩАГІВСЬКИЙ ХІМІКО-ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ ЗАВОД, НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР, ПАТ. Рік заснування: 1947 р. За розміром: велике. Кількість співробітників: 862. Код ЄДРПОУ: 23518596.	03134, м. Київ, вул. Миру, 17. +38(044)2054110, +38(044)4972148, +38(044)2050352	Лікарські засоби; Ветеринарні препарати; Добавки дієтичні; Дезинфікуючі засоби / вмп; Субстанції/ф ітохімічні екстракти; Нові розробки.
Каталог підприємств України	https://www.ua-region.com.ua/kved/21.20	БРОВАФАРМА, ТОВ. Рік заснування: 1992. За розміром: середнє. Кількість співробітників: 115. Код ЄДРПОУ: 14332579.	07400, Київська обл., м. Бровари, бул. Незалежності, 18а. (044) 3300224, (050) 4469312, (067) 4023788.	-
Місце пошуку	Конкретна адреса пошуку	Знайдена інформація	Контакти	Особливості
Каталог підприємств України	https://www.ua-region.com.ua/kved/21.20	ДАРНИЦЯ, ФАРМАЦЕВТИЧНА ФІРМА, ПРАТ. Рік заснування: 1994.	02093, м. Київ, вул. Бориспільська 13.	Виробництво фармацевтичних препаратів і матеріалів для:

		За розміром: велике. Кількість співробітників: 869. Код ЄДРПОУ: 00481212.	(044) 2077318, (044) 2077300. info@darnitsa.ua a https://www.darnitsa.ua/	Неврологія; Кардіо та метаболічні; Хірургія; Застуда та температура; Інтимне здоров'я; Алергія; Дерматологія; Антибактеріальні та антисептики; Гастроентерологія; Біль та запалення.
Каталог підприємств України	https://www.ua-region.com.ua/kved/21.20	СПЕРКО УКРАЇНА, УКРАЇНСЬКО-ІСПАНСЬКЕ СП ТОВ. Рік заснування: 1995. За розміром: середнє. Кількість співробітників: 311. Код ЄДРПОУ: 20112362.	21027, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 25. (0432) 523049, (0432) 560635. office@sperco.ua a https://sperco.ua /	Фармацевтична продукція; Лікарські препарати

Необхідно також оцінити конкурентне середовище стартапу. Аналіз конкурентного середовища наведено в таблиці 9.9.

Таблиця 9.9. Аналіз конкурентного середовища.

Напрямок конкуренції	Назва конкурента	Контакти конкурента
За географічним розташуванням виробництва	ТОВ «ІНОХРА»	04073, м. Київ Пр. Московський 6, офіс 508 Тел. +380445360957

		kiev@inoxpa.com
	"ЮНІЛАБ"	04208, м. Київ, Пр-т. Правди, 88 Б +38 044 221 44 95 info@unilab.kiev.ua
За географією ринку збуту	ТОВ «Уніхімтек- Україна»	м. Київ, вул. Мурманська, б. 3, оф. 2 +380 (67) 233-13-81
За категоріями споживачів	ТОВ «ЛОГІКЛАБГРУПА»	вул. Березняківська, 29, Київ, Україна +380 (67) 217-11-19 info@llg-ukraine.com.ua
За технологією виробництва	ТОВ «Мед-Пром Ресурс»	м. Киев, вулиця Старокиївська, 10, офіс 214
За продуктом	Завод технологічного обладнання	м. Кропивницький, вул. Волкова, 13-Г, +380 (522) 55-57-89
	ТОВ «Теон»	65104, м. Одеса, вул. Ільфа і Петрова, 20 +380 (68) 547-16-11
За властивостями продукту	ПП «Стройторгсервіс»	49006, м. Дніпро, пр-т Пушкіна 39
За ціною продукту	ТОВ «Промвест груп»	Одеса, вул. Строганова, буд.10 +380 (98) 202-68-47

Отже, можна впевнено сказати, що конкурентами є вітчизняні виробники.

Оберемо найсильніших з них, в залежності від напрямку конкуренції.

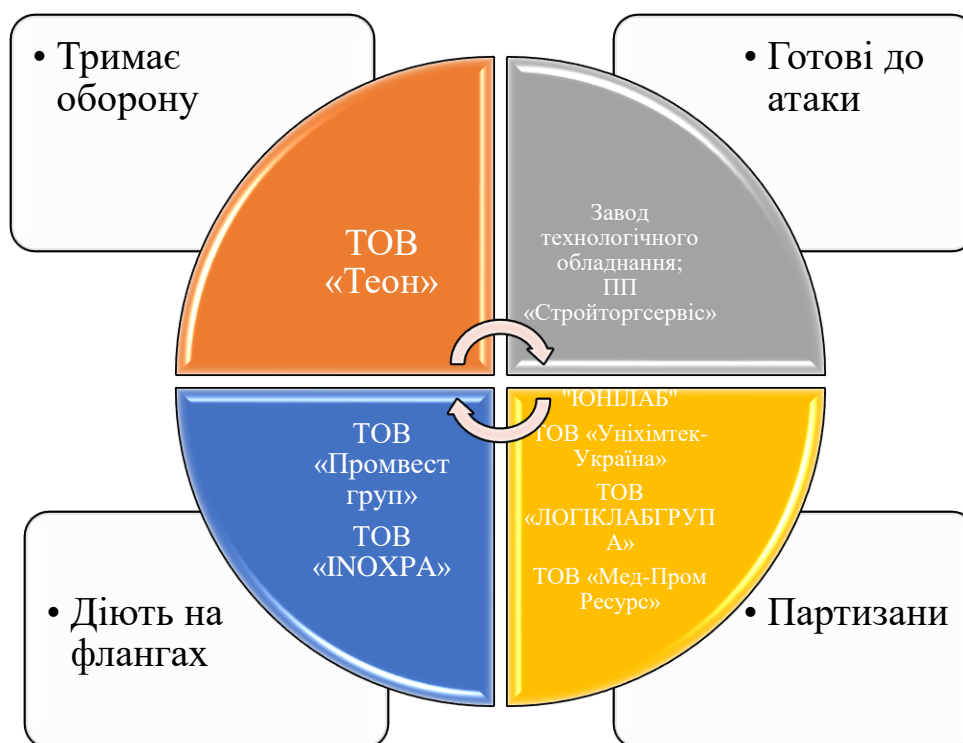


Рис. 9.1. Розподіл конкурентного середовища за впливом на ринку.

Розглядаючи даний стартап за методом квадрату Бове [16], можна його віднести до зони «Партизанів», так як заходити на ринок і розвідати обстановку на ринку зручно саме із даної зони.

Далі необхідно розглянути фінансові складові стартапу (таблиця 9.10).

Таблиця 9.10. Фінансові складові стартапу.

№ п/п	Складова	Сума, грн
1	Сировина та матеріали	115 000
2	Вартість приміщення (грн/міс)	12 000
3	Нематеріальні активи	13 000
4	Інше	10 000
5	Амортизація	20 000
6.	Заробітня плата персоналу (грн/міс)	30 000
7.	Разом собівартість	200 000

Біореактор має у конструкції такі складові, як: корпус із теплообмінною сорочкою, об'ємом $3,2 \text{ м}^3$ – 65 000 грн, еліптична кришка з трубою перетискування – 20 000 грн, перемішуючий пристрій з приводом – 30 000 грн.

Отже, собівартість виготовлення [17] одного біореактора складає:

$$C = \text{ОбЗ} + A = 200\,000 \text{ грн.}$$

Запланована ринкова ціна (за конкурентним методом) апарату:

$$Ц = 300\,000 \text{ грн/од.}$$

Прибуток:

$$П = Ц - C = 300\,000 - 200\,000 = 100\,000 \text{ грн}$$

Рентабельність:

$$P = \frac{П}{C} \cdot 100\% = \left(\frac{100\,000}{200\,000} \right) * 100\% = 50\%$$

1) Витратний метод

У витратному методі відсоток прибутку встановлюється такий, який ми бажаємо отримати за реалізацію однієї одиниці продукції. Нехай в нашому випадку він буде складати 20%, тоді розрахуємо ціну:

$$Ц = C + \%П = 200\,000 + 0,2 \cdot 200\,000 = 240\,000 \text{ грн.}$$

2) Параметричний метод

Параметричний метод включає певні параметри готового товару вже готового аналогічного апарату з врахуванням оцінки нової та базової моделі.

$$\begin{aligned} Ц_{\text{нovoї моделі}} &= Ц_{\text{базової моделі}} \cdot \left(\frac{\text{балова оцінка нової моделі}}{\text{балова оцінка базової моделі}} \right) = 280\,000 * \left(\frac{8}{7} \right) \\ &= 320\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

3) Метод точки беззбитковості

Метод точки беззбитковості заснований на сукупних витратах і доходах підприємства, які одержані в результаті реалізації різних обсягів виготовленої продукції.

$$Ц = (A + \text{ОбЗ} \cdot B) / B = (20\,000 + 180\,000 * 1) / 1 = 200\,000 \text{ грн.}$$

4) Метод конкурентних цін

Метод конкурентних цін використовують підприємства, які виходять виключно з умов конкуренції і встановлюють ціну вищу чи нищу ніж конкуренти.

Якщо оцінити ринкові ціни на обладнання для змішування, то можна встановити ціну в розмірі 350 000 грн за один апарат, а прибуток 150 000, отже маємо максимально допустиму собівартість: $350\,000 - 150\,000 = 200\,000$ грн.

5) Агрегатний метод.

Агрегатний метод прийнято застосовувати до товарів, які складаються з певної окремих виробів або для товарів, які складаються з окремих вузлів, деталей.

$$\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_M + C_H \\ &= 65\,000 + 30\,000 + 20\,000 + 15\,000 + 10\,000 + 5\,000 + 70\,000 \\ &= 215\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

$C_1 = 65\,000$ грн – корпус із теплообмінною сорочкою;

$C_2 = 30\,000$ грн – перемішувачий пристрій з електроприводом;

$C_3 = 20\,000$ грн – кришка із трубою перетискування;

$C_4 = 15\,000$ грн – опорні лапи (3 штуки);

$C_5 = 10\,000$ грн – технічна документація;

$C_M = 5\,000$ грн – ціна за монтаж;

$C_H = 70\,000$ грн – нормативний прибуток.

Результати дослідження методів ціноутворення наведені у таблиці 9.11.

Таблиця 9.11. Результати дослідження методів ціноутворення.

Метод ціноутворення	Прогнозна ціна	Планований прибуток	Максимально допустима собівартість
Витратний	240 000	40 000	200 000
Параметричний	320 000	120 000	200 000
Конкурентний	350 000	150 000	200 000
На підставі точки беззбитковості	200 000	0	200 000

Агрегатний	215 000	75 000	140 000
Оптимальні величини	350 000	150 000	200 000

Ми бачимо, що найменший прибуток приносить витратний метод ціноутворення, метод точки беззбитковості взагалі не приносить прибутку, а лише покриває витрати на виробництво, агрегатний метод приносить середній прибуток. Найвищі показники прибутку мають методи параметричний та конкурентний, де ми самі визначаємо розмір бажаного прибутку, орієнтуючись на ринкові ціни.

Тому при встановленні ціни на біореактор обираємо конкурентний метод ціноутворення, який дозволяє отримати найбільший прибуток, мати конкурентну ціну на ринку та фіксовану собівартість на виготовлення апарату.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації було досліджено лінію виробництва біовіту з розробкою біореактора, що є одним з головних апаратів даної лінії. Біореактор забезпечує ефективне перемішування продуктів за допомогою турбінного перемішуючого пристрою, який запобігає налипанню твердих часточок до стінок біореактора. Проте при використанні турбінної мішалки у процесі гомогенізації відбувається таке небажане явище, як виникнення вортেকсної воронки. Дане явище негативно впливає на гідродинамічну обстановку у об'ємі біореактора та на працездатність перемішуючого пристрою.

Тому було запропоновано нову конструкцію перемішуючого пристрою, конструкцію якого створено на основі стандартної турбінної мішалки відкритого типу, що має у своїй конструкції два паралельних диски для кріплення лопатей, три лопаті, що кріпляться на верхній диск знаходяться під кутом 45° до площини диска, а інші три лопаті – на нижньому диску під кутом 135° до площини диска для того, щоб висхідні потоки рідини одразу пригнічувались низхідним потоком рідини, що створюють верхні лопаті мішалки. Результати комп'ютерного моделювання збігаються із результатами, отриманими при проведенні натурного експерименті, і можна зробити висновок, що дана конструкція зменшує можливість утворення вортексної воронки при підвищенні швидкості обертання перемішуючого пристрою та дозволяє отримати на виході гомогенний продукт за менший проміжок часу.

Отримані результати задовольняють необхідні робочі умови. Дано рекомендації з монтажу та експлуатації, а також розроблено стартап-проект з виробництва та реалізації біореакторів з механічним перемішуючим пристроєм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Влязло Р. Й. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості [Текст] / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новіков — Львів: «Інтелект-Захід», 2008. — 736 с.
2. ХЛОРТЕТРАЦИКЛІНУ ГІДРОХЛОРИД | Фармацевтична енциклопедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/217/xlortetraciklinu-gidrochlori-d>
3. Ферментер — Кафедра біотехніки та інженерії НТУУ "КПІ" [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://bioengineering.kpi.ua/ua/kafedra/fotohalereia-farmatsevychnoho-ta-biotekhnolohichnoho-obladnannia/59-fermentatsiine-obladnannia-fermentery/286-fermenter>
4. Пристрій ферментера і його використання в біотехнології. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://i-medic.com.ua/index.php?newsid=15921>
5. 2.4. Біовіт | ФАРМАТОН [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://farmaton.com.ua/uk/24-biovit>
6. Хлортетрациклин гидрохлорид или хлортетрациклин HCL CAS 64-72-2 Производители и поставщики – Цена – Fengchen [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.fengchengroup.net/pharmaceutical-api/antibiotics/chlortetracycline-hydrochloride-or.html#>
7. Біовіт-80 порошок, 1 кг, - купити в Києві - ціна | опис, склад, показання [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vetpreparaty.com.ua/biovit-80-poroshok-1-kg/>
8. Мосичев М. С., Складнев А. А., Котов В. Б., Общая технология микробиологических производств. – М.: Легкая и пищевая пром-сть. 1982. – 264 с.
9. Про затвердження форм заяв, текс... | від 14.07.2008 № 133 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0727-08#n467>
10. ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия, ГОСТ от 10 октября 2002 года №20680-2002 [Текст]. – Взамен ГОСТ 20680-86; введ. 01.06.2003. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 32 с.

11. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями № 1, 2) [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 1985. – 73 с.

12. АТК 24.201.17-90 Мешалки. Типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования [Текст]. – Взамен ОСТ 26-01-1245-83; введ. 01.01.1990. – ЛенНИИхиммаш, 1990. – 32 с.

13. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. Пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств»/И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский и др.; Под общ ред. В. Н. Соколова – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1982. – 384 с.

14. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2018. – 89 с.

15. Korobiichuk I., Shybetskyi V., Kostyk S., Kalinina M., Tsytsiura A. (2022) WAYS TO REDUCE THE CREATION OF VORTEX DURING HOMOGENIZATION OF LIQUID PRODUCTS. In: Szewczyk R., Zieliński C., Kaliczyńska M. (eds) Automation 2022: Recent Achievements in Automation, Robotics and Measurement Techniques. AUTOMATION 2022. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 27. Springer, Cham.

16. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016 – 28 с.

17. Основи виробничого підприємництва: Навчальний посібник/під ред. Підлісної О.А., Янкового В.В. – К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», НТУУ «КПІ», 2010. – 287 с.

ДОДАТОК А. АПАРАТУРНА СХЕМА

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ

ДОДАТОК В. ПАТЕНТНИЙ ПОШУК