

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого  
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту(декан факультету)  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Сергій Блаженко  
(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Олександр Гавва  
(ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв виробництв

на тему: Обґрунтування режимів роботи та конструкційних параметрів ферментатора для глибинного культивування мікроорганізмів об'ємом 63 м<sup>3</sup>

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 6М

Бовкуш Артем Олегович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Чепелюк Олена Олександрівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2022р.



## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 2 листопада 2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст</i>	<i>15.11.21</i>	<i>Виконано</i>
2	<i>Вступ</i>	<i>20.11.21</i>	<i>Виконано</i>
3	<i>Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі</i>	<i>05.12.21</i>	<i>Виконано</i>
4	<i>Об'єкт і методика досліджень</i>	<i>10.12.21</i>	<i>Виконано</i>
5	<i>Результати моделювання</i>	<i>20.12.21</i>	<i>Виконано</i>
6	<i>Опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи</i>	<i>25.12.21</i>	<i>Виконано</i>
7	<i>Вибір конструкційних матеріалів</i>	<i>10.01.22</i>	<i>Виконано</i>
8	<i>Розрахункова частина</i>	<i>15.01.22</i>	<i>Виконано</i>
9	<i>Технологія складання вузла</i>	<i>18.01.22</i>	<i>Виконано</i>
10	<i>Вимоги до монтажу, ремонту та експлуатації</i>	<i>20.01.22</i>	<i>Виконано</i>
11	<i>Опис системи управління</i>	<i>22.01.22</i>	<i>Виконано</i>
12	<i>Охорона праці</i>	<i>24.01.22</i>	<i>Виконано</i>
13	<i>Висновки</i>	<i>26.01.22</i>	<i>Виконано</i>
14	<i>Список використаної літератури</i>	<i>28.01.22</i>	<i>Виконано</i>
15	<i>Графічна частина: 5 аркушів</i>	<i>28.01.22</i>	<i>Виконано</i>
16	<i>Подача МР на кафедру</i>	<i>01.02.22</i>	<i>Виконано</i>

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Артем Бовкуш

(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олена Чепелюк

(прізвище та ініціали)

## Анотація

В магістерській роботі виконана модернізація ферментатора об'ємом 63 м<sup>3</sup> та промодельовані процеси надходження кисню у місткість та очищення ферментатора, на які вплинули запропоновані зміни.

Запропоновано замінити турбінну мішалку на лопатеву, конструкція якої передбачає повторне використання повітря, а також встановити пристрої для безрозбірного очищення ферментатора – дві форсунки щілинного типу і одну – статичну миючу головку.

Порівняно з базовим варіантом, перевагами модернізованої конструкції ферментатора є: збільшення продуктивності; покращення умов культивування мікроорганізмів; спрощення процесів обслуговування обладнання.

Проаналізовано розподіл концентрації кисню в культуральній рідині, швидкості рідинного і газового потоків, тиск всередині місткості. Встановлено, що запропоновані зміни позитивно впливають на процес надходження повітря і, відповідно, забезпечують мікроорганізми достатньою кількістю кисню. Запропоновані раціональні значення режимів роботи ферментатора.

В пояснювальній записці наведено аналіз сучасних рішень в галузі культивування мікроорганізмів, опис конструкції та принципу роботи обладнання, виконано моделювання процесів подачі й розподілу повітря у ферментаторі, а також його очищення. Висвітлені інші питання, передбачені завданням на проектування.

Магістерська робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, яка містить 86 ст., та графічної частини – 4 листи формату А1.

**Ключові слова:** ферментатор, перемішувачий пристрій, аератор, культивування, очищення.

## Annotation

The master's thesis modernized the 63 m<sup>3</sup> fermenter and modeled the processes of oxygen supply to the tank and cleaning the fermenter, which were affected by the proposed changes.

It is proposed to replace the turbine stirrer with a mixing device, the design of which involves the reuse of air, as well as to install devices for disassembled cleaning of the fermenter - two slot-type nozzles and one – static cleaning head.

Compared to the basic version, the advantages of the modernized fermenter design are: increased productivity; improving the conditions for the cultivation of microorganisms; simplification of equipment maintenance processes.

The distribution of oxygen concentration in the cultural fluid, the velocity of liquid and gas flows, the pressure inside the tank are analyzed. It is established that the proposed changes have a positive effect on the process of air supply and, accordingly, provide microorganisms with sufficient oxygen. Rational values of fermenter operating modes are offered.

The explanatory note provides an analysis of modern solutions in the field of cultivation of microorganisms, a description of the design and principle of operation of the equipment, simulations of the processes of supply and distribution of air in the fermenter, as well as its purification. Other issues covered by the design task are highlighted.

The master's thesis consists of a calculation and explanatory note, which contains 86 pages, and a graphic part - 4 sheets of A1 format.

**Key words:** fermenter, mixing device, aerator, cultivation, cleaning.

## Зміст

Вступ	8
1. Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі	10
1.1 Роль мікроорганізмів у харчовій промисловості	10
1.2 Процеси, які відбуваються при культивуванні мікроорганізмів	12
1.3. Класифікація ферментаторів	15
1.4. Промислове обладнання для культивування мікроорганізмів	20
2. Об'єкт і методика досліджень	28
2.1 Характеристика вихідної сировини та готової продукції	28
2.2 Обчислювальний експеримент процесу надходження повітря у ферментатор	37
3. Результати моделювання	44
4. Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування	55
4.1 Будова ферментатора	57
4.2 Спеціальні механізми	61
5. Вибір конструкційних матеріалів	65
5.1 Основні вимоги до матеріалу	65
5.2 Основні характеристики	66
6. Розрахункова частина	67
7. Технологія машинобудування	75
7.1 Розроблення схеми та технологічного маршруту складання виробу	75
7.2 Сертифікація елементів обладнання	77

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бовкуш А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Зміст</b>	<b>2004.98.МР.06.00.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/2

8. Вимоги до монтажу, експлуатації та ремонту_____	78
8.1 Монтаж та ремонт колонних апаратів з мішалками_____	78
8.2 Монтаж ферментаторів_____	85
8.3 Випробування ферментаторів_____	86
9. Опис системи управління_____	87
10. Охорона праці_____	90
10.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації ферментера_____	90
10.2 Вимоги безпеки до ферментаторів_____	93
Висновки_____	94
Список використаної літератури_____	95
Додатки_____	97

## ВСТУП

Розвиток мікробіологічної промисловості та інших схожих галузей, де використовуються мікробіологічні процеси, тісно залежить від удосконаленням обладнання для ферментації. По процесам, які відбуваються в ферментаторі, можна сказати що він належить до біологічних систем. За своєю конструкцією апарат для культивування виглядає як хімічний реактор, розроблений для інших процесів. Невідповідність між процесом і конструкцією являється одним із недоліків, який призводить до низької енергетичної ефективності ферментера, невеликого використання кисню з повітря, нестійкості процесу і сприяє до пошук більш удосконалених конструкцій. Ці вдосконалення пояснюється тим, що спочатку вся апаратура, в якій здійснювались процеси мікробіологічного синтезу за участі живих організмів, була розроблена для неживої матерії. В той же час розробляються абсолютно нові ферментери, такі як мембранні біореактори, які є більш кращими для біосинтезу вторинних продуктів метаболізму клітин. Однак це все лише на стадії лабораторних установок.

Історія винайдення обладнання для ферментації із 40-х років ХХ ст. складалася так, що для різних типів продукції розроблялися різні конструкції, за рахунок пристосування біореакторів до певних процесів. Це призвело до стрімкого розвитку різноманіття конструкцій апаратів в усіх галузях промисловості, які відрізняються, в першу чергу перемішуванням, та системою аерації, та визначають масообмін і гідродинаміку в культуральних рідинах.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Бовкуш А.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>	<b>2004.98.МР.06.00.ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>	

Частина проблем ферментаційної апаратури має суб'єктивний характер. Вимоги біотехнологів зводяться до підвищення якості виготовлення апаратів, керування процесами ферментації та питань контролю, а також вирішення питань стерильності проведення процесу культивування. Але суттєво збільшити ефективність процесу біосинтезу може лише підвищення якості виготовлення і експлуатації.

Конструювання кращих промислових ферментерів є обов'язковою умовою прогресу в біотехнології, що обумовлено забезпеченням біологічних агентів (БА) кращими умовами навколишнього середовища. Підтвердженням цієї концепції є те, що найпопулярнішими є прилади для стадій культивування БА – ферментерів.

## РОЗДІЛ 1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

### 1.1. Роль мікроорганізмів у харчовій промисловості

Виробництво харчових продуктів і напоїв засновано на переробці сировини, в основному сільським господарством. Всі органічні речовини, які використовують у харчовій промисловості, можуть бути спожитими мікроорганізмами. Це свідчить про роль мікробіології у виробництві харчових продуктів: в цих середовищах мікроорганізми відіграють як позитивну, так і негативну роль. Остання більше виражена: запобіжні заходи проти негативної діяльності мікробів займають важливе місце у виробництві їжі та її споживанні. Розмноження мікробів часто супроводжується небажаними зміни якості харчової продукції або зміну їх зовнішнього виду. Під час таких процесів утворюються речовини, що мають токсичну дію. Економічні втрати які спричиняють ці організми є досить небажані, однак найнебезпечнішим є розмноження мікробів у харчових продуктах які утворюють токсини. Мікроорганізми здатні утворювати токсини, які можуть призвести до серйозних захворювань або навіть смерті.

Під час виробництві продуктів харчування потрібний великий вихід продукту та проста технологія. В біотехнології харчової промисловості є методи великомасштабного виробництва продуктів. Вибір продуктів харчування, що одержані за допомогою мікроорганізмів, дуже значний: від продуктів які виробляються із давніх часів за рахунок бродіння хліба, вина й пива, сиру, йогурту до новітнього асортименту харчової продукції – грибного білка мікопротеїна.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепелюк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Бабкуш А.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Порівняльний аналіз технічних рішень</b>	<b>2004.98.MP.06.01.P3</b>			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/18</b>

Мікроорганізми при цьому відіграють важливу роль: використовуються продуковані ними ферменти або інші метаболіти, за рахунок них зброджується харчова сировина, а деякі з видів вирощуються для безпосереднього споживання. У харчовій промисловості використовуються чисті культури мікроорганізмів, та дикі форми, які знаходяться в значній кількості в сировині та розмножуються в сприятливих умовах. Останній спосіб характерний для традиційних бродильних виробництв, які започатковувались в часи, коли про мікроби ще нічого не знали. У промисловому виробництві ці процеси частіше проводяться під набагато більш суворим контролем. Найжорсткіші вимоги ставляться до вибору штаму й чистоти культур використовуваних мікроорганізмів. Для культивування мікроорганізмів в основному використовують ферментатори.

### **Виробництво хлібопродуктів**

Основою для виробництва хліба є дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*. Найчастіше їх вирощування відбувається у ферментерах періодичної дії. Самим простим є виготовлення тіста, поєднуючи при кімнатній температурі борошно, воду, дріжджі й сіль. В ході замішування шари тіста переміщуються, утворюються умови для формування пухирців газу й підйому тіста. Тісту, яке замішується, дають можливість «підійти», далі нарізають на шматки необхідної ваги, формують і тримають у вологій атмосфері. Під час витримування газові пухирці, які утворилися, наповнюються вуглекислим газом. Газ виділяється під час анаеробного зброджування глюкози й мальтози борошна. Окрім вуглекислого газу при анаеробному бродінні формуються інші різні органічні кислоти, спирти й ефіри. Вони мають вплив на формування смаку хліба. Тісто, яке «підійшло», випікають. Під час даного термічного процесу крохмаль желатинізується, дріжджі гинуть і тісто частково зневоднюється. Випікаючи певні сортів хліба із пшеничного борошна до тіста додають попередньо зброжену суміш житнього борошна й води, заквашену змішаною культурою лактобактерій.

Кислота, яка є в цій заквасці, надає хлібу своєрідний смак.

### **Бродильні виробництва**

Найдавніше бродильне виробництво – отримання напоїв шляхом спиртового бродіння. Першими напоями були вино й пиво. Алкогольні напої отримують шляхом зброджування цукровмісної сировини, в результаті чого виробляється спирт і вуглекислий газ. Зброджування відбувається дріжджами роду *Saccharomyces*. В одних випадках застосовується природний цукор (наприклад той, який міститься у винограді, з нього роблять вино), а також інші цукри, які отримують із крохмалю (наприклад, при переробці зернових культур у пивоварінні). Присутність вільних цукрів необхідна для спиртового бродіння при участі *Saccharomyces*, їз-за того, що ці види дріжджів не мають можливості гідролізувати полісахариди.

#### **1.2. Процеси, які відбуваються при культивуванні мікроорганізмів**

Ферментаційне середовище являється багатофазною системою, до якої надходять бульбашки повітря, культуральна рідина (субстракт та розчини солей), тверда фаза – біомаса, а іноді й емульсія (піногасники, пар, краплі парафіну, та ін.). Всі ці характеристики змінюють фізико-хімічне середовище і сильно впливають на перенесення кисню до клітин, які представляють собою як окремих особин, так і у вигляді агломератів, вони схожі на кулькоподібні або подібні на пластівці колонії радіусом приблизно 10 – 300 мкм [1] .

Ферментатор має відповідати всім основним вимогам процесу культивування мікроорганізмів, та забезпечувати:

- подачу до клітин всіх необхідних поживних речовин;
- відведення від клітин продуктів їх метаболізму;
- термостатування мікробної суспензії по всій площі;
- підтримання оптимальних робочих параметрів в апараті;
- потрібний рівень перемішування та аерування в апараті;

Високий рівень автоматизації процесу культивування, техніки безпеки і умов праці робітників.

Для забезпечення кожної з цих вимог ферментатор має такі системи: подавання рідких (або сипких) продуктів у апарат; введення і виведення газових потоків; аерування ферментаційного середовища; піногасіння ферментаційного середовища; перемішування ферментаційного середовища; стерилізації ферментера і ферментаційного середовища; термостатування ферментаційного об'єму; виведення рідких (або сипких) потоків із апарата; контролю і регулювання заданих параметрів процесу.

### ***Аерування ферментаційного середовища***

Для вирощування аеробних мікроорганізмів в біореакторі їх насамперед потрібно забезпечити інтенсивною масопередачею кисня із газового середовища до клітин, що можна досягти лише за рахунок активного перемішування та аерування продукту. Дуже важливо не допустити інгібуючого та обмежуючого впливу кисню на біосинтез.

У ферментаційному середовищі концентрація кисню при невеликому надлишковому тиску коливається від 7 – 8 г/м<sup>3</sup>, швидкість споживання кисню аеробами коливається від 0,7 – 2,0 кг O<sup>2</sup>/(м<sup>3</sup>·год).

### ***Перемішування ферментаційного середовища***

Перемішування у ферментерах є основним способом прискорення масоперенесення кисню із газової фази в рідку, так як перемішування забезпечує додаткове диспергування газу на невеликі бульбашки, збільшує поверхню контакту фаз; підвищує час перебування газу в рідкій фазі, тим самим забезпечує час контакту фаз і підвищення вмісту газу; зменшує розмір групи клітин і знижує ефективну вязкість середовища; а також підвищує коефіцієнт масопередачі за рахунок зменшення товщини стаціонарної плівки рідини.

Процеси, які прискорюються за рахунок перемішування можна поділити на три групи:

1. Перенесення розчинених речовин, клітин, краплин, та інших завислих часточок, тепла та бульбашок газу на відстань, прямопропорційні розмірам апарата. Результат перенесення характеризується ступенем однорідності концентрації рідини і її температур або часом за який досягається однорідності і повністю визначається макромасштабними характеристиками потоку рідини в апараті.

2. Подрібнення крапель і бульбашок. Їх розміри дуже малі у порівнянні з розмірами апарату, тому остаточний результат перемішування – діаметр краплин і бульбашок, що в результаті утворюються, або їх поверхня – визначається а першу чергу інтенсивністю мікромасштабної турбулентності, вплив якої спостерігається на відстанях дії сил міжмолекулярної взаємодії. Швидкість перенесення елементів таких малих розмірів (мікрозмішування) визначається зазвичай фізико-хімічними властивостями середовища і речовини, а також структурою потоку.

3. Явища тепло- і масообміну на границях поділу фаз рідина – газ, рідина – клітина, і рідина – тверда поверхня. Найбільший вплив на швидкість перенесення речовини та теплоти чинять характеристики пограничного шару, які на пряму залежать від умов течії рідини в безпосередній близькості до міжфазної поверхні.

### 1.3. Класифікація ферментаторів

Серед конструкцій ферментаторів найбільш поширені апарати з підведенням енергії компримованим газом, механічним перемішувальним пристроєм або струменем рідини [2].

Самим простим і найбільш розповсюдженим є подача повітря в рідину через барботери або інші аеруючі пристрої (дифузори, форсунки та ін). Група ферментерів в якій енергія вводиться аеруючим газом (рис.1.1) [5], є найбільш поширеною і відомою. Апарати цієї групи здавна використовуються для отримання мікробної маси в асептичних та умовно асептичних типах біосинтезу. Технологічні переваги цих апаратів базуються на простоті конструкції, відсутності рухомих елементів і простоті керування, що обумовлює високу експлуатаційну надійність ферментерів цієї групи. Конструктивні особливості барботажних ферментерів визначаються типом аератора і об'ємом апарата.



Рис.1.1. Схема класифікації ферментерів з пневматичним перемішуванням

*Ферментери з контактними пристроями.* Суттєвим недоліком барботажних ферментерів є невисокий рівень швидкості розчинення кисню.

Основною причиною цього є низький рівень макро- і мікротурбулентності, недостатня циркуляція середовища.

Для ліквідації цього недоліку розроблені барботажні ферментери з нерухомими контактними елементами, які забезпечують утворення та формування поверхні контакту фаз. До апаратів цієї групи відносяться барботажні колоні, газліфтні колоні, тарілчасті колоні.

Збільшення поверхні фазового контакту забезпечується додатковою диспергація газової фази в рідині та розділенням рідкої фази на шари.

Ферментери *барботажно-ерліфтного* типу (рис.1.2) застосовують для отримання мікробного білка. Апарат являє собою вертикальну циліндричну місткість. Характерною конструктивною особливістю є те, що всередині апарата знаходиться один або декілька дифузorzів або перегородок для примусового розділення потоків циркулюючої культуральної рідини. Одночасно вони виконують роль теплообмінників.

*Ферментери системи Лефрансуа–Марійє.* Для виробництва мікробного білка використовують апарати місткістю 250, 320, 600 та 1300 м<sup>3</sup>.

Апарат являє собою циліндричну місткість, всередині якої концентрично розташований дифузorz-теплообмінник. Ферментер не має системи піногасіння. Піна руйнується під вагою стовпа рідини при її циркуляції. Повітря в ферментер поступає через повітропровід, розташований по центру апарата. В нижній частині апарата повітропровід спирається на конічну основу, яка утворює з дном кільцевий зазор для виходу повітря.

Утворена газорідинна дисперсія піднімається по дифузorzу майже до верху апарата. Діаметр дифузorzа повинен відповідати потоку диспергованої культуральної рідини. Частина повітря відділяється від потоку диспергованої рідини і через відкритий люк виходить із апарата, частина повітря з дисперговою рідиною по кільцевому зазору між стінкою апарата і дифузorzом сходять вниз.

Піна зріджується і рідина повертається в кювету, рідина знову диспергується і піднімається по дифузору.

Промислові апарати мають висоту 12-15 м, піна в них піднімається на 10 -12 м. Монолітний стовп рідини має 3,5-4,5 м.

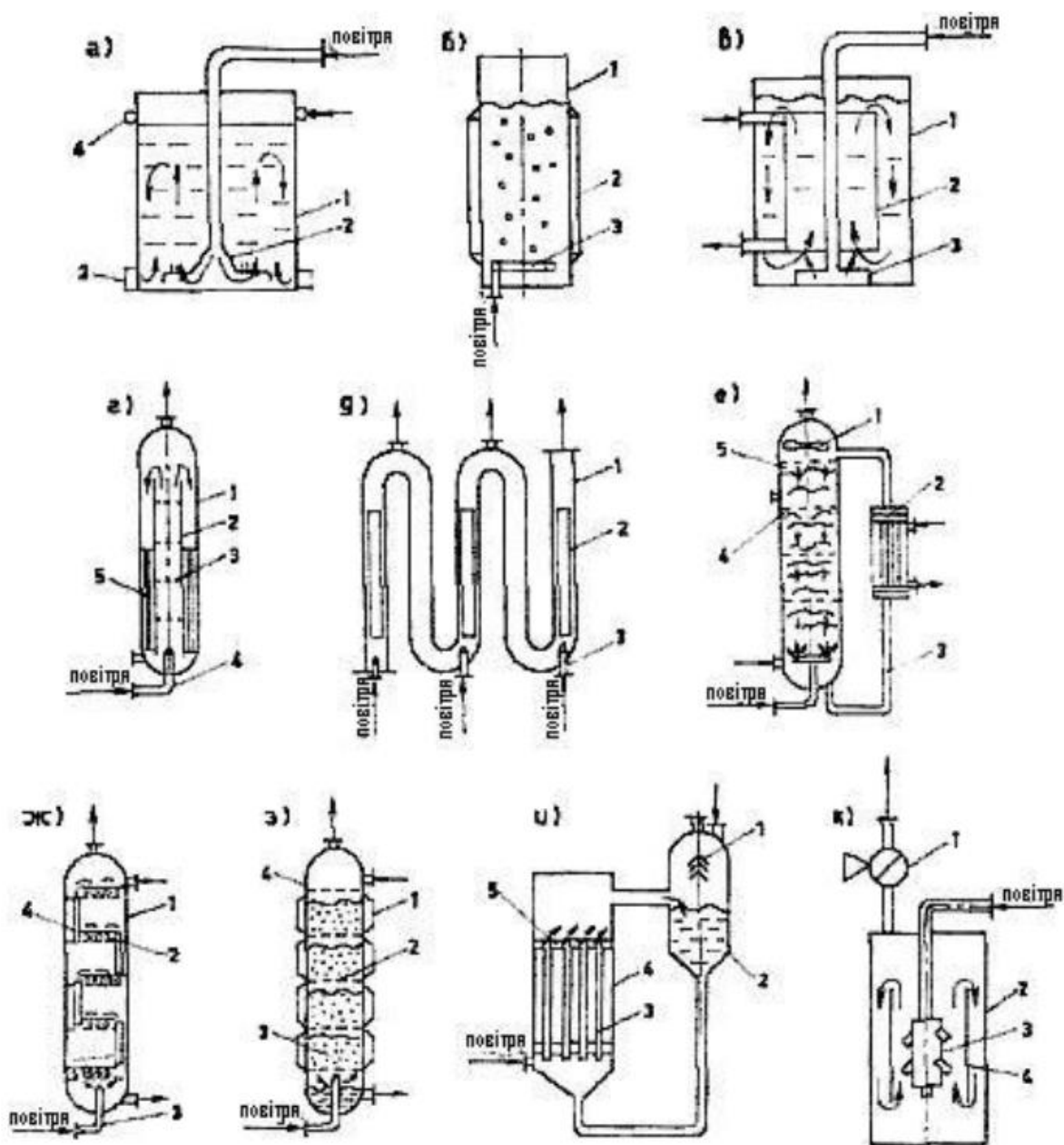


Рис.1.2. Схеми ферментерів з підводом енергії газовою фазою:

**а** – ферментер барботажний: 1 – корпус, 2 – розподільувач повітря, 3 – карман, 4 – колектор;

**б** – ферментер барботажний колонний: 1 – корпус, 2 – сорочка, 3 – повітрярозподільувач;

**в** – Ферментер барботаажний ерліфтний: 1 – корпус, 2 – дифузор-теплообмінник, 3 – повітрярозподільувач;

**г** – ферментер газліфтний колонний: 1 – корпус, 2 – дифузор, 3 – диспергатор, 4 – повітрярозподільувач, 5 – теплообмінник;

**д** – ферментер газліфтний петльовий колонний: 1 – корпус, 2 – дифузор, 3 – повітряпровідний патрубков;

**е** – ферментер газліфтний рециркуляційний колонний: 1 – піногасник, 2 – теплообмінник, 3 – циркуляційна труба, 4 – диспергатор, 5 – корпус;

**ж** – ферментер тарілчастий колонний: 1 – корпус, 2 – тарілка, 3 – повітряпровідна труба, 4 – переливна труба;

**з** – ферментер з плаваючою насадкою колонний: 1 – рубашка, 2 – тарілка, 3 – насадка, 4 – корпус;

**и** – ферментер трубчастий: 1 – піногасник, 2 – ємність, 3 – труби, 4 – корпус, 5 – розподільна перетинка;

**к** – Ферментер газліфтний пульсаційний: 1 – клапан, 2 – корпус, 3 – аератор, 4 – дифузор-теплообмінник.

*Ерліфтний багатозонний ферментер.* Апарати цієї серії, як і попередня конструкція, являють собою модифікований ферментер Лефрансуа. В апараті змонтовані три дифузора-теплообмінника. Повітря поступає через центральні труби, які спираються на кювети і утворюють з ними кільцеві зазори для виходу повітря в зони, які охоплюють дифузори. На повітряних трубах і в верхній частині над дифузорами встановлені зонти для повернення піни в потік.

*Ферментери з циркуляційними трубами. Ферментер системи Шоллер-Зайделя.* Аерація рідини забезпечується в 12 циркуляційних трубах діаметром 0,35 м, які змонтовані навколо корпусу ферментера. Повітря подається в циркуляційну трубу через керамічну свічку. Апарат має виносний механічний піногасник. Для охолодження використовують повітря або зовнішнє зрошення.

Ферментери з підведенням енергії рідкою фазою можливо умовно розділити на групи залежно від типу генератора енергії, що передає енергію рідкій фазі — культуральній рідині у спеціалізованому пристрої — ежекторі, циркуляційному насосі або у мішалці (рис.1.3).



Рис.1.3. Класифікація ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою

#### 1.4. Промислове обладнання для культивування мікроорганізмів

В країнах СНГ промислової ферментаційної апаратури з механічними перемішувальними пристроями ємнісного типу в стерильному виконанні виробляла низка підприємств. Промисловість здійснювала також виробництво поверхневих культиваторів, апаратури для вирощування кормових дріжджів у нестерильному виконанні. Однак це стосується апаратури, яку випускали в другій половині двадцятого століття. Сьогодні вона не відповідає більшості вимог сучасних стандартів.

В Україні ферментери виготовляють на Сумському машинобудівному заводі (рис. 1.4) об'ємом 50 м<sup>3</sup>. Такі ферментери мають триступеневу лопатеву мішалку. Матеріал – корозійностійка сталь.

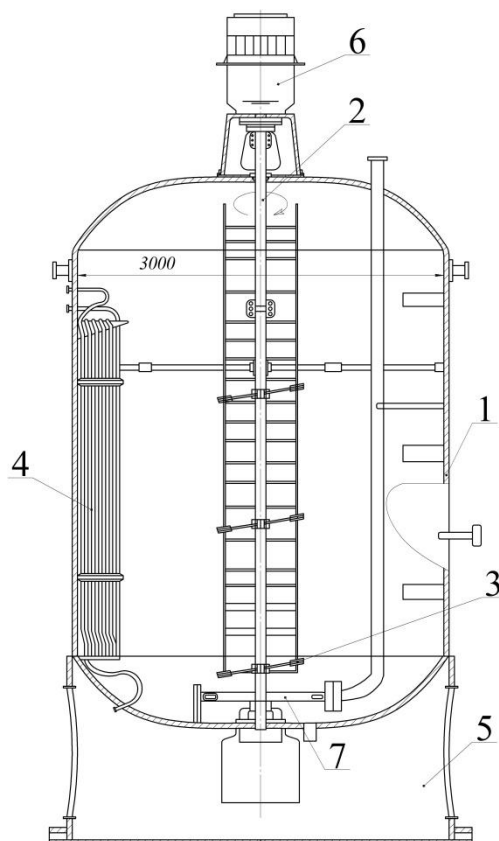


Рис. 1.4. Ферментер конструкції Сумського машинобудівного заводу:  
1 – корпус; 2 – вал мішалки; 3 – лопать мішалки; 4 – охолоджувальний змійовик; 5 – опорна царга; 6 – привод мішалки; 7 – барботер

На рис. 1.5 зображений ферментатор з променевим аератором, що обертається. Такі ферментери встановлені на Мічурінському спиртовому заводі. Випускають ферментери загальним об'ємом 16 та 32 м<sup>3</sup>.

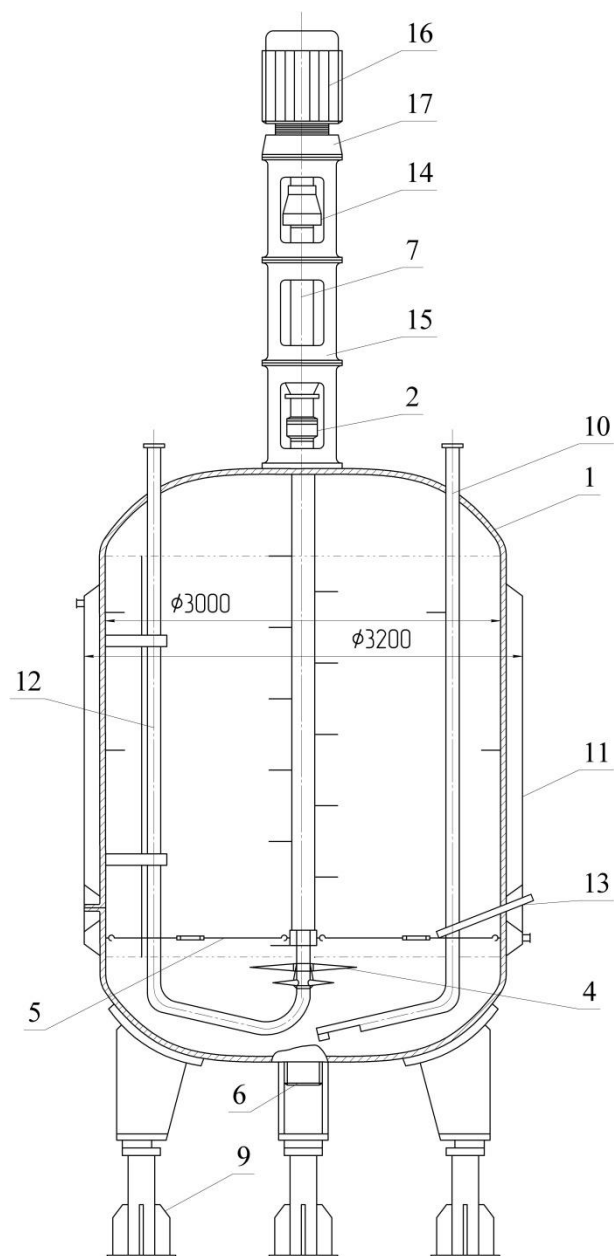


Рис. 1.5. Ферментер з променевим аератором, що обертається:

- 1 – корпус; 2 – торцеве ущільнення; 3 – вал; 4 – аератор променевий;  
 5 – тяга; 6 – патрубок; 7 – вал проміжний; 8 – підшипник; 9, 15 – стійки;  
 10 – труба для введення продукту; 11 – сорочка; 12 – труба для введення повітря; 13 – гільза для термометра; 14 – муфта; 16 – електродвигун;  
 17 – редуктор

*Ферментер Дзержинського заводу хімічного машинобудування (Росія)*

Завод випускає серійні ферментери об'ємом 5, 15, 20, 30, 50, 63 м<sup>3</sup>. Ферментер об'ємом 63 м<sup>3</sup> має три відбивні перегородки. Швидкість обертання триярусної турбінної мішалки з додатковою пропелерною – 177 об/хв. Корпус оснащений чотирисекційною оболонкою об'ємом 1,5 м<sup>3</sup>. Повітря надходить через розбірний квадратний барботер.

*Ферментер ВНДІПрБ з форсунковою аерацією середовища*

На рис. 1.6 показано ферментер конструкції ВНДІПрБ об'ємом 15 м<sup>3</sup>, в якому повітря у поживне середовище надходить крізь 2 форсунки діаметром 6 мм. Ферментер має двоярусну турбінну мішалку з торцевим ущільненням та швидкістю обертання 135 об/хв. Оболонка двосекційна, гладенька загальним об'ємом 2,5 м<sup>3</sup>.

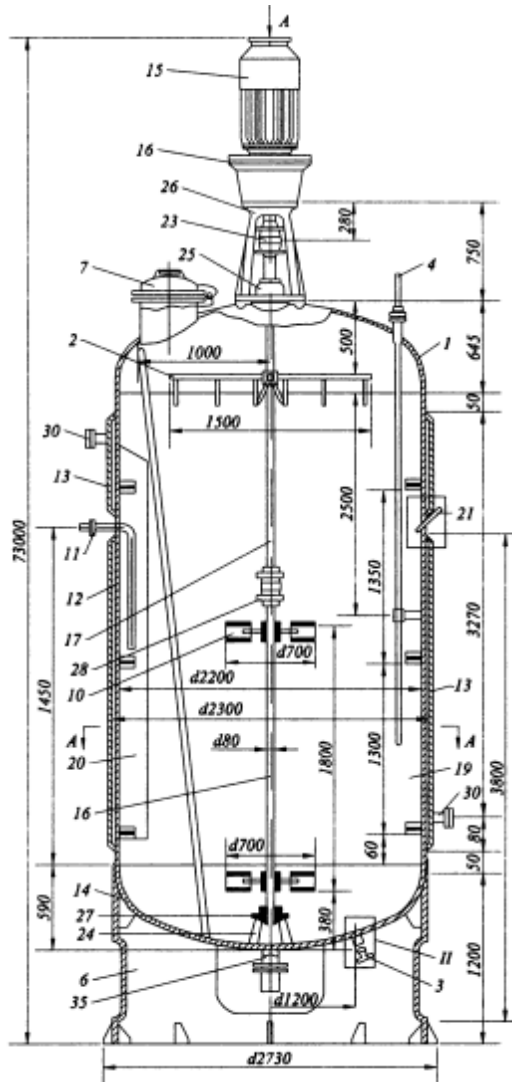


Рис. 1.6. Ферментер конструкції ВНДІПрБ з форсунковою аерацією середовища об'ємом 15 м<sup>3</sup>

На даний момент світовим лідером з виробництва ферментаторів є німецькі фірми. Причинами успіху цих фірм є те що їх ферментатори мають дуже вдалу конструкцію і випускаються під конкретний процес та під конкретного замовника.

Ферментатори за європейськими стандартами виготовляють одразу оснащеними системами автоматичного миття на місці (рис.1.7). Процес керування ферментацією здійснюється за допомогою цифрової системи керування DCU-3, яка на даний момент є своєрідним еталоном ефективності в світі.



Рис.1.7. Обв'язка ферментатора виробництва Німеччини

Австрійська приватна компанія VOGELBUSCH Biocommodities є визнаним виробником обладнання для виробництва біотехнологічної продукції.

Самовсмоктуюча аерація IP-8 (рис.1.8 а) складається зі статора, який спрямовує потік, і лопатевого ротора. Самовсмоктуюча турбіна, яка обертається, створює дрібні повітряні бульбашки однакового розміру з великою зоною зіткнення і тривалим часом перебування в системі для забезпечення високої швидкості перенесення кисню. Конструкція досить проста, при цьому її елементи значно впливають на ефективність. Система розроблена для ферментації оцту, вона легка в експлуатації і споживає дуже мало енергії, підтримуючи оптимальні умови для росту оцтових бактерій в місткості ферментації.

Високоєфективна аерація EB-4 (рис.1.8 б) – це динамічна система, що поєднує механічне змішування і зовнішнє стиснення повітря в якості конструкційних елементів. Повітря подається до лопатей мішалки по порожньому валу і розподіляється в рідині по всій площині відкритої задньої стінки лопатей мішалки. Таку системи аерації застосовують серед інших для виробництва дріжджів.

Ерліфтна система, або система з барботажною колоною, використовує статичні системи розсікання (рис.1.8 в). Розподільні труби з просвердленими в них маленькими отворами рівномірно розподіляють повітря на дні ферментера. Крім механічних характеристик, конструкції системи повітряних труб і властивостей суслу, перенесення кисню в основному пов'язаний із кількістю повітря та висотою колони.



а



б



в

Рис.1.8. Аераційні пристрої, розроблені компанією VOGELBUSCH  
Biocommodities

Компанія BIORUS (Росія) виготовляє як окремі ферментери і біореактори, так і повністю укомплектовані лінії для біотехнологічних і фармацевтичних заводів. Все обладнання вироблено у відповідності зі стандартами GMP і FDA. Промислові ферментери серії BIORUS-SJA (рис.1.9) виконані з корозійностійкої сталі, об'ємом від 100 до 10 000 літрів.

Ферментери відрізняються великою функціональністю і підходять для різних цілей, наприклад, для періодичної ферментації, періодичної ферментації з підживленням. Всі дані вимірювань і контрольні параметри відображаються на кольоровому сенсорному екрані, що істотно полегшує роботу оператора. Ферментери в стандартній комплектації оснащені 4 перистальтичними насосами, за допомогою яких виконується подача кислоти, лугу, піногасника і поживного середовища. В процесі ферментації, управління всіма параметрами здійснюється через сенсорну панель управління. Всі дані і параметри передаються на контролер, можлива додаткова комплектація робочою станцією на базі персонального комп'ютера для розширення функціоналу. Компактна конструкція забезпечує інтеграцію всіх компонентів в одній системі. Доступні варіанти мішалок з одинарним механічним ущільненням, подвійним механічним ущільненням з мастилом, з верхнім приводом, а також мішалки з магнітним приводом. Устаткування має просту конструкцію і відрізняється стабільним функціонуванням.



Рис.1.9. Промисловий ферментатор BIORUS

Ферментер виконаний із корозійностійкої сталі – марки AISI 316L для всіх поверхонь, що контактують з продуктом, AISI 304 – для тих поверхонь, які не контактують з продуктом (оболонка місткості, зовнішня оболонка та інше). Ферментер обладнаний необхідним набором портів і роз'ємів для підключення датчиків і обв'язки біореактора.

### **Висновки і задачі досліджень**

Метою магістерської роботи є обґрунтування конструкційних змін ферментатора, які покращать процес культивування мікроорганізмів. Суть цих змін полягає в заміні існуючого перемішуючого пристрою на новий, в якому передбачено отвори, через які організовується додаткове підведення повітря. В науковій літературі відсутні дані стосовно режимів роботи пристроїв такого типу, тому було вирішено дослідити відповідні процеси з використанням імітаційного моделювання. Інший напрям – запровадження процедури безрозбірного очищення, яке відповідає встановленим гігієнічним вимогам.

Вирішення поставленої задачі потребує виконання певних завдань:

1. Визначити фактори та межі їх зміни, які впливають на процес культивування мікроорганізмів.
2. Створити 3Д геометричні моделі складових ферментатора, виконати коректну постановку задачі.
3. Промодельовати гідродинамічний процес надходження повітря у ферментатор у програмному комплексі FlowVision і проаналізувати вплив на нього запропонованих конструктивних змін.
4. Рекомендувати раціональні режими роботи обладнання на основі аналізу полів концентрації рідких і газоподібних компонентів, швидкості потоків та тиску всередині місткості.
5. Перевірити можливість очищення ферментатора з використанням системи безрозбірного миття, рекомендувати параметри, яких слід при цьому дотримуватися.

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Характеристика вихідної сировини та готової продукції

Об'єктом дослідження виступає процес культивування цвілевих грибів.

Цвілеві гриби – це різноманітні гриби, що формують розгалужені міцелії без великих плодових тіл. Цвіль належить до мікроміцетів. Це гриби і грибоподібні, які є мікроскопічного розміру. Ці гриби широко поширені в природі, вони живуть практично всюди. Найбільші колонії ростуть на поживних середовищах при комфортних температурах і підвищеній вологості, при цьому зростання цвілі безмежне за умови достатньої кількості поживного середовища.

У природі можна зустріти майже безліч видів цвілі, як приклад, *Penicillium spp*, *Mycorales*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Dematiaceae*, *Saccharomycetaceae*, тощо. Для людини найбільше значення мають гриби роду пеніциллум. Пеніцилл – це цвіль зеленого кольору, що розвивається на рослинних субстратах, в тому числі харчових продуктах. Із пеніцилу виготовляють антибіотик пеніцилін – перший в світі антибактеріальний препарат. Одним з найважливіших є використання людиною в господарстві дріжджів, вони відносяться до грибів-цукроміцетів. Дріжджі – це одноклітинні мікроорганізми, які втратили міцеліальну будову, тому що вони перебувають у середовищах рідкої або напіврідкої консистенції, в якій знаходиться велика кількість органічних речовин. До виду дріжджових грибів входять 1500 видів, які відносяться до класів базидіоміцетів і аскоміцетів.

З давніх часів дріжджі повсякчас використовуються людиною, так як приймають участь у процесі бродіння.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепелик О.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Бовкуш А.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Об'єкт і методика досліджень</b>	<b>2004.98.МР.06.02.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/16</b>

Ця властивість дріжджів застосовується у виробництві спирту і алкогольних напоїв, виноробстві, хлібопеченні, кондитерській справі, а також виробництві кормового білка для харчування худоби.

Розміри дріжджових клітин незначні, в середньому від 3 до 7 мкм в діаметрі, але зустрічаються і винятки, клітини розмір яких може досягати 40 мкм. Дріжджові клітини нерухомі і за формою схожі на овал. Хоча міцеліїв дріжджі не утворюють, в них є всі ознаки і властивості грибів. Дріжджові гриби представляють собою органотрофні еукаріоти з абсорбційним видом харчування. Вони споживають органічні речовини для отримання вуглецю і необхідної для їх життєдіяльності енергії. Дріжджі використовують кисень для дихання, але при відсутності його доступу більшість видів грибів отримують енергію в результаті бродіння з утворенням спиртів. Бродіння дріжджів зупиняється якщо повітря починає надходити до субстрату, який зброджується, так як дихання - більш ефективний процес для отримання енергії. У винятку якщо в поживному середовищі висока концентрація цукрів, то навіть при подачі кисню процеси дихання і бродіння здійснюються одночасно. До умов живлення дріжджові гриби дуже вимогливі. У анаеробному середовищі дріжджі споживають тільки глюкозу, при цьому в аеробному вони можуть використовувати вуглеводи, органічні кислоти, жири, ароматичні сполуки, спирти.

Зростання і розмноження дріжджів відбувається дуже швидко, це призводить до змін у навколишньому середовищі. Так дріжджі вважають одними найдавніших рослин, що культивуються людиною. Дріжджі розмножуються брунькуванням (поділом), але також можливий і статевий шлях розмноження. Зигота, яка утворилася при цьому, трансформується в «сумку», в якій знаходиться 4-8 спор. У одноклітинному стані дріжджі можуть здійснювати вегетативне розмноження. Так відбруньковуються спори або зиготи. Дріжджів поділяють на групи (класи Ascomycetes або Basidiomycetes) які обумовлені способами їх статевого розмноження.

Як виняток є дріжджі які не можуть розмножуватись статево. Такі дріжджі вчені добавили до класу недосконалих грибів (*Fungi Imperfecti*, або *Deuteromycetes*).

Деякі види дріжджів вже давно використовуються людиною при виготовленні вина, хліба, квасу, та пива, під час виробництва спирту, та ін. Інші же види дріжджів застосовують у біотехнології, через їх важливі фізіологічні властивості. У сучасному виробництві, з допомогою дріжджів, отримують харчові добавки, ксиліт, ферменти, очищують воду від забруднень. Але вони мають і негативні властивості, виняткові з них здатні викликати захворювання, так як вони є факультативними, або умовно патогенними мікроорганізмами.

#### *Виробництво хлібопекарських дріжджів*

Хлібопекарські дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae*), які використовують у виробництві хлібобулочних виробів, споживають вуглеводи тіста до утворення спирту і двоокису вуглецю, який ретельно фіксують в об'ємі виробу [2]. Крім того, дріжджі модифікують глютен – який є протеїном пшениці. Серед груп вітамінів виділяються В та D2, для їх виробництва використовують дріжджі. А також вони використовуються для виготовлення квасу.

#### *Властивості хлібопекарських дріжджів*

Під час основних стадії вирощування дріжджів поживне середовище завжди аерується. Після чого вони потрапляють у мікроаерофільні умови для бродіння в тісті. Така зміна умов для життєдіяльності насамперед залежить від різноманітних властивостей, які притаманні хлібопекарським дріжджам.

В першу чергу вони повинні володіти високою потенційною активністю гліколітичних ферментів. Це називають зимазна і мальтазна активність, яка залежить від часу, що необхідний для виділення 10 мл CO<sub>2</sub> під час зброджуванні 20 мл 5% розчину цукру дріжджами, які подаються в кількості 2,5 об. % від об'єму вього середовища мікрогазометра Єлецького.

Дріжджі повинні мати також високу активність інвертази та інших гідролітичних ферментів, мати змогу синтезувати ферменти і коферменти в певних анаеробних середовищах, швидко пристосовуватись до непостійних субстратів. Крім того, дріжджі мають проявляти осмотичну стабільність до жирів та високої концентрації цукрів під час стадії початку бродіння тіста, бути солестійкими і стійкими до змін тиску, а також містити невелику кількість глутатіону. В останню чергу дріжджі повинні бути стійкими до домішок, які містять меляса, мати добру генеративну активність, та добре зберігатися.

Для розпушення тіста використовують різні раси *S. cerevisiae*. У хлібопеченні застосовують пресовані дріжджі, сушені та рідкі дріжджі, дріжджове молоко, а також різноманітні закваски.

У якості продукту для виробництва дріжджів часто застосовують мелясу, а також бражку на її основі. Найкращими джерелами азоту для дріжджів мінеральні солі амонію і сечовина, вони краще в'яго засвоюються. Крім цього, дріжджі споживають вільні амінокислоти поживного субстрату.

Основними стадіями виробництва дріжджів для випікання є: підготовка поживного середовища; багатоступінчате вирощування посівної культури; вирощування товарних дріжджів; видалення з вологого середовища, пресування, упаковка та охолодження або висушування пресованих дріжджів.

Для приготування поживного середовища мелясу очищують від небажаних домішок (освітленням) та добавляють необхідні для життєдіяльності мікроорганізмів речовини. Освітлення меляси буває двох видів: холодне і гаряче.

Під час холодного режиму освітлення мелясу розчиняють у співвідношенні від 1: 1 до 1: 3 до води. Також додають хлорне вапно, для придушення мікрофлори , після чого перемішують і витримують пів години, до готового розчину додають сірчану кислоту до рН = 4,4 ÷ 5,0, після чого розчин сепарується.

У разі сильного інфікування меляси та під час підготовки сусла стадій розмноження дріжджів, проводять гаряче освітлення, так як ці процеси вимагають підвищеної стерильності. Під час них мелясу розчиняють в гарячій воді (1: 1), після чого розчин починають нагрівати до 105-108°C, витримують так 15-60 с, та охолоджують до 80-85 °С і сепарують. За умов очищення розчину центрифугуванням з нього видаляють речовини, це призводить до погіршення кольору і якості дріжджів.

Фосфор в якому містяться азот та солі, потрібно додавати до поживного середовища під час вирощуванні дріжджів, це відбувається окремо від мелясного сусла. Розчини солей (10-12%) підготовлюють в окремих збірниках.

Кукурудзяний екстракт (6 мас.% від маси меляси) додають до поживного середовища щоб стимулювати його ріст, він попередньо стерилізується нагріванням до температури кипіння. Після того рідину охолоджують, та додають до неї 5-10 мас.% від маси екстракту біоміцину.

Вирощування посівних культур. Культури виробляють багатоступінчасто, через великий обсяг виробництва. Перші стадії взрощування дріжджів відбувається у лабораторії, потім три стадії розмноження відбувається у цеху чистої культури. Під час вирощування посівної культури зберігається висока стерильність.

Таблиця 2.1.

## Показники якості дріжджів і дріжджового молока

Показник	Дріжджі пресовані	Дріжджове молоко	Дріжджі сушені	
			Вищий сорт	Перший сорт
Консистенція	Щільна, дріжджі повинні легко ламатися, не мазатися	Рідка суспензія	У вигляді вермешелі, гранул, дрібних зерен, шматочків або крупи, порошкоподібних часточок не більше 25%	
Колір	Сіруватий з жовтуватим відтінком	Сіруватий з жовтим відтінком	Світло-жовтий, або світло-коричневий	
Запах і смак	Властиві дріжджам, без запаху цвілі та інших сторонніх запахів			
Вологість %, не більше	75	75	8,0	10,0
Кислотність мг оцтової кислоти, не більше	-	-	-	-
В день виробітки	120	120	-	-
На 12 добу	300	360	-	-
Підйом тіста до 70мм, хв. не більше	70	75	70	90
Стійкість для дріжджів заводів, год. не менше	-	-	-	-
Дріжджових	60	-	-	-
Спиртових	48	-	-	-
Збереженість із дня виробітки, міс., не менше	-	-	12	5
Концентрація дріжджів у 1л в перерахунку на дріжджі з вологістю 75%, г, не менше	-	450	-	-
Мальтазна активність, хв	-	-	-	-
Хороша	<90	<90	-	-
Задовільна	90-100	90-100	-	-
Незадовільна	>100	>100	-	-

\* дріжджів, виділених із дріжджового молока

Висівання відбувається у пробірках, що містять 100 мл субстрату (сусло солодове з 12-14% СР, вітамінізоване соком), і розмноження відбувається на протязі 18-34 год (26-30 °С). Другу стадію проводять в тих самих умовах але в колбі, яка містить 700 мл такого ж субстрату. Третю стадію проводять в бутлі, в таких самих умовах, він містить 6 л субстрату, та отримує 300 г дріжджів.

На стадії ЧК-1 розмноження проводять у цеху чистої культури, при рН = 4,5 на протязі 15-17 год (33 °С) в апарат для вирощування дріжджів місткістю 3,5 м<sup>3</sup>, з додаванням мелясного сусла (12% СР) як поживного середовища, та додають поживні солі. Це середовище безперервно аерується. Результатом цього є 100 кг дріжджів (в розрахунок на 75% вологість). Під час стадії ЧК-2 культивування проводять в апараті об'ємом 15 м<sup>3</sup>. В нього подають 3% мелясний розчин від його загального об'єму та воду, до моменту доведення концентрації цукрів 3,0-3,5%, після чого додають 10% спожитої кількості розчинів солей розпочинають аерацію за розрахунком 30-40 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>3</sup> місткості. Після чого додають отримані на стадії ЧК-1 дріжджі. Судячи з спожитого цукру додають мелясний розчин, розчини солей, та підвищують швидкість подачі повітря.

Весь процес триває 9 год (33 °С), в наслідок чого отримується 580 кг дріжджів (вологістю – 75%). Під час стадії ЧК-3 дріжджі розмножуються в апараті місткістю 56 м<sup>3</sup> за умов як стадії ЧК-2, в наслідок цього отримуємо 4800 кг дріжджів (вологістю – 75%). Відокремлення від субстрату відбувається на сепараторах, їх промивають водою. Після чого концентрат зберігають при температурі 6 °С, а пресовану продукцію – при температурі 2 – 4 °С. Таку культуру готують один раз на 3 – 4 тижні, періодично.

*Вирощування товарних дріжджів.* Товарні дріжджі вирощують у виробничих умовах, це відбувається у дві стадії: першою вирощують засівну культуру, другою товарні дріжджі.

Засівну культуру дріжджів виготовляють у дріжджоростильних установках місткістю 44 м<sup>3</sup>. Вирощування відбувається із витрачанням 16,5% дріжджів, що були отримані на стадії ЧК-3, на розведеній мелясі (1: 17) з концентрацією СР, що приблизно є 2-2,5%, постачати розчин солей при температурі 30 °С і рН = 4,5 ÷ 5,0 протягом 11 год. Частка дріжджів на виході становить 65 мас. % від усієї маси меляси; наприкінці вирощування ми отримуємо 2500 кг дріжджів (50 кг/м<sup>3</sup>). Отримані дріжджі використовуються для засівання в обладнанні робочого об'єму 120 м<sup>3</sup>. Виготовлення дріжджів поділяють на два періоди: накопичувальний і відбірковий. Період накопичення триває приблизно 7 год, до повного заповнення робочого об'єму. Після чого розпочинається безперервний відбір деякої частини дріжджів у відбірковий апарат, в одночас в дріжджоростильний апарат заливають воду, сусло, розчини солей. Весь цикл триває приблизно 12-20 год а іноді й більше. Вирощування відбувається при температурі 30 °С, рН = 4,5 і підтримується розведеною мелясою 1: 17. В кінці процесу отримуємо 75 мас. % від об'єму меляси з вмістом цукру 46%.

Виділення дріжджів з рідкого середовища. Після всіх операцій, дріжджі потрібно як найшвидше виділити з культурального середовища, для того щоб зберегти їх ферментативну активності. Виведення дріжджів відбувається у три ступені на сепараторах.

Дріжджове молоко фільтрують барабанних вакуум-фільтрах з надлишковим тиском. Після чого отриману дріжджову масу відправляють на формують у вигляді брикетів масою 50, 100, 500 або 1000 г, запаковують у папір і одразу відправляють в холодильну камеру, де брикети зберігаються при температурі 0-4 °С і вологості середовища 62-96%. Час зберігання таких брикетів - не більше 4 днів, а час зберігання уже сушених дріжджів (вологість - 8-10%) - 5 міс.

Сушіння дріжджів. Сушені дріжджі є дуже популярними завдяки тому, що вони можуть довго зберігатися в такому стані. Для того щоб не знищити мікрофлору дріжджів під час сушіння підтримують температуру 30 °С. Дріжджі висушують у завислому стані для того щоб зберегти їх якість, при цьому температура теплоносія не має перевищувати 70° С, з зниженням вмісту вологи зменшується і температура. Сушіння триває протягом 3-4 год, вологість дріжджів при цьому становить 7-8%. Готова продукція зберігають при температурі 15 ° С.

#### *Отримання дріжджів на меласно-спиртових заводах*

Хлібопекарські дріжджі отримують в якості відходів виробництва під час сепарації зрілої спиртової бражки, в 1 м<sup>3</sup> якої знаходиться приблизно 18 – 35 кг дріжджів (в розрахунку на 75% вологість). Кількість пресованих дріжджів на виході складає 3,5 кг/1 дал спирту.

Виділення дріжджів зі спиртової бражки складається з таких стадій: відокремлення дріжджів із бражки, промивання і концентрування дріжджової суспензії, визрівання дріжджів, кінцеве промивання і концентрування, пресування, формування та упаковка дріжджів.

При двохпродуктовій схемі витрати поживних речовин збільшуються на 50% в порівнянні з однопродуктовою схемою.

Однією з головних особливостей отримання дріжджів на підприємствах полягає в тому, що бражка містить спирт, тому все що остається після сепарації першого і другого ступенів надсилають на перегонку для вилучення спирту. Промивання дріжджів відбувається в п'ять або сім ступенів. Після сепараторів четвертого ступеня дріжджі дозрівають при аерації суспензії. Холодну суспензію в якій до 450-500 г/л дріжджів, направляють на фільтр-прес. Наприкінці дріжджі пресують і фасують так само, як на спеціалізованих заводах.

## 2.2. Обчислювальний експеримент процесу надходження повітря у ферментатор

Відповідне моделювання виконано у програмному комплексі FlowVision, призначеному для автоматизації інженерних розрахунків у галузі обчислювальної гідродинаміки. Програмний комплекс (ПК) FlowVision використовується для вирішення прикладних завдань, в тому числі складних нетрадиційних, що знаходяться на стику різних дисциплін, у різних галузях промисловості. FlowVision – програмний комплекс, що має розвинений графічний інтерфейс, систему завдання розрахункового проекту та систему візуалізації течій різними методами – від побудови контурів (для скалярних змінних) та векторів (для векторних змінних) на площинах та поверхнях до об'ємної візуалізації розрахункових даних. Крім цього, ПК FlowVision надає користувачеві можливість обчислювати інтегральні характеристики на поверхнях та в обмежених об'ємах.

ПК заснований на кінцево-об'ємному підході до апроксимації основних рівнянь руху рідини [4]. У ньому реалізовані явний та неявний методи розв'язання цих рівнянь. FlowVision має автоматичний будівник неструктурованої сітки з можливістю її локальної динамічної адаптації. FlowVision має широкий спектр фізико-математичних моделей: турбулентності (URANS, LES, ILES), горіння, масопереносу з урахуванням хімічних перетворень та радіоактивного розпаду, електрогідродинаміки. FlowVision дозволяє вирішувати задачі руху рідин зі швидкостями, які відповідають режиму нескування або гіперзвуковому за рахунок використання всешвидкісного методу розщеплення за фізичними змінними для розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса.

Для моделювання процесу надходження повітря у культуральну рідину обрана модель «нестислива рідина», яка буде описувати течію в'язкої рідини і газу при малих числах Маха ( $M < 0.3$ ). Допускаються малі зміни густини, завдяки чому є можливість природним чином врахувати підйомну силу.

В модель входять рівняння Нав'є-Стокса, збереження енергії, рівняння конвективно-дифузійного перенесення концентрації суміші.

Модель течії турбулентної нестискуваної рідини базується на використанні турбулентної в'язкості  $\mu_t$ .

В моделі використовуються рівняння:

Нав'є-Стокса

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V} \otimes \mathbf{V}) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla \left( (\mu + \mu_t) (\nabla \mathbf{V} + (\nabla \mathbf{V})^T) \right) + S$$

$$\nabla \mathbf{V} = 0,$$

де  $\mathbf{V}$  – вектор відносної швидкості, м/с;  $t$  – час, с;  $P$  – відносний тиск, Па;  $\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  – динамічна в'язкість, Па·с;  $\mu_t$  – турбулентна в'язкість, Па·с;

джерело  $S$  дорівнює  $S = \left( 1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho} \right) \mathbf{g} + \mathbf{B} + \frac{\mathbf{R}}{\rho}$ . Тут  $\rho_{hyd}$  – гідростатична густина, кг/м<sup>3</sup>;  $\mathbf{g}$  – вектор сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $\mathbf{B}$  – сили, що виникають при обертанні (відцентрова сила і сила Коріоліса);  $\mathbf{R}$  – сили ізотропного і / або анізотропного фільтру опору.

Рівняння збереження енергії:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V} \cdot h) = \frac{1}{\rho} \nabla \left( \left( \frac{\lambda}{c_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + \frac{Q}{\rho},$$

де  $h$  – висота стовпа рідини, яка обчислюється від дна розрахункової області, м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К;  $c_p$  – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$Pr_t$  – турбулентне число Прандтля.

При постановці задачі у списку рівнянь, які розраховуватимуться, вибрано Концентрація, Енергія, Швидкість, Турбулентність. Це означає, що буде вирішуватися задача для турбулентної течії, в якій будуть вирішуватися рівняння Нав'є-Стокса, рівняння для турбулентних функцій перенесення і рівняння конвективно-дифузійного / чисто конвективного перенесення.

З фізичних параметрів в даній задачі необхідно задати наступні:

- Початкові значення: початкові значення турбулізації потоку (повинні відповідати величинам, які задаються на вхідних граничних умовах);
- Параметри моделі: на закладці Масоперенесення повинна бути обрана Масова концентрація.

Також доцільно задати рівень згладжування густини, бо для середовищ з великою різницею густин на межі поділу густина представляється ступінчастою функцією:

$$\rho_i^{(s)} = \frac{1}{N_i} \sum_{j \in \Omega} \rho_j^{(s-1)}, \quad s=1 \dots n,$$

де  $i$  – номер комірки,  $j$  – номер сусідньої комірки,  $N_i$  – кількість сусідніх комірок,  $s$  – рівень згладжування.

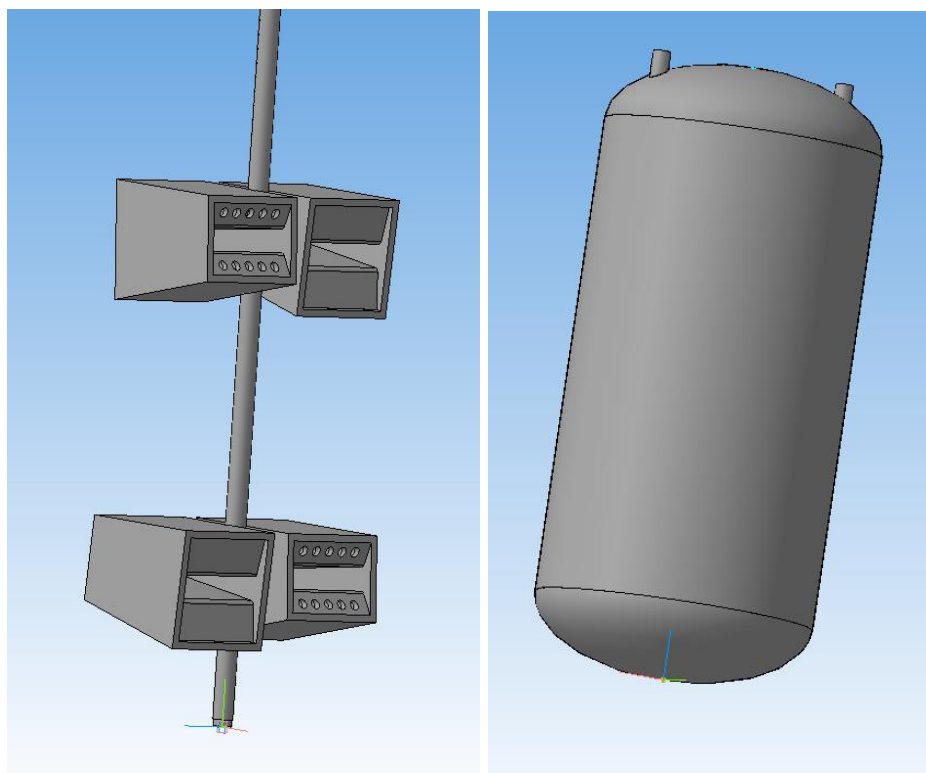
Речовина 0: густина  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup> і молекулярна (динамічна) в'язкість  $\mu=0.0011$  Па·с. Речовина 1: густина  $\rho = 1$  кг/м<sup>3</sup> і динамічна в'язкість  $\mu=1.82$  Па·с.

Інші параметри змінювати не змінювалися.

Зазначено початкове розташування рідини (речовина 0) і повітря (речовина 1).

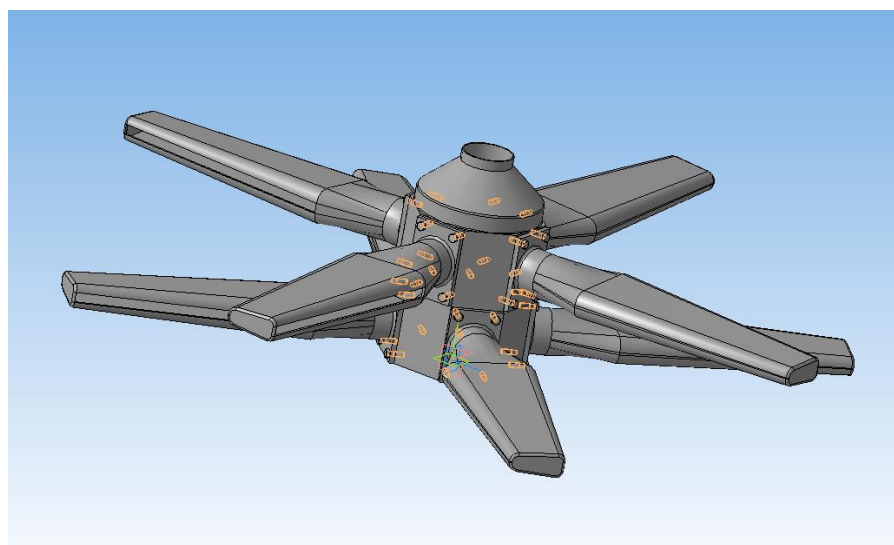
### *Завдання геометричних і граничних умов однозначності*

Робочими органами ферментатора при культивуванні пліснявих грибів є перемішувачий пристрій (рис. 2,1а), аератор (рис.2.1 б), встановлені в місткості циліндричної форми (2.1 в). Для охолодження розчину використовується парова оболонка. Геометрична модель місткості для змішування і перемішувачого органу, представлені на рис. 2.2, створені в програмі Компас 3D V16.



а

б



в

Рис.2.1. Геометричні моделі робочих органів і місткості ферментатора:  
а – перемішуючий пристрій, б – місткість, в – аератор

Лопаті мішалки мають форму пустотілого паралелепіпеда, яка звужується з протилежних сторін і приєднані до пустотілого валу. Кожна лопать має прохід для руху продукту і отвори для циркуляції повітря, вал мішалки є пустотілим. Вал об'єднаний з лопатями, що мають отвори для руху повітря, які жорстко закріплені на ньому.

Для моделювання FlowVision потрібно представити шлях, по якому проходить повітря в перемішуючому пристрої (рис.2.2).

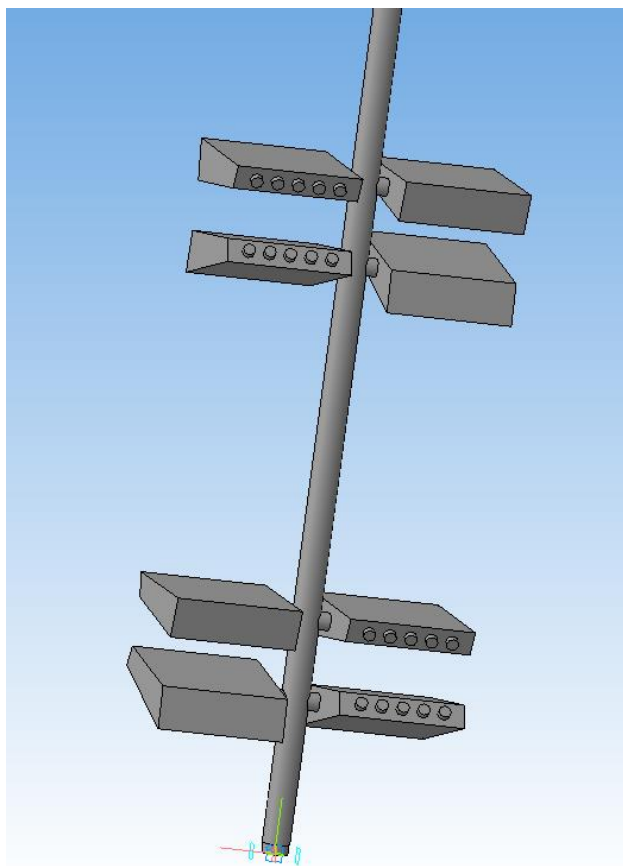


Рис. 2.2. Шлях повітря в перемішуючому пристрої

Граничні умови (рис.2.3) характеризують взаємодію рідини і газу з елементами обладнання.

При моделюванні задано частоту обертання перемішуючого пристрою 3 об/с. Також вказані об'єми, які займають початкові компоненти до початку змішування – рідина  $52 \text{ м}^3$  і повітря  $34 \text{ м}^3$ .

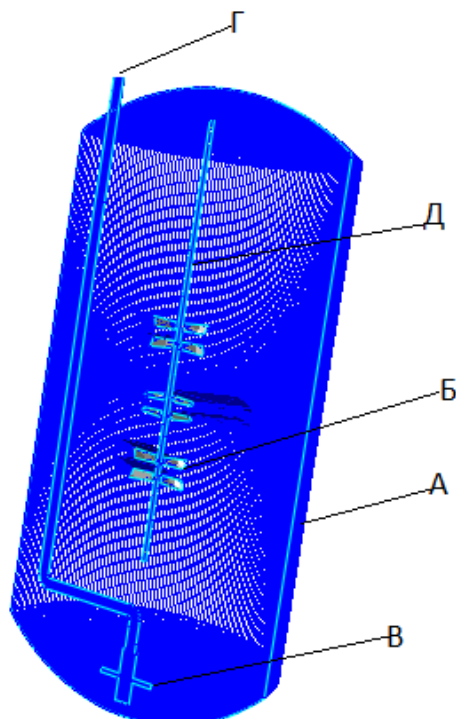


Рис.2.3. Граничні умови

А – стінка (ферментатор), Б – стінка (перемішуючий пристрій), В – стінка (аератор), Г- вхід (подача повітря в аератор), Д – вхід (додаткова подача повітря)

Розрахункова сітка складається з 26250 комірок. Здійснено розбиття розрахункової області на 25 елементів по горизонталі, 42 по вертикалі й 25 по висі z. В місцях входу і виходу повітря на перемішуючого пристрої й аераторі здійснено локальне подрібнення сітки.

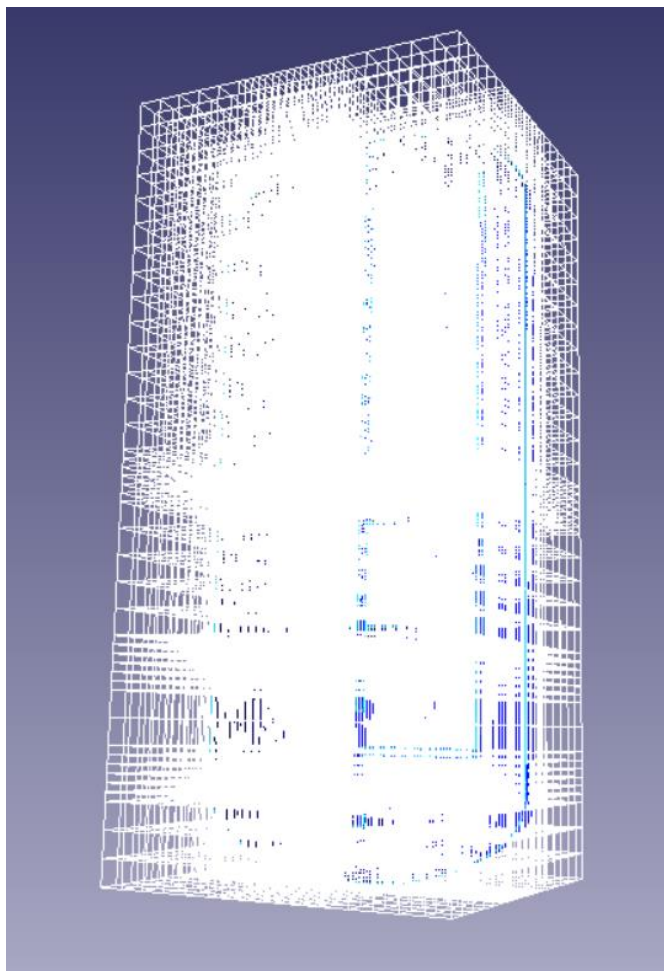


Рис. 2.4. Розрахункова сітка

### РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Швидкість росту мікроорганізмів залежить від їх штаму, температури, рН середовища, концентрації розчиненого  $O_2$ , тривалості культивування тощо. В магістерській роботі розглянуті фактори, які найбільш суттєво впливають на процес.

Для культивування аеробних мікроорганізмів потрібно забезпечити подачу кисню в достатньому об'ємі у культуральну рідину. При цьому циркуляція газової фази повинна бути такою, щоб в усіх шарах рідини забезпечити однакові умови культивування.

Найбільше на цей процес впливає тиск подачі повітря в аератор, який змінювався в межах 0,15 – 0,25 МПа (рис.3.1).

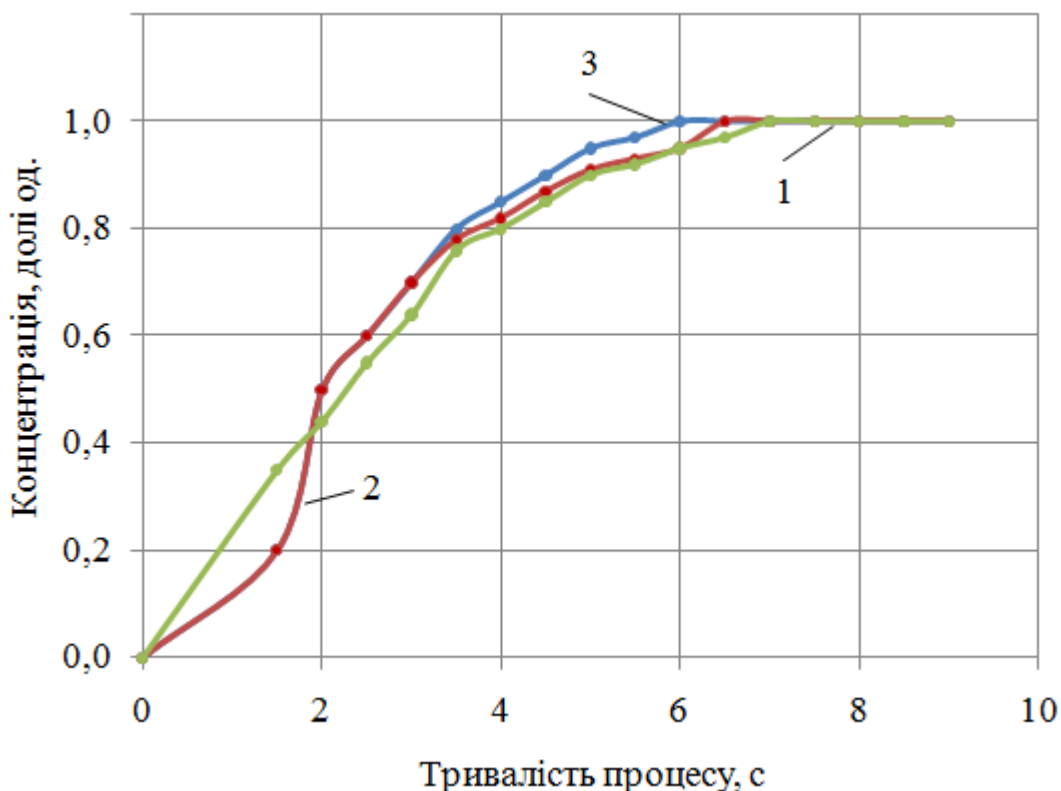
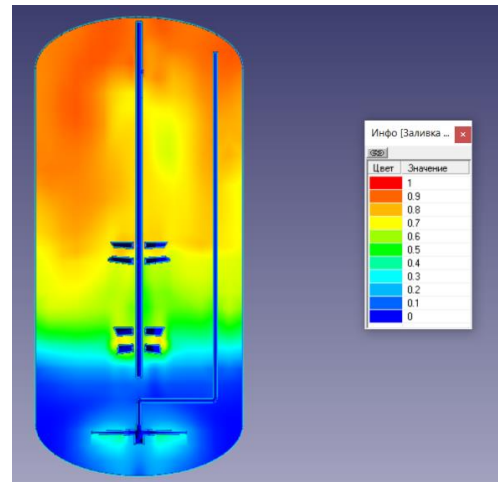
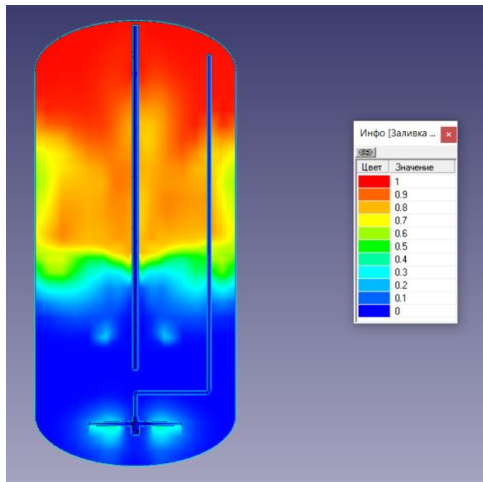
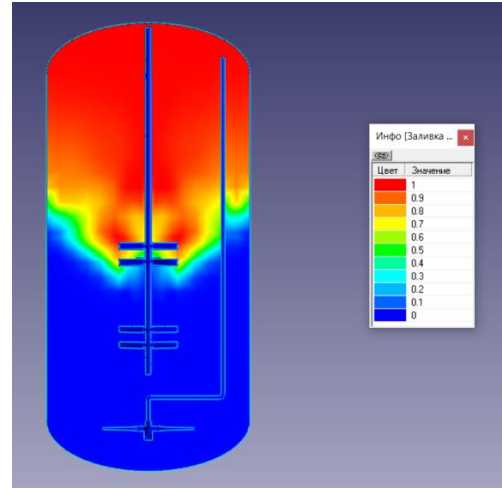
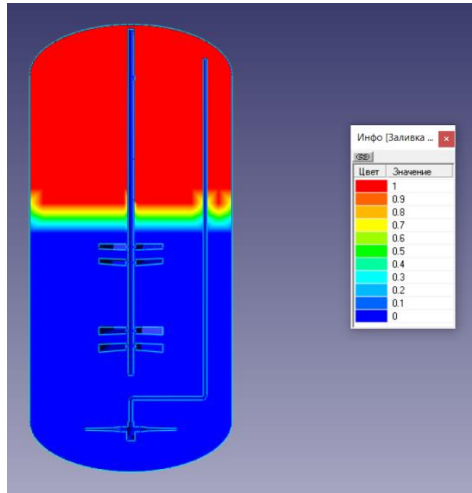


Рис.3.1. Зміна концентрації повітря в культуральній рідині в часі при тиску повітря в аераторі, МПа:  
1 – 0,15, 2 – 0,2; 3 – 0,25

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Чепеляк О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Бабкуш А.О.	Назва, додаткова назва <b>Результати моделювання</b>	2004.98.МР.06.03.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/11

Ці результати відповідають закону Генрі: при збільшенні тиску подачі повітря від 0,15 до 0,25 МПа газова фаза розчиняється більш інтенсивно і час, потрібний для вирівнювання концентрації, становить 6...7 с (див. рис.3.1). Тиск, який потрібно подолати повітрю, що виходить з отворів перемішуючого пристрою, розраховано з урахуванням гідростатичного тиску стовпа рідини. Для верхніх лопатей його значення дорівнює 42 кПа, для нижніх - 24 кПа.

Поле концентрацій у вигляді кольорової заливки (рис. 3.2) демонструє зміну цього показника в часі.



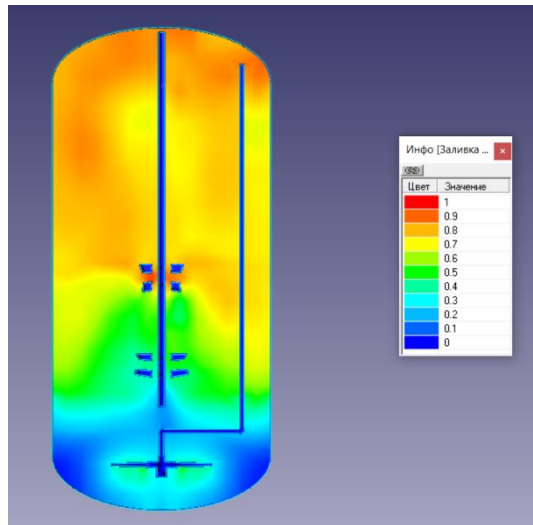


Рис. 3.2 Зміна концентрації повітря по перерізу ферментатора в часі

У ферментаторі встановлений перемішувач. Культуральна рідина завантажується в корпус апарату, перемішувач приводиться в обертальний рух, рідина за рахунок звужування нахилених пластин збільшує свою швидкість і за перфорованою пластиною утворюється вакуум, який через отвір спричиняє циркуляцію повітря з верхньої частини апарату в зону перемішування рідини [5].

Фактором, який найбільше впливає на це, є частота обертання перемішувача, яке призводить до утворення циркуляційних контурів по об'єму ферментатора (рис 3.3) та забезпечує підтримання заданої температури в його об'ємі.

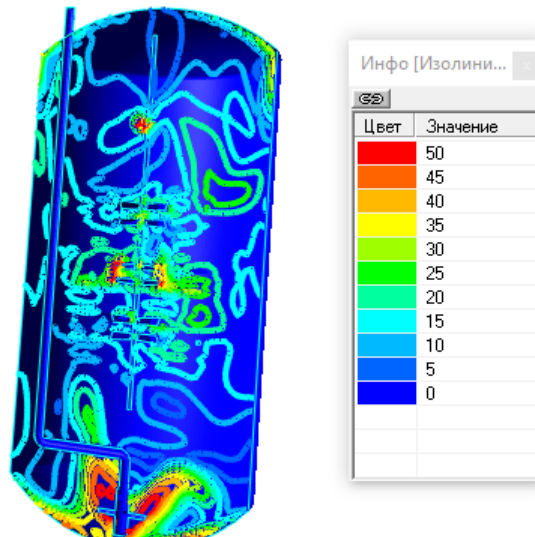
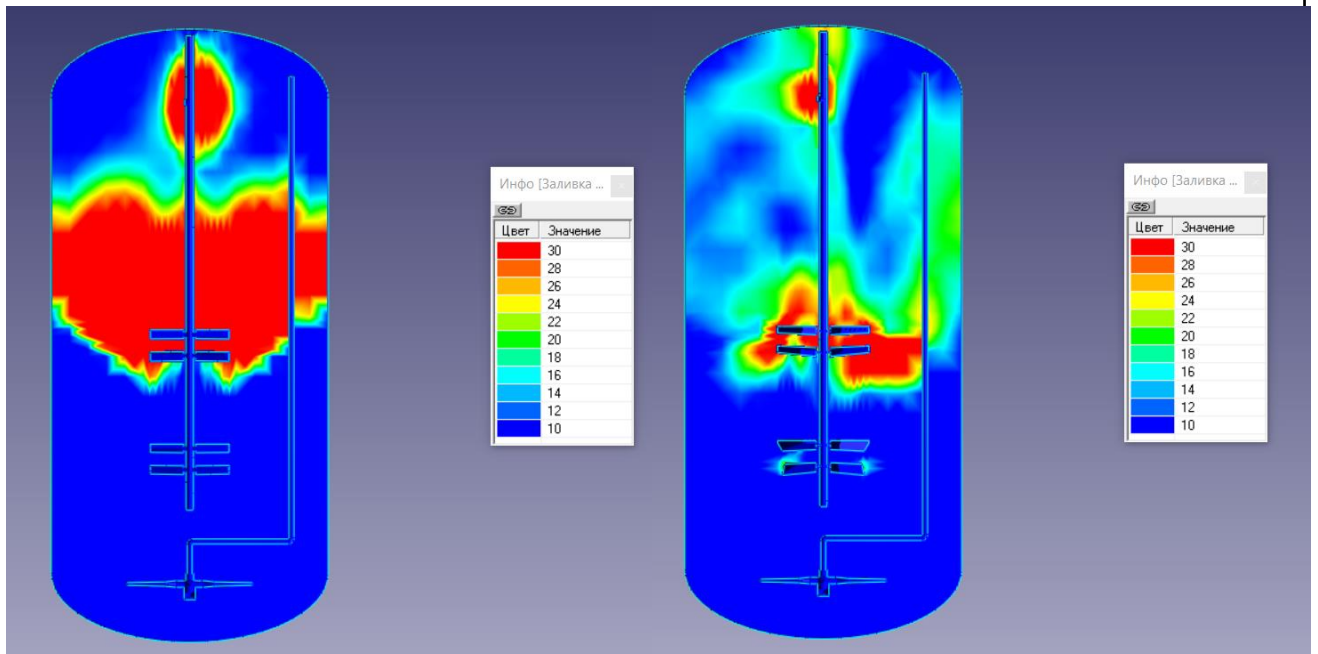


Рис 3.3. Ізолінії швидкостей в об'ємі ферментатора

Найбільші значення швидкостей  $i$ , відповідно, найбільше циркуляційних контурів виникає поблизу виходу повітря з аератора в нижній частині місткості та на виході повітря з отворів перемішуючого пристрою. Це інтенсифікує процес аерування культуральної рідини, завдяки чому вона додатково збагачується киснем, що покращує якість процесу.



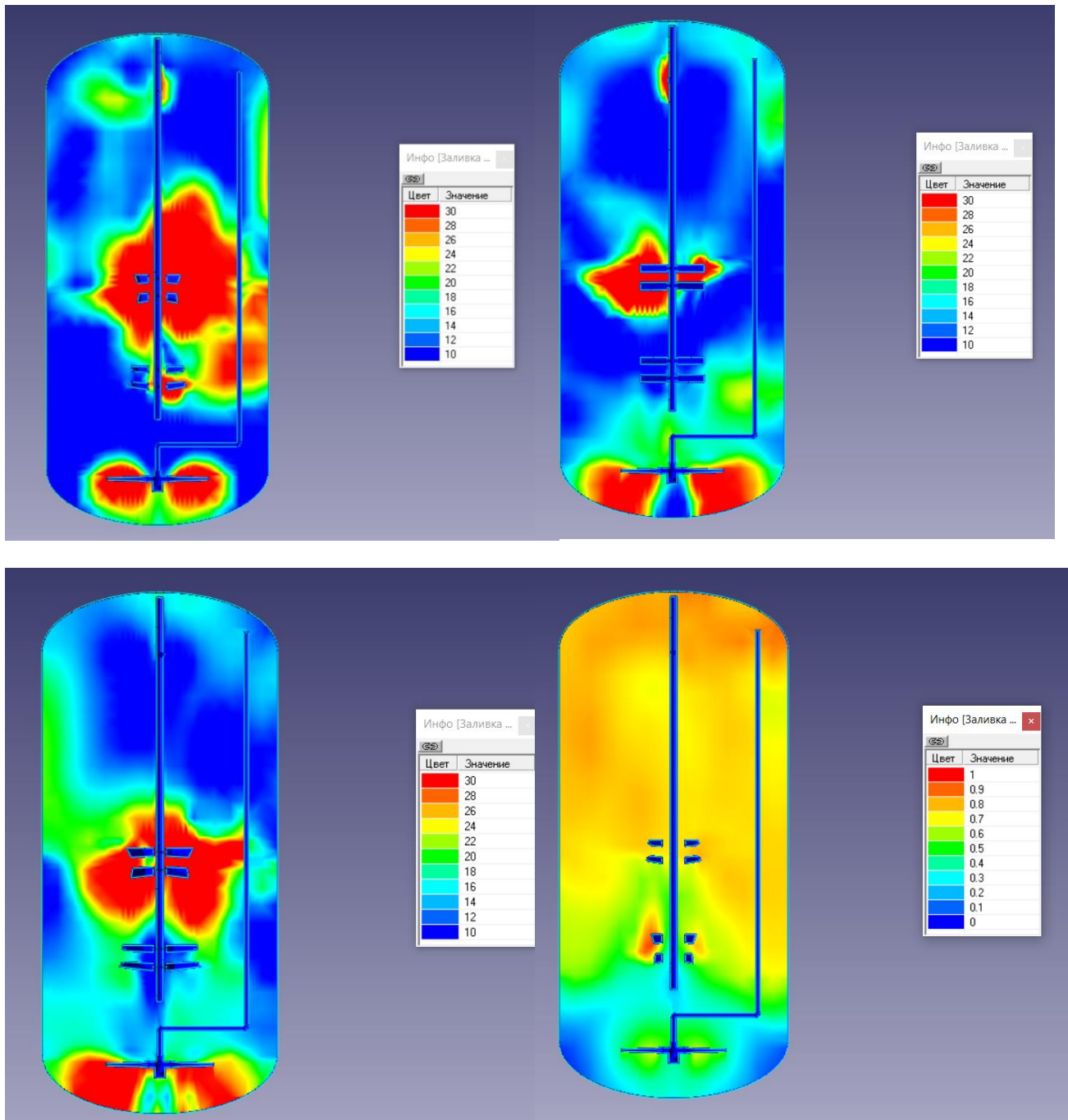


Рис. 3.4. Зміна швидкості по перерізу ферментатора в часі

В початковий момент часу найбільші значення тиску спостерігаються в нижній частині ферментатора, – діє гідростатичний тиск. Однак з початком роботи спостерігається поступове вирівнювання його значень в об'ємі ферментатора. Особливо чітко виділяються ділянки з підвищеним тиском в місцях надходження у ферментатор повітря для аерування.

Подібні закономірності спостерігаються для всіх трьох розглянутих значеннях тиску подачі повітря в аератор.

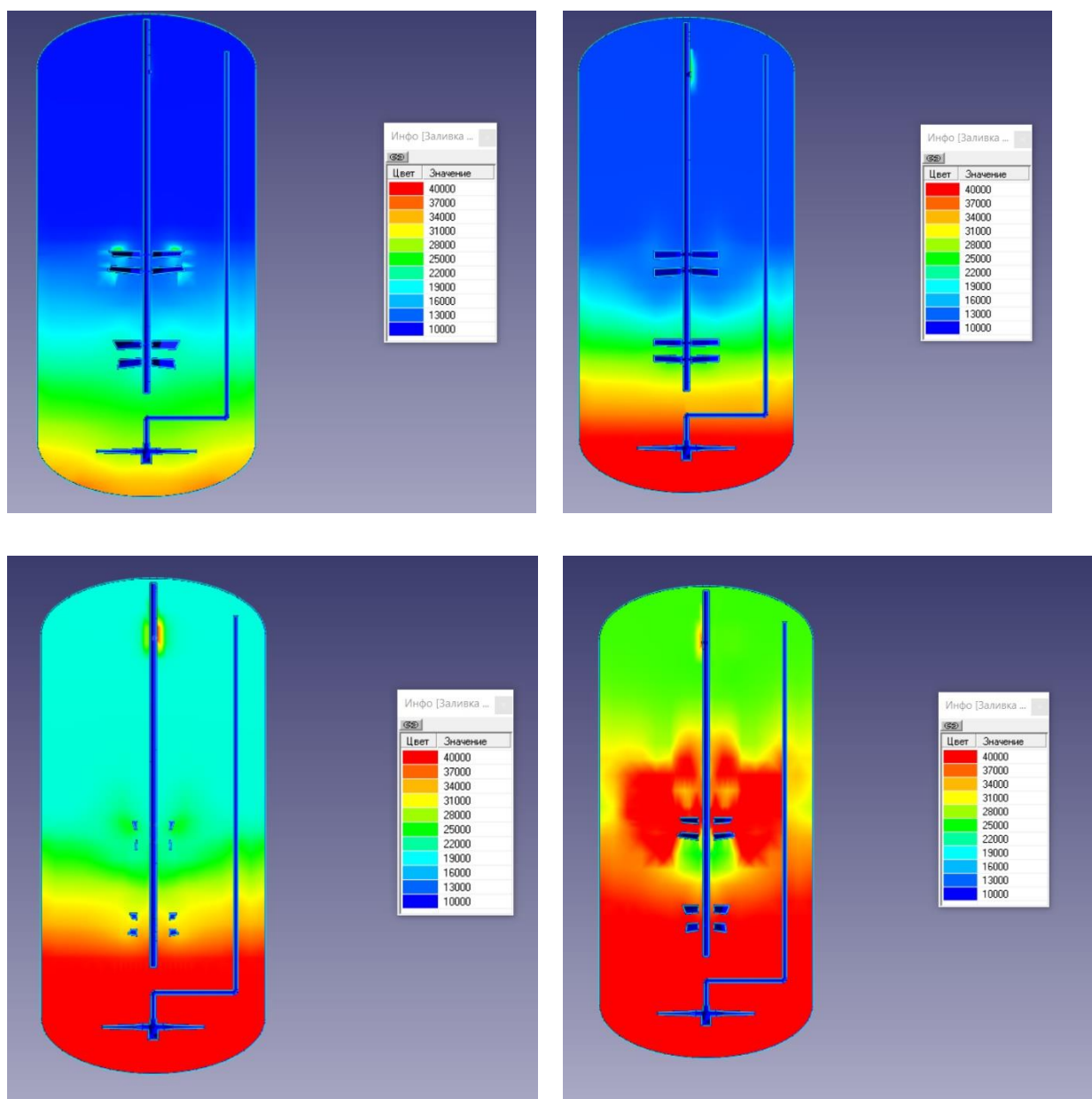


Рис. 3.6. Зміна тиску по перерізу ферментатора

При всіх розглянутих значеннях тисках подачі повітря вирівнювання тиску в місткості відбувається на 8 с.

Отримані результати свідчать, що зміни, внесені в конструкцію ферментатора, покращують умови культивування мікроорганізмів.

Окремо, в модулі Flow Simulation програми SolidWorks промодельовано процес очищення ферментера. В програмі КОМПАС-3D були зроблені геометричні моделі корпусу і окремих елементів реактора.

Для проведення імітаційного моделювання в програмний комплекс Solid Works імпортовано геометричну модель реактора із встановленими пристроями для миття внутрішньої поверхні ферментера – двома СІР-клапанами з плоскоструменевою насадкою і статичною миючою головкою (рис. 3.7).

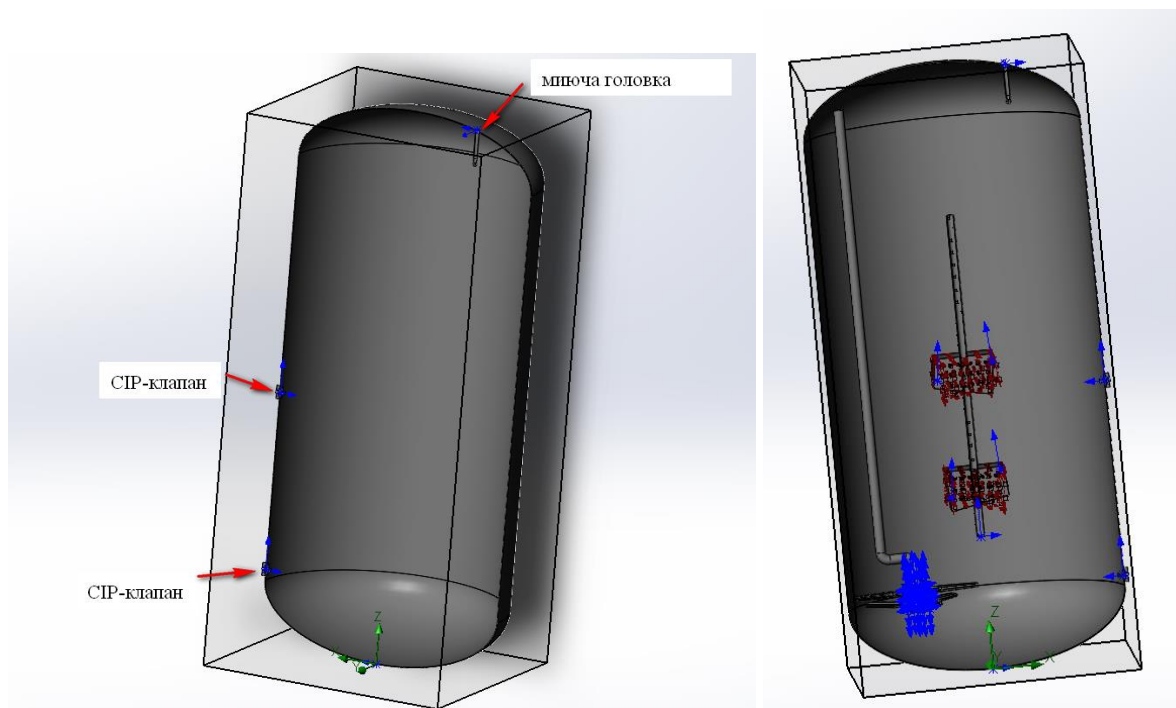


Рис. 3.7. Тривимірна модель корпусу реактора з пристроями для миття в програмі Solid Works

Імітаційне моделювання в програмі Solid Works руху потоків рідини через форсунки дозволило встановити зони резервуару, які недостатньо інтенсивно омиваються водою (рис. 3.8).

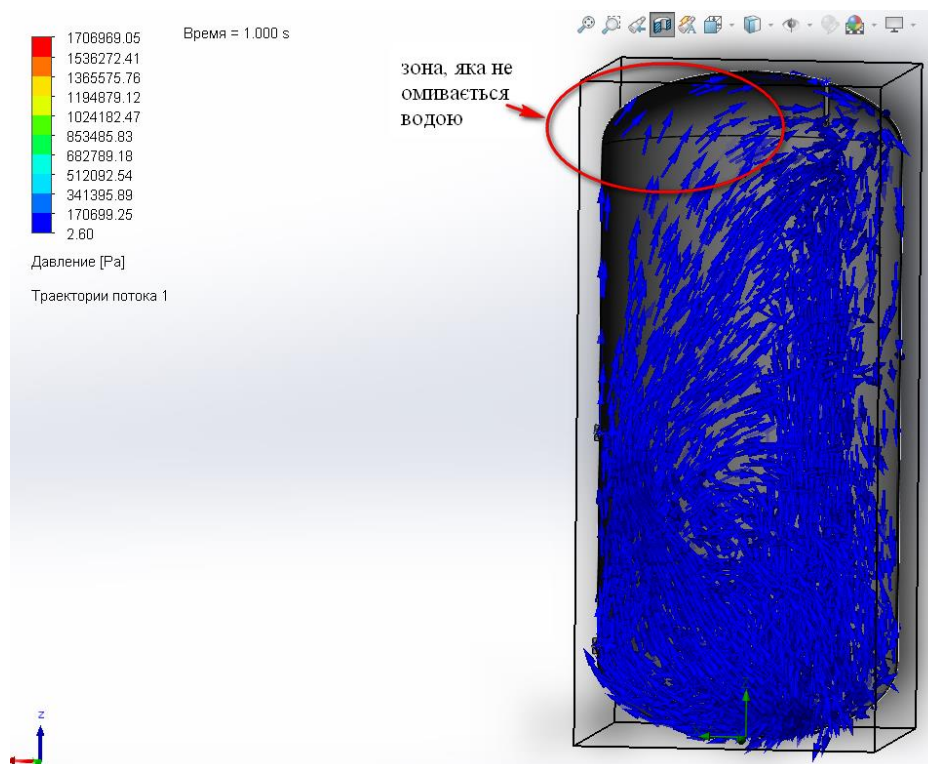


Рис. 3.8. Розподіл потоків води в реакторі

Рух рідини через СІР клапан (рис. 3.9) дає можливість спостерігати зменшення тиску рідини по мірі віддалення від щілини клапана, проте ці значення достатні для забезпечення ефективного очищення.

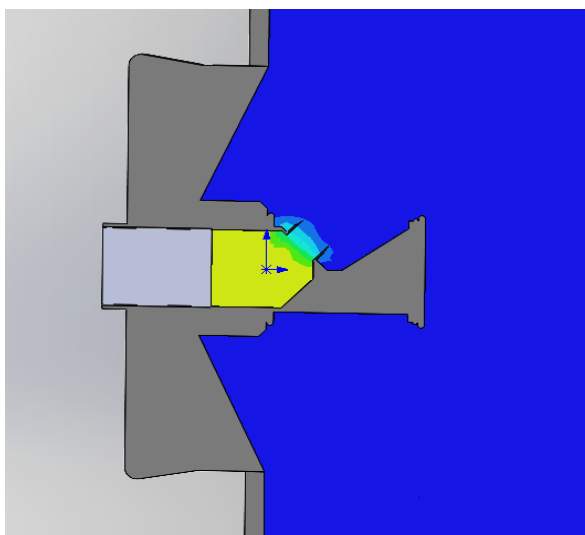


Рис. 3.9. Рух рідини через СІР клапан

Розподіл тиску по довжині каналу підведення води до верхньої миючої головки і в самій головці (рис. 3.10) показує, що найбільші значення тиску в ній спостерігаються у верхній вхідній частині каналу.

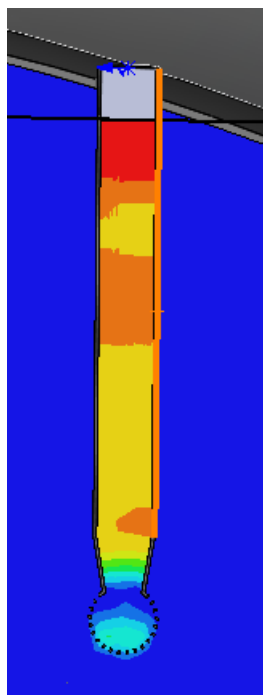


Рис. 3.10. Розподіл тиску у верхній мийчій головці

Потік води, який виходить з верхньої мийної головки (рис. 3.11), майже не зрошує бокові стінки резервуару, що говорить про низьку ефективність такої конструкції.

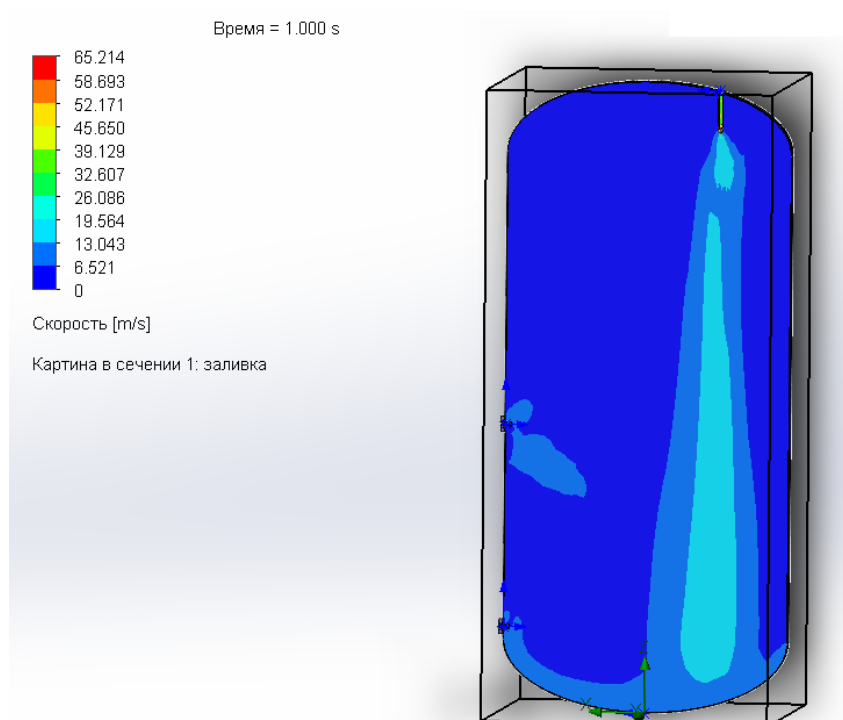


Рис. 3.11. Розподіл потоку води, який виходить з верхньої мийної  
ГОЛОВКИ

Проте комплексна робота усіх трьох форсунок (рис. 3.12) дає можливість забезпечити більш рівномірний розподіл компонентів по нижній частині апарату, проте все рівно залишаються зони недоступні до потоків у верхній циліндричній частині апарату і на внутрішній поверхні еліптичної кришки.

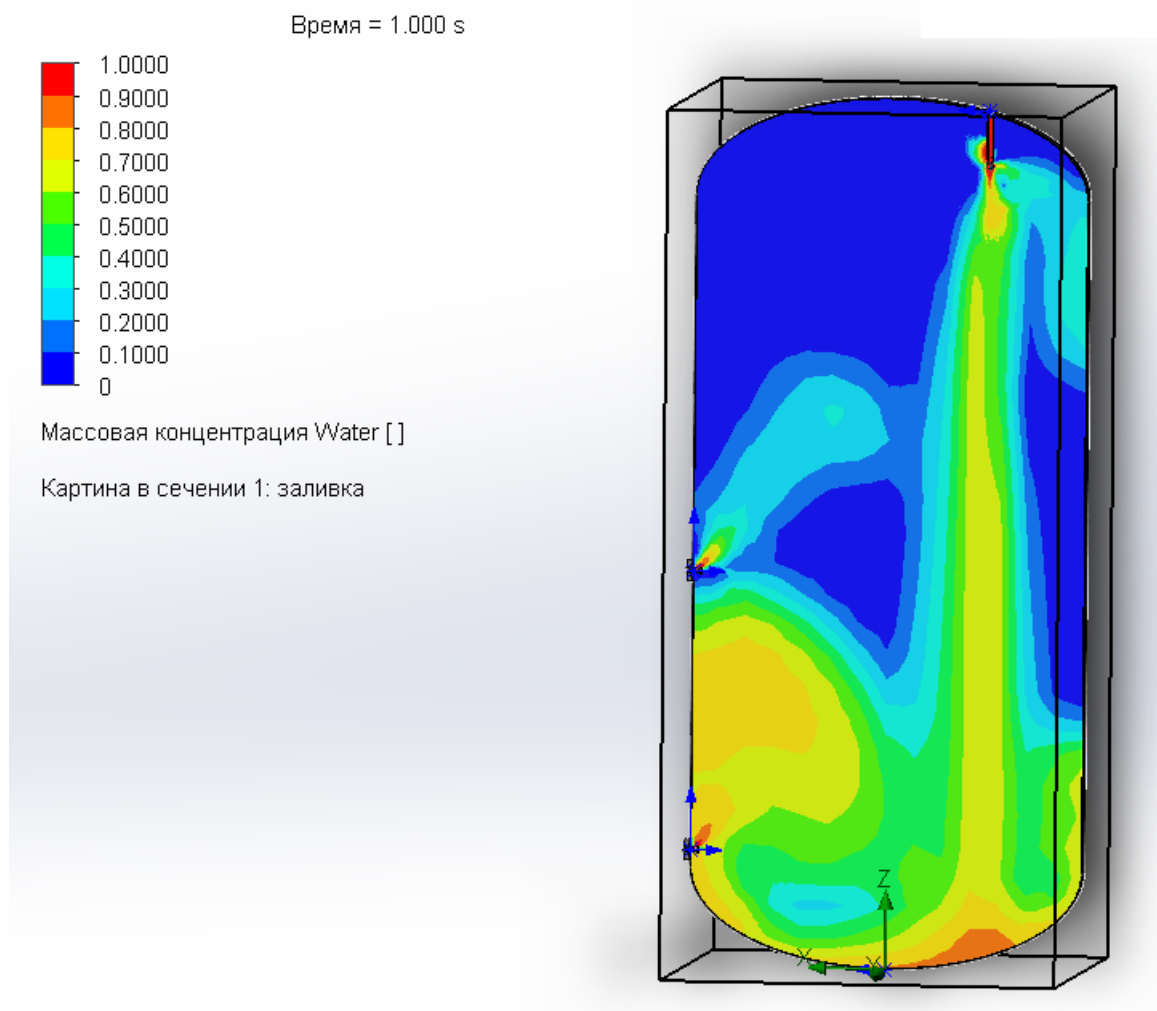


Рис. 3.12. Масова концентрація води по об'єму резервуару  
(при комплексній роботі усіх трьох форсунок)

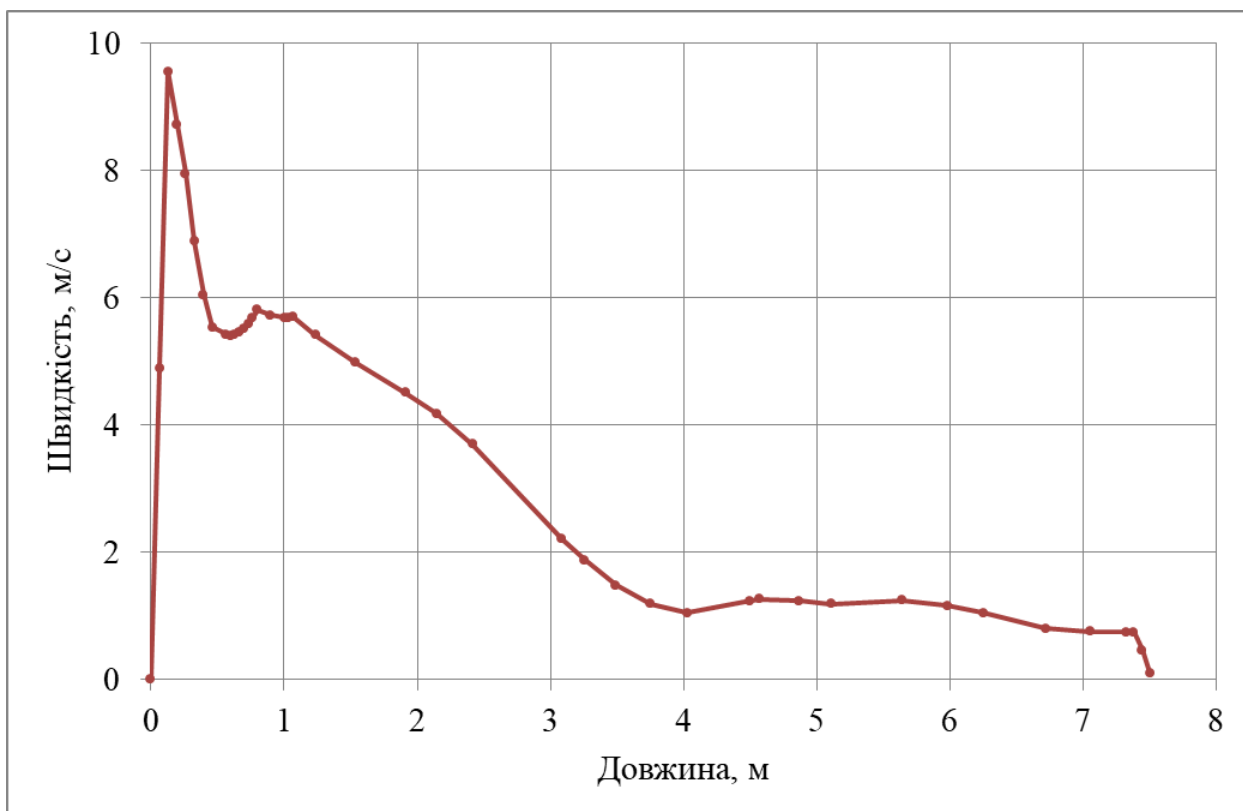


Рис. 3.13. Швидкість води по осі ферментатора

Швидкість води вздовж осі ферментатора наведена на рис.3.13, свідчить про те, що максимальні її значення спостерігають на виході з СІР-клапана. На верхній кришці ферментатора швидкість спадає до нуля.

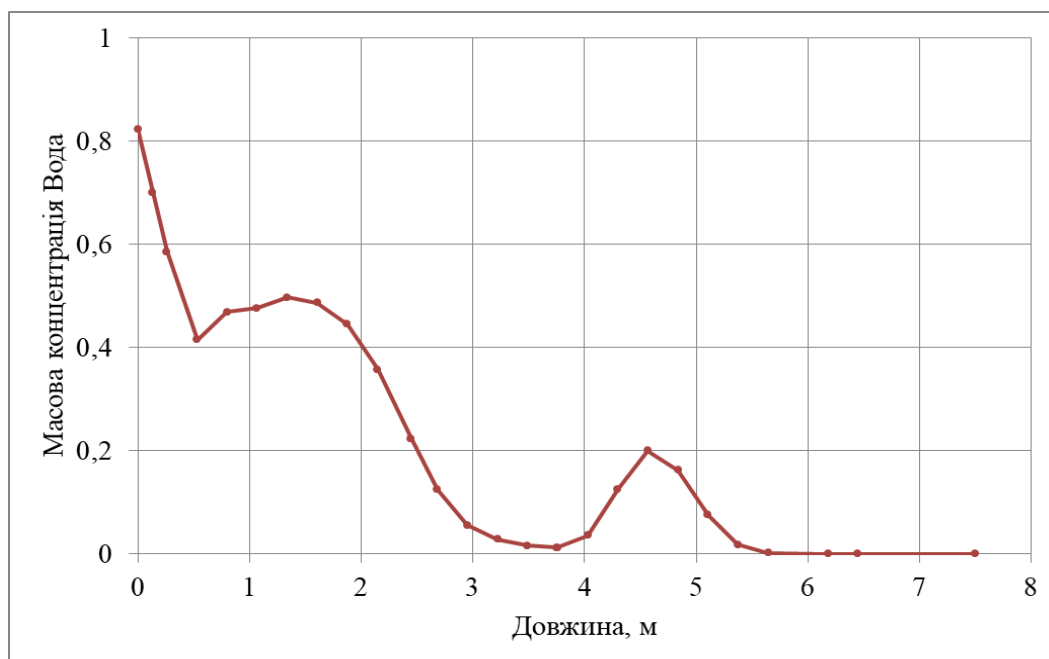


Рис. 3.14. Масова концентрація води по осі ферментатора

## РОЗДІЛ 4. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

У всіх реакторах, що використовуються сьогодні на біохімічних виробництвах, проходять певні фізичні процеси (гідродинамічні, теплові та масообміні), які сприяють утворенню оптимальних умов для здійснення біохімічного перетворення речовини (біохімічної реакції). Для втілення цих фізичних процесів ферментатори містять типові конструктивні елементи – змішувачі пристрої, контактні пристрої, теплообмінники, диспергатори тощо. Із-за цього ферментатори є комплексними апаратами, що складаються з певних конструктивних елементів, переважність яких застосовується і для проведення технологічних операцій, що супроводжуються біохімічними перетвореннями речовин, які перероблюються. Кількість цих конструктивних поєднань, а отже і типів реакторів, є достатньо великою, яке пояснюється багатоманітністю і складністю біохімічних реакцій, що в них відбуваються. Найважливішими конструктивними елементами ферментаторів є перемішувачий та керуючий пристрій.

Змішування у ферментерах необхідно для інтенсифікації масопередачі газ–рідина і рідина–клітина; інтенсифікації теплопередачі під час термостатування рідини; диспергування краплин рідини і бульбашок газу; рівняння температур в об'ємі середовища, що перемішується, рівняння концентрацій поживних речовин в об'ємі середовища.

Аерування необхідно для насичення ферментаційного середовища киснем з послідуочим підведенням розчиненого кисню до клітин мікроорганізмів, так-як в культуральній рідині беззупинно відбуваються два взаємопов'язаних процеси: абсорбція кисню рідиною із газу та використання кисню клітинами мікроорганізмів із рідини.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Бовкцш А.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> <i>Будова та принцип</i> <i>роботи модернізованого</i> <i>об'єкту проектування</i>	<b>2004.98.МР.06.04.ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/10</b>	

Посиленої турбулізації і циркуляції у ферментерах отримують трьома різними способами, які часто поєднуються в одному апараті. Пневматичне змішування стисненим газом є не досить інтенсивним процесом, всупереч того, що витрати енергії співставні, а деколи бувають більшими, за механічне перемішування. Спільне застосування механічної енергії, що передається від перемішуючого пристрою до продукту, і енергії повітря, є ефективнішим процесу культивування мікроорганізмів. Але необхідно знаходити шляхи реалізації комбінованого впливу, для зменшення витрат енергії і забезпечення оптимальних умов життєдіяльності організмів. Необхідно досягти достатньої кратності циркуляції і рівномірності насичення рідини бульбашками повітря і створення бульбашок малого розміру.

На ринку біореакторна продукція вітчизняних заводів не є конкурентноспроможною, тому із-за відсутності замовлень виробничі потужності, особливо на СумМаші, було перепрофільовано. Ферментаційне обладнання, що застосовується на українських підприємствах, іноземного виробництва. Необхідно, щоб обладнання для ферментації було відповідно до вимог GMP, ISO 9000 та іншим стандартам якості, підлягало валідації.

Рішення цих питань є актуальним завданням для біотехнологічної промисловості.

#### 4.1 Будова ферментатора

Під час вирощування культури в рідких поживних середовищах застосовують спеціальні апарати – ферментатори, що активно перемішують середовище в апараті.

Основна задача дипломного проекту удосконалення ферментатора шляхом зміни його конструкції, для забезпечення більш ефективного перемішування культури. Яке досягається заміною лопатей мішалки і розташуванням їх під певним кутом.

На рис. 4.1 відображена схема ферментатора з променевим аератором, об'ємом 63 м<sup>3</sup>. Корпус ферментатора вертикальний циліндричний з еліптичним днищем. В ньому обертається вал зі швидкістю 180 об/хв з двохступеневою турбінною мішалкою. Вал запускається електродвигуном.

З зовнішньої сторони корпус забезпечений двосекційною сорочкою, в яку поступає вода для охолодження культури, яка знаходиться в апараті.

За допомогою датчика, який встановлюють в гільзу, регулюють та контролюють температуру в апараті .

Конструкційне виготовлення валу з мішалкою представлено на рис. 4.2. Мішалка представляє собою дві лопаті, приварених до валу з нахилом для удосконалення перемішування середовища.

На окремому валу надітий корпус аератора, до якого закріплюються на болтах два ряди променів, що аерують – по 4 в ряду (рис. 4.3). Промінь являє собою порожню лопать завдовжки 600 мм. Лобова частина променя за напрямленням руху заокруглена, а протилежна їй має щілину, через яку повітря під тиском поступає в рідину, яке перемішується. Повз отвори в променях під тиском поступає повітря в рідину і відбувається змішування. Повітря до аератора надходить під тиском.

### Технічна характеристика ферментатора:

Загальний об'єм, м <sup>3</sup> .....	63
Внутрішній діаметр, мм .....	3400
Висота апарата, мм .....	7520
Висота циліндричної частини, мм .....	5700
Робочий тиск, МПа .....	0.4

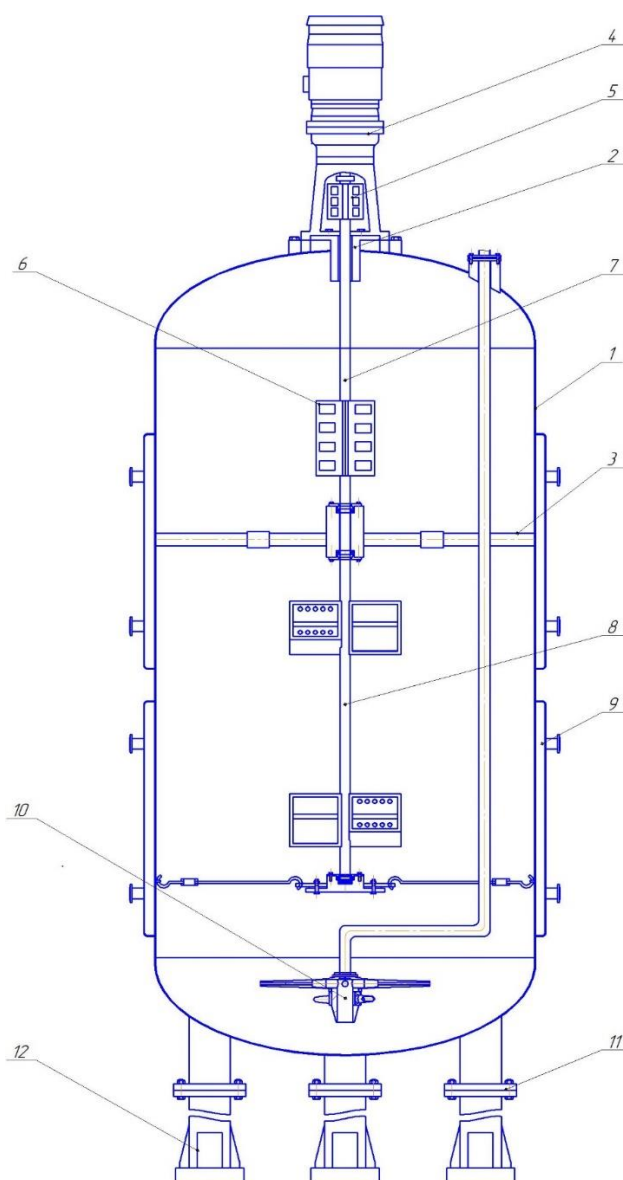


Рис. 4.1. Ферментатор з перемішувачем і барботером:

- 1 – корпус; 2 – сальник; 3 – тяги; 4 – електродвигун; 5 – муфта; 6 – муфта;  
7 – проміжний вал; 8 – вал з мішалкою; 9 – сорочка; 10 – аератор; 11 –  
підп'ятник; 12 – стійка.

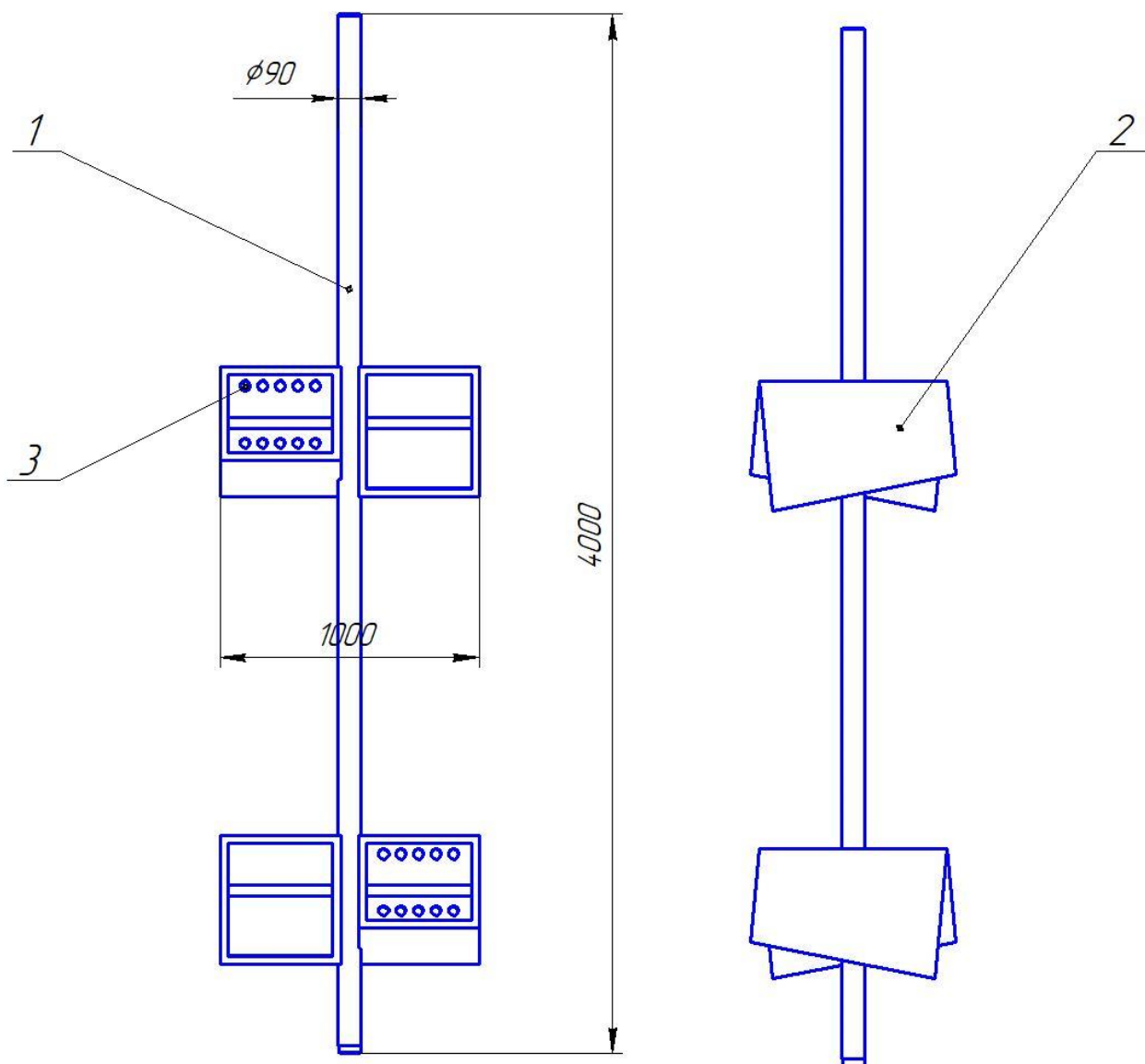


Рис. 4.2. Вал з мішалками

1 – вал; 2 – лопать; 3 – повітрепровід

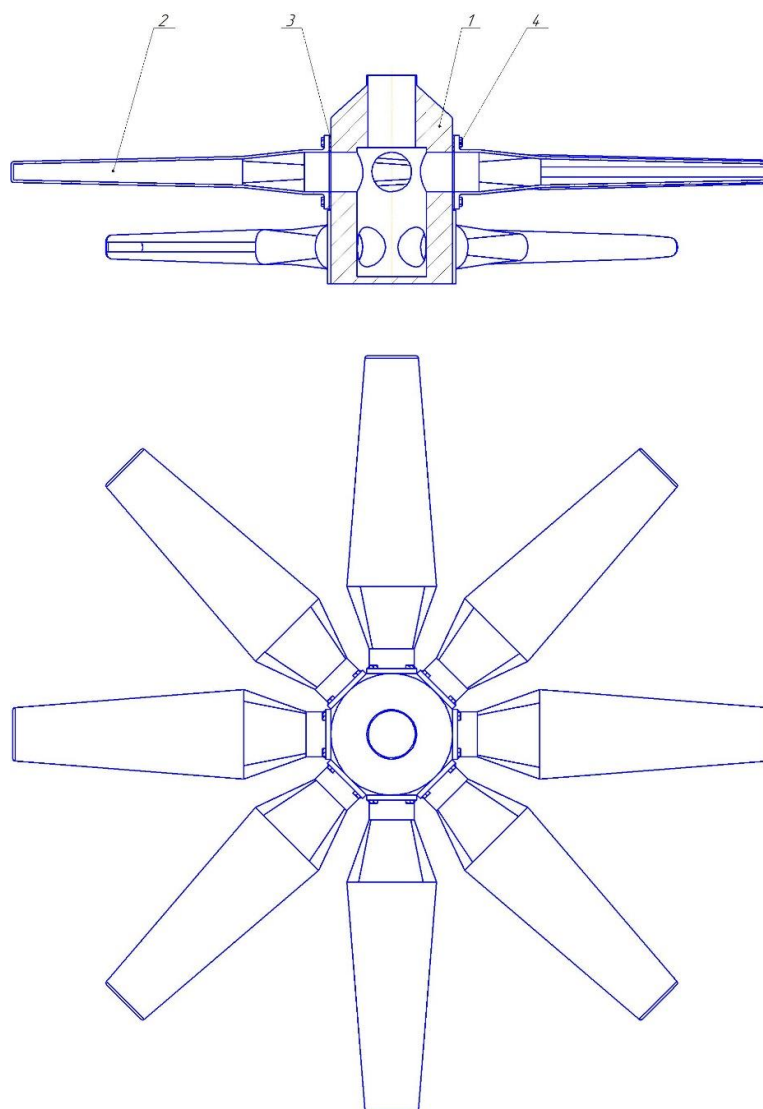


Рис. 4.3. Аератор променевий:

1 – корпус, 2 – промені, 3 – гумові прокладки, 4 – болти

Ферментер оснащений патрубками для подання поживного середовища і посівної культури, солей, які необхідних для покращення розвитку мікроорганізмів, піногасника, люком і оглядовими вікнами, що розташовані на кришці ферментера. Передбачені патрубки підведення і відведення тепло агента в оболонку, патрубки для спуску культуральної рідини і відбору проб. Для гарантування стерильності процесу ферментації в обраному ферментаторі змодельовано використання торцевих ущільнень валу перемішуючого пристрою з паровим захистом.

Застосування такої конструкції майже остаточно запобігає потраплянню атмосферного повітря в апарат, яке є важливим для збереження асептичних умов культивування.

#### 4.2 Спеціальні механізми

Особливо важливо дотримуватися найвищих стандартів чистоти і гігієни в процесах біотехнології, які пов'язані із життєдіяльністю мікроорганізмів. Діапазон харчових продуктів, що виготовляють за допомогою мікроорганізмів в результаті бродіння, доволі широкий — хліб, сир, вино, пиво, сир тощо. У біотехнологічній промисловості здійснюється безпосереднє культивування мікроорганізмів.

Досконале очищення біореакторів не тільки відвертає перехресному забрудненню в багатоцільових установках, навколишнього середовища і негативному впливу на персонал, а і являється першим кроком до відтворених процесів ферментації. Перебіг очищення у харчовій і фармацевтичній галузях — наука положень, які містяться в різних документах: Стандарті МОЗУ 42–4.0:2015 "Настанова Лікарські засоби. Належна виробнича практика", ДСТУ 4161–2003 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги», Закону України «Про безпечність та якість харчових продуктів», нормах Європейської групи з проектування гігієнічного обладнання (EHEDG), а також актах інших регіональних і міжнародних контролюючих органів.

Нинішні апарати для культивування мікроорганізмів мають бути обладнанні автоматичною системою мийки і стерилізації CIP/SIP. Автоматизований процес CIP підвищує відтворюваність і сприяє проведенню валідації очищення. Підвищення безпеки під час експлуатації можливо досягти шляхом інтеграції циклу очищення в повністю закриті системи.

Значний розмір ферментера і недостатність відповідних місць відбору проб створюють труднощі в підборі методу для його ефективного очищення.

Міра очищення таких місткостей відіграє значущу роль у загальній гігієні й має вплив на якість готового продукту. Для якісного очищення обладнання, культивування мікроорганізмів, необхідно вірно підібрати форсунки.

Основною перевагою форсунок є менше витрачання води, але вони гірше показали себе у стерильних зонах. Із-за цього в біотехнології превалюють фіксовані статичні СІР-кулі. В наслідок відсутності обертових деталей ці головки для миття можливо виробляти повністю з корозійностійкої сталі. Це зменшує кількість відпрацьованих деталей, дякуючи чому термін використання головок значно збільшується в порівнянні з обертовими системами. Незначні перемини тиску рідини, яка подається, мають незначний вплив на продуктивність розбризкувальних кульових головок. Відмінно від систем що обертаються, статичні кулі розбризкують рідину безприривно по всій поверхні, що зменшує необхідну тривалість очищення. Часто головки для миття встановлюють у верхній частині або в кришці реактора. Через це розбризкування відбувається суцільно зверху. В разі застосування статичних куль такі необхідні для біотехнології допоміжні частини, як відбійники, внутрішні теплообмінники або вертикальні вали з лопатевими або пропелерними мішалками можуть утворювати "тіньові" зони. Це передбачає, що під час очищення на певні внутрішні зони реактора не потрапляє очищувальна речовина, так як потік відбивається. Ці зони визначаються важкими для очищення. Спочатку затінення обходили, заповнюючи резервуар (частково або повністю) певним розчином. Для отримання прийнятних результатів необхідно було нагрівання. Це не тільки зменшувало безпеку експлуатації, а й не було екологічно доцільним (і часто також економічно) через високі втрати води і засобів для миття.

Нинішньою альтернативою цьому підходу для запобігання затінення є СІР-клапани, що використовують більшість в асептичних системах. Ці клапани встановлені нерухомо і найбільше використовуються спільно з статичними розбризкувальними кулями. В залежності від розміру і геометрії ферментера та внутрішнього обладнання, в нижній частині та/або днищі місткості встановлюють один СІР-клапан. Це надає можливість очищувати місткість знизу (рис. 4.4). Однією з компаній, що розробляють СІР-клапани, є компанія Bioengineering. Її працівники зробили СІР-клапан, який встановлюється безпосередньо в резервуар ферментера. Його плоский або конусоподібний розпилювач чистить сильним водяним струменем мішалки, що обертаються, та всі пристрої як знизу, так і з боків.

Переважно під час очищення мішалка обертається. Це обертання покращує процес очищення, так як на рідину діє відцентрова сила лопатей мішалки, в наслідок цього реагент відкидається на інші зони місткості. СІР-клапани приводяться до руху пневматикою, за рахунок цього можна здійснювати як ручне, так і зовнішнє керування. Вони інтегруються в цілковито автоматизовані процеси СІР. Мертвий простір у СІР-клапанах може призвести до збільшення небезпеки забруднення. Сукупно з недостатнім промиванням в процесі СІР, мертві зони складають підвищений ризик, зокрема у фармацевтичних системах. Із-за цього контролюючі органи не допускають застосування СІР-клапанів з мертвим простором. Для того щоб заподіяти утворенню мертвого простору і водночас зберегти ефективність очищення, СІР-клапан Bioengineering встановлюють у внутрішню частину місткості лише під час очищення. Під час культивування він герметично закупорюється, за допомогою чого виконуються всі вимоги для валідованої експлуатації. До тогож, СІР-клапан у нормальному положенні закритий, через це потребує застосування повітря, яке ним керує, лише під час процесу СІР.

Клапан закривається при допомозі пружини, через те збій в подачі цього повітря не має вплив на ферментацію.

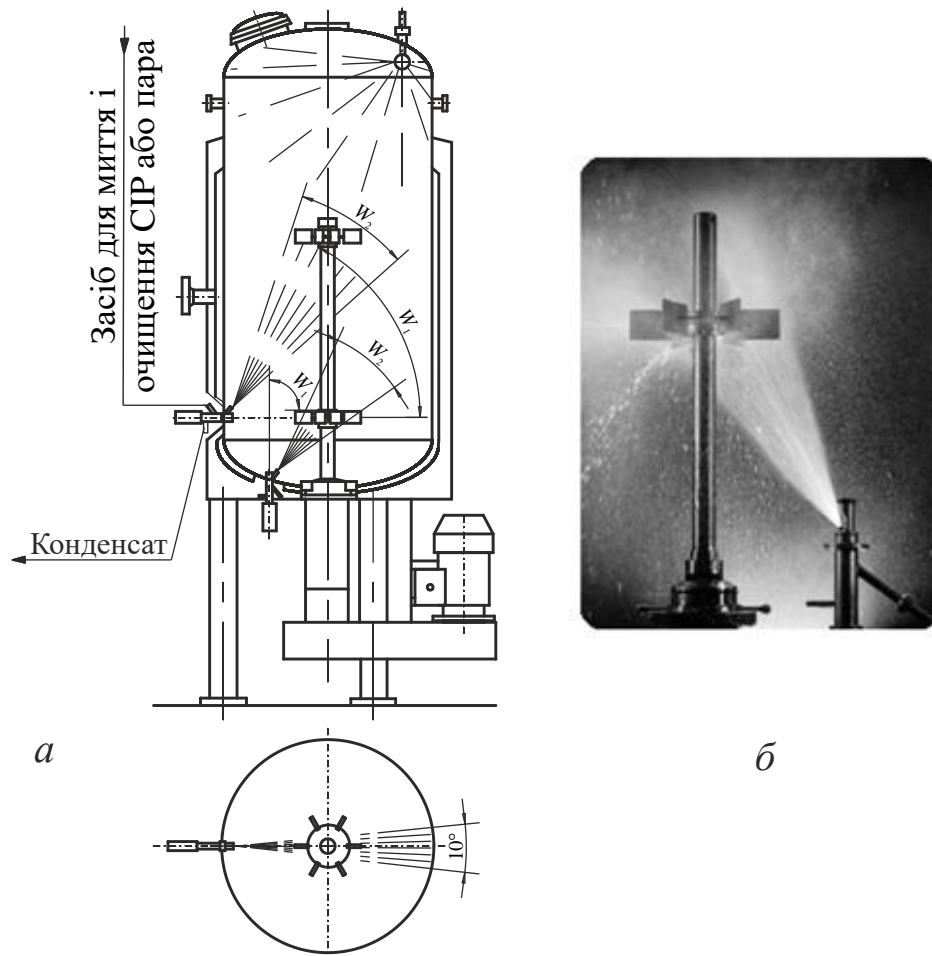


Рис. 4.4. Очищення біореакторів:

*a* — розміщення форсунок у місткості; *б* — СІР-клапан, розроблений компанією Bioengineering

## РОЗДІЛ 5. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 5.1 Основні вимоги до матеріалу

При розробленні технологічного обладнання значну роль відіграють вибір матеріалів. Вимоги до харчових виробництв: миючі та дезінфікуючі засоби, корозійно-активні харчові середовища, підвищення температурного режиму, протікання робочих середовищ з підвищеною швидкістю і т.д.

Основною вимогою до використовуваних матеріалів є висока корозійна стійкість. Також стійкість до дії органічних середовищ.

При виборі конструкційного матеріалу, який має контакт з середовищем, враховується його токсичність, а також дозвіл органів охорони здоров'я на використання при контакті з середовищем харчового виробництва; корозійну стійкість на матеріал мікробіологічних середовищ при довготривалій дії, збільшених температур і тисків, а також миючих і дезінфікуючих засобів; механічну стійкість при виконанні необхідних виробничих циклів деталей, вузлів і механізмів машин, економічну доцільність використання.

Підсумовуючи, можна сказати, що строк роботи апарата буде визначено головним чином особливостями підібраних матеріалів та їх стійкістю до зношення. Тому точний вибір матеріалів є основним напрямком збільшення терміну експлуатації та безперечності роботи апарата.

До ферментаторів висувають високі вимоги відносно їх герметичності. Апарати виготовляють за нормами Держгіртехнагляду. Вплив вогкості на зварні шви при гідравлічній перевірці не допускається, так як це може спричинити потрапляння інфекції в культуральне середовище. Також необхідно перевірити щільність прилягання сальника валу ферментатора, прокладок і фланцевих з'єднань, люків. Апарат виготовляють із корозійностійкої сталі марки 12X18H10T.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бобкуш А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вибір конструкційних матеріалів</b>	<b>2004.98.МР.06.05.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Габва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

## 5.2 Основні характеристики сталі 12X18H10T

12X18H10T є високовуглецевою тривкою до корозії, немагнітною, титановмістною сталлю. Група аустеніту. Є складнолегованими сплавами. Цю сталь називають стабілізованою хромонікелевою, за рахунок наявності в складі сплаву хрому і нікелю. На сьогоднішні вона є найбільш затребуваною і поширеною сталлю з усіх марок нержавіючих сталей. Головні пріоритети сталі 12X18H10T – ударна в'язкість, міцність, твердість.

## 6. Розрахункова частина

Загальний об'єм ферментатора  $V_{\text{заг}} = 63 \text{ м}^3$

Об'ємна маса  $\rho = 1040 \text{ кг/м}^3$

Динамічна в'язкість  $\mu = 0,005 \text{ Па} \cdot \text{с}$

Теплоємність  $c = 4040 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{град})}$

Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,516 \frac{\text{ккал}}{(\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{град})}$

Робочий тиск при стерилізації паром 0,4 МПа

Коефіцієнт заповнення  $\varphi=0,7$

Робочий об'єм апарата:

$$V_p = V_{\text{заг}} \cdot \varphi = 63 \cdot 0,7 = 44,1 \text{ м}^3$$

Розраховуємо геометричні розміри ферментатора:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_1 = V_{\text{заг}}$$

$$h = \frac{3}{2} \cdot d \quad h_1 = \frac{1}{4} \cdot d$$

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{3}{2} \cdot d + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot d = V_{\text{заг}}$$

$$\frac{3 \cdot \pi \cdot d^3}{8} + \frac{\pi \cdot d^3}{8} = 63$$

$$3 \cdot \pi \cdot d^3 + \pi \cdot d^3 = 504$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{126}{3,14}} = 3,39 \text{ м}$$

Внутр. діаметр апарата приймаємо  $D_{\text{вн}}=3400\text{мм}$

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Чепелюк О.О.	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>		Статус документа		
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Бабкуш А.О.	Назва, додаткова назва <b>Розрахункова частина</b>	2004.98.МР.06.06.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова <b>UA</b>	Аркуш 1/8

Діаметр еліптичного днища  $D_{\text{вн}}=3400\text{мм}$ ; висота еліптичної частини  $h_6=850\text{мм}$ . висота відбортовки  $h=60\text{мм}$ , Об'єм днища  $V_{\text{дн}}=5,66\text{м}^3$ ; товщина стінки днища  $S=8\text{мм}$ . Згідно ГОСТ 6533-53 приймаємо співвідношення:

$$h_{\text{в}} = 0,25 \cdot D_{\text{вн}} = 0,25 \cdot 3400 = 850\text{мм}$$

$$h \geq 2 \cdot 8$$

$$850 \geq 16$$

Визначаємо повний об'єм ферментатора:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{ц}} + 2 \cdot V_{\text{дн}} = 63\text{м}^3$$

де  $V_{\text{дн}}$  - об'єм еліптичних днищ;  $V_{\text{дн}} = 5,66\text{ м}^3$

Визначаємо висоту циліндричної частини ферментатора:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{заг}} - 2 \cdot V_{\text{дн}}}{F} = \frac{63 - 2 \cdot 5,66}{9} = 5,7\text{м}$$

де  $F$  – площа ферментатора по внутрішньому діаметру

$$F = 0,785 \cdot D_{\text{вн}}^2 = 0,785 \cdot 3,4^2 = 9\text{м}^2$$

Розраховуємо загальна висоту ферментатора:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot (h_{\text{в}} + h) = 5,7 + 2 \cdot (0,85 + 0,06) = 7,52\text{м}$$

### *Розрахунок ферментатора на міцність*

Після кожного циклу вирощування культури ферментатор миють і стерилізують відкритим паром під надлишковим тиском  $p=0,4\text{МПа}$  ( $t_{\text{нас}} = 142,9\text{ }^\circ\text{C}$ ). Матеріал ферментатора 12Х18Н10Т.

Розраховуємо товщину стінки  $S$  циліндричної обічайки:

$$S_{\text{ц}} = \frac{p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - p} + C = \frac{0,4 \cdot 3,4}{2 \cdot 0,9 \cdot 184 - 0,4} + 0,003 = 7,11\text{мм}$$

Приймаємо товщину  $S_{\text{ц}} = 8\text{мм}$ .

Гідравлічне випробування ферментатора згідно норм виконується під тиском:

$$p_r = p_p + 2 = 4 + 2 = 6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \text{ або } p_r = 6 \cdot 0,0981 = 0,5886\text{ МПа}$$

До тиску додається гідростатичний тиск стовпця рідини, що знаходиться в апараті при випробуванні.

Розраховуємо гідравлічний тиск, при висоті стовпця рідини  $H_{ж} = 6,2\text{м}$ .

$$p_u = p_r + p_{ж} = 6 + 0,62 = 6,62 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \text{ або } p_u = 6,62 \cdot 0,0981 = 0,649 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск стовпця рідини визначається за формулою:

$$p_{ж} = 0,1 \cdot H_{ж} = 0,1 \cdot 6,2 = 0,62 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 0,061 \text{ МПа}$$

Визначаємо допустиме напруження матеріалу при гідравлічному випробуванні посудини повинно задовольняти умову:

$$\sigma = \frac{[3,4 + (0,01 - 0,003)] \cdot 0,649}{2 \cdot (0,01 - 0,003) \cdot 0,9} = 35,53 \text{ МПа},$$

що менше  $184,1 \text{ МПа} > 35,53 \text{ МПа}$

З цього виходить, що міцність стінки ферментатора при гідравлічному випробуванні не порушується.

Розраховуємо товщину стінки еліптичних днищ:

$$S_{ц} = \frac{3,4 \cdot 0,4}{4 \cdot 0,88 \cdot 184 \cdot 1 - 0,4} \cdot \frac{3,4}{2 \cdot 0,85} + 0,003 = 0,0072 \text{ м} = 7,2 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки днища 8 мм.

Це безрозмірний коефіцієнт, який враховує послаблення днища отвором найбільшого діаметра:

$$K = 1 - \frac{d}{D_{вн}} = 1 - \frac{400}{3400} = 0,88$$

де  $d$  – діаметр лаза в днищі;  $d=400\text{мм}$ .

Максимально допустимий діаметр неукріпленого отвору в циліндричній частині не повинен перевищувати розмірів:

$$d_{ц} = 8,1 \cdot \sqrt[3]{D_{вн} \cdot (S_{ц} - C_{ц}) \cdot (1 - K)} = 8,1 \cdot \sqrt[3]{3400 \cdot (8 - 3) \cdot (1 - 0,6)} \\ = 153,4 \text{ мм.}$$

$K=0,6$

де  $C_{ц}$  - надбавка до розрахункової стінки апарата;  $C_{ц}=3\text{мм}$ .

В циліндричному корпусі розрахункового апарата всі отвори мають діаметр менший 153,4 мм; з цього можемо зробити висновок, що такий діаметр отвору можна і не укріплювати. Визначимо найбільший допустимий діаметр не укріплюваних отворів в днищах:

$$d_{\text{вн}} = 0,95 \cdot D_{\text{вн}} (1 - K_1) = 0,95 \cdot 3400 \cdot (1 - 0,6) = 1292 \text{ мм.}$$

$$K_1 = 0,6$$

### *Розрахунок корпусу ферментатора на зовнішній тиск*

Для відводу тепла, в сорочку подають воду під тиском 0,0981 МПа. Виконуємо перевірочний розрахунок корпусу ферментатора на витримку проти деформацій.

Робочий тиск води в сорочці  $p = 0,0981$  МПа повинен бути менший критичного тиску  $p_{\text{кр}}$  при якому циліндрична форма посудини стає не стійкою і деформується. Запас стійкості форми посудини для вертикальних циліндрів приймаємо 4-ох кратним. При робочому надлишковому тиску в сорочці  $0,0981 \cdot p_{\text{кр}} = 0,0981 \cdot 4 = 0,392$ .

Розраховуємо товщину стінки посудини, що піддається зовнішньому тиску:

$$S = r \cdot \sqrt[3]{\frac{p_{\text{кр}} \cdot 4 \cdot (1 - \mu^2)}{E}} = 1708 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,392 \cdot 4 \cdot (1 - 0,3^2)}{2100000}} = 1,5 \text{ мм.}$$

$$\text{де } r - \text{середній радіус циліндра; } r = \frac{D_{\text{вн}} + 2S}{2} = \frac{3416}{2} = 1708 \text{ мм;}$$

$\mu = 0,3$  - коефіцієнт Пуассона

$E = 2,1$  МПа - модуль пружності сталі.

Таким чином, прийнята товщина стінки  $S = 8$  мм забезпечить стійкість форми.

### *Розрахунок зовнішньої стінки сорочки ферментатора*

Визначимо товщину сорочки ферментатора:

$$S = \frac{pD}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot \varphi - p} + C = \frac{0,0981 \cdot 3600}{2 \cdot 0,9 \cdot 168 - 0,0981} + 3 = 4,16 \text{ мм}$$

де  $D$  – внутрішній діаметр сорочки;  $D=3600$ мм.

Приймаємо 6 мм.

### *Розрахунок механічної мішалки ферментатора*

Для перемішування середовищ в ферментаторах рекомендують використовувати турбінні мішалки. Діаметр турбінної мішалки згідно нормалі  $d_M = 0,3 \cdot D_{\text{вн}} = 0,3 \cdot 3400 = 1020$ мм. Прийmemo  $d_M = 1020$  мм. Для більш ефективного перемішування приймаємо шестилопатеvu турбінну мішалку з діаметром  $d_M = 1020$ мм.

Для перемішування середовища в'язкістю  $\mu = 0,005 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$  з

рекомендованою коловою швидкістю мішалки  $\omega = 7 \text{ М} / \text{с}$ .

Розраховуємо число обертів мішалки:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_M} = \frac{7}{3,14 \cdot 1,02} = 2,18 \text{ об} / \text{с}$$

Приймаємо  $n = 3 \text{ об} / \text{с} = 180 \text{ об} / \text{хв}$

Потужність, яку використовує одна мішалка на перемішування середовища без урахування впливу додаткових пристроїв.

$$N_M = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5 = 1,007 \cdot 1040 \cdot 3^3 \cdot 1,02^5 = 31,2 \text{ кВт}$$

де  $\rho_c=1040 \text{ кг} / \text{м}^3$ - щільність середовища;

$n$  і  $d_m$ - число обертів і діаметр мішалки.

Критерій потужності  $K_n$  залежить інтенсивності перемішування, що характеризується від центробіжного критерієм Рейнольда:  $K_n=f(\text{Re}_n)$ .

Визначаємо центробіжний критерій Рейнольда:

$$Re_{\text{ц}} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_M^2}{\mu_c} = \frac{1040 \cdot 3 \cdot 1,02}{0,005} = 636480$$

З графіку нормалі запишемо:

$$K_N \left( \frac{g}{n^2 \cdot d_M} \right)^m = 1$$

$$K_N = \frac{1}{\left( \frac{g}{n^2 \cdot d_M} \right)^m} = \frac{1}{\left( \frac{9,81}{3^2 \cdot 1,02} \right)^{-0,12}} = 1,007$$

Визначимо показник m:

$$m = \frac{a - \lg Re_{\text{ц}}}{b} = \frac{1 - \lg 636480}{40} = -0,12$$

де коефіцієнти a=1 і b=40.

Розрахункова потужність на валу мішалки визначається за формулою:

$$N_p = K_1 \cdot K_2 (\Sigma K + 1) N_M = 1,47 \cdot 1,1 \cdot (2,15 + 1) \cdot 31,2 = 158,9 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення апарату переміщуваного середовища:

$$K_1 = \frac{H_{\text{ж}}}{D_{\text{вн}}} = \frac{5}{3,4} = 1,47$$

де  $H_{\text{ж}}$ - висота шару рідини, що переміщується, для турбінних мішалок

$H_{\text{ж}}=0,75H_{\text{АП}}=0,75 \cdot 7,52=5,4$  м. ( $H_{\text{АП}}=7,52$  м - висота апарата).

Для запобігання викиду піни приймаємо  $H_{\text{ж}}=5$ м.

Коефіцієнт який враховує збільшення потужності, що використовується в результаті підвищення опору середовища в процесі розвитку культури мікроорганізмів  $K_2=1,1$ .

Суму коефіцієнтів  $\Sigma K$ , що враховують збільшення потужності яка використовується, спричинене допоміжними пристроями, які знаходяться в середині апарату приймаємо з табл.

$$\sum K = 1,5 + 0,35 + 0,2 + 0,1 = 2,15$$

Визначимо потужність яка необхідна на подолання тертя в сальнику вала:

$$N_c = 2n \cdot d_B^2 \cdot S_c \cdot p \cdot \left( e^{0,1 \cdot \frac{h_c}{S_c}} - 1 \right) \\ = 2 \cdot 3 \cdot 0,8^2 \cdot 0,012 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot \left( e^{0,1 \cdot \frac{0,098}{0,014}} - 1 \right) = 18,6 \text{ кВт}$$

де  $n$  і  $d_B$ - число обертів і діаметр вала:  $n=3$  об/с та  $d_B=0,085$  м;

$S_c$  - товщина набивки сальника:  $S_c=0,014$  м;

$p$  – робочий тиск повітря в апараті над рівнем рідини:  $p=0,4$ МПа;

$h_c$  - висота набивки сальника:  $h_c = (6 - 7)S_c$

Розраховуємо діаметр привідного валу мішалки визначимо виходячи з умови міцності на кручення:

$$d_B = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{\tau'_{доп}}} + C = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{8633,5}{66,2 \cdot 10^6}} + 0,002 = 0,085 \text{ м}$$

де  $C$  - прибавка на корозію, ерозію і зношення:  $C=2$ мм;

$\tau'_{доп}$  - допустиме напруження на кручення для матеріалу вала:  $\tau'_{доп} = 66,2$ ;

Визначаємо крутний момент на валу мішалки:

$$M_{кр} = 0,163 \cdot \frac{N_p}{n} = 0,163 \cdot \frac{158900}{3} = 8633,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де  $N_p$  - розрахункова потужність на валу, що передається:  $N_p=158,9$  кВт.

Для забезпечення жорсткості приймаємо  $d_B = 85$ мм. Частина валу яка розташована вище нижньої турбінки матиме діаметр  $d'_B = 90$ мм; частина валу, що розташована вище верхньої турбінки:  $d''_B = 95$ мм. при виході через сальник.

Матеріал вала приймаємо 12Х18Н10Т для цього матеріалу допустиме напруження  $\sigma_{\text{доп}}=184$  МПа

Визначаємо допустиме напруження на кручення:

$$\tau_{\text{доп}} = 0,6 \cdot \sigma_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 184 = 110,4 \text{ МПа}$$

допустиме напруження для валу перемішувального пристрою:

$$\tau'_{\text{доп}} = 0,6 \cdot \tau_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 110,4 = 66,2 \text{ МПа}$$

Розраховуємо товщину сальникової набивки:

$$S_c = 0,044\sqrt{d''_B} = 0,044\sqrt{0,095} = 0,0136 = 14 \text{ мм}$$

де  $d''_B = 95$  мм - діаметр вала.

Розрахункову силу з якою повинна бути стиснена набивка сальника:

$$\begin{aligned} P'_c &= \pi \cdot (d''_B + S_c) S_c \cdot \rho \cdot e^{0,04 \frac{h_c}{S_c}} \\ &= 3,14 \cdot (0,095 + 0,014) \cdot 0,014 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot e^{0,04 \frac{0,098}{0,014}} = 2535,9 \text{ Н} \end{aligned}$$

де  $\rho$  - допустимий тиск в апараті при стерилізації:  $\rho=0,4$  МПа.

Остаточно необхідна потужність привідного електродвигуна мішалки:

$$N_{\text{заг}} = 1,15 \cdot \frac{(N_p + N_c)}{\eta} = 1,15 \cdot \frac{(158,9 + 18,6)}{0,95} = 214,8 \text{ кВт.}$$

де  $\eta$  - ККД редуктора привода:  $\eta=0,95$ .

## 7. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

**7.1. Розроблення схеми та технологічного маршруту складання виробу**  
 Аератор використовується для насичення рідини повітрям. Він складається з корпусу 1, до якого надходить повітря, та променів 2, які рівномірно подають повітря в апарат. Для забезпечення герметичності між корпусом та променем встановлюється гумова прокладка 3. Нерухомість деталей забезпечується болтовим з'єднанням 4.

Всі деталі аератора подано у табл. 7.1

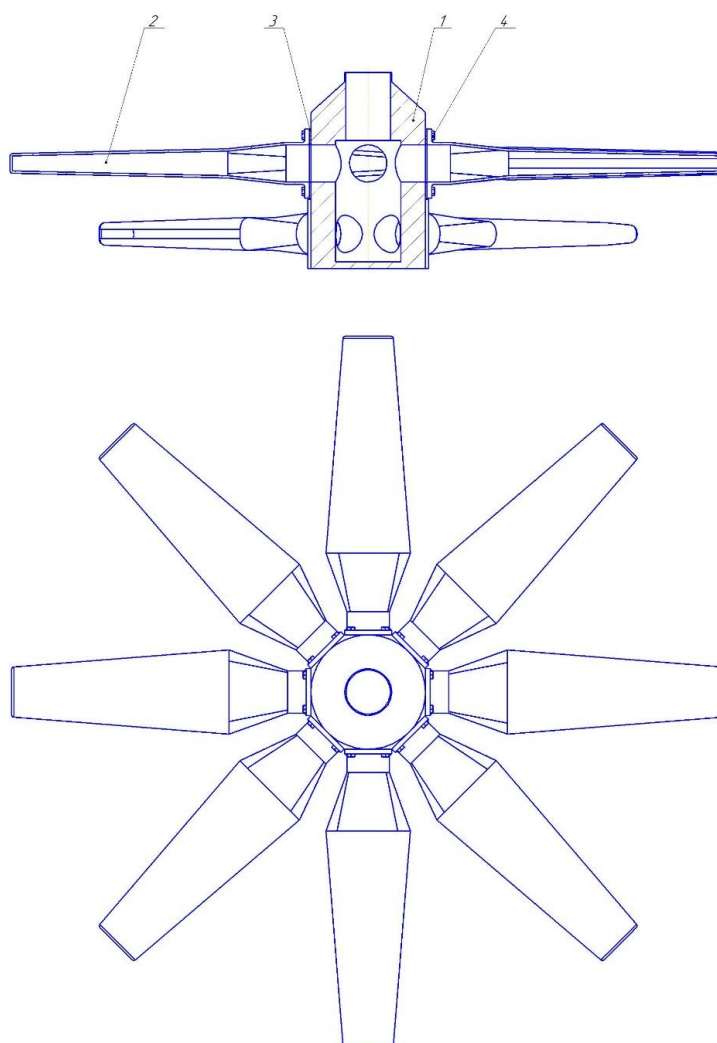


Рис. 7.1. Аератор

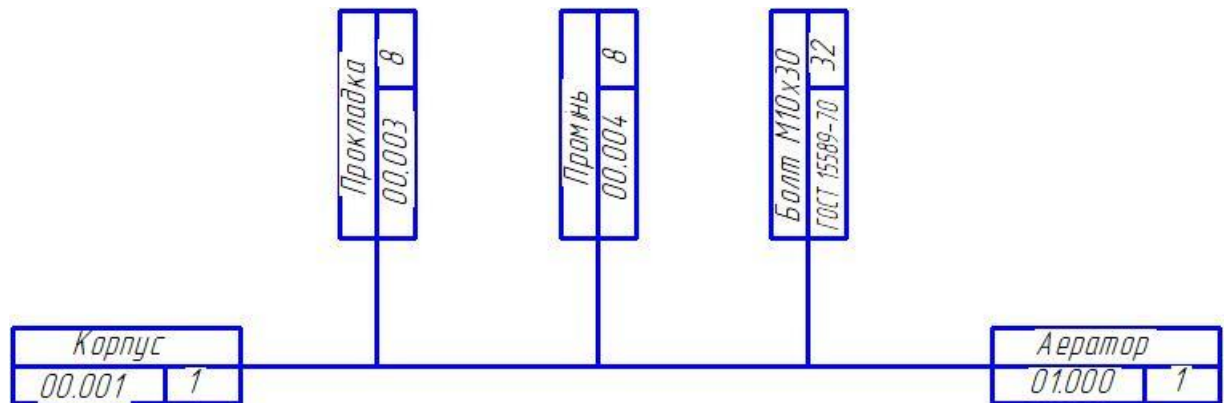
Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Чепеляк О.О.	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>		Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Бавкш А.О.	Назва, додаткова назва <b>Технологія машинобудування</b>		<b>2004.98.МР.06.07.ПЗ</b>			
	Документ затверджено Гавва О.М.						

З аналізу конструкції необхідно виділити деталі, а саме: 1 – корпус, 2 – промені, 3 – гумові прокладки, а також стандартні деталі – гвинти 4.

**Таблиця 7.1. Подетальний склад аератора**

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1	Корпус	1
2	Промінь	8
3	Гумова прокладка	8
4	Болт М10х30	32

Схема складання аератора представлена діаграмою на рис.2



**Рис. 7.2 Технологічна схема складання аератора**

Вертикальні лінії показують послідовність складання окремих складальних одиниць, а горизонтальна – послідовність їх з'єднання. У прямокутниках розміщені найменування деталей, їх номер та кількість.

Технологічний маршрут складання аератора полягає у описанні короткого змісту операцій з переходами.

**Таблиця 7.2. Технологічний маршрут складання аератора**

№ операції	№ переходу, зміст переходу
10. Збирання корпусу (Ск. 1)	10.1 Установити корпус на складальному стенді й закріпити його 10.2. Очистити різьбові отвори від стружки 10.(3-10). Встановити прокладку 10.(11-18). Встановити промінь зверху прокладки 10.(19-50). Вкрутити болти М10×30
20. Контрольна	20.1. Проконтролювати роботу аератора під тиском

## 7.2. Сертифікація елементів обладнання

Об'єктом сертифікації являється аератор. Цей апарат виготовляється на замовлення, тому належить до одиничного виду виробництва. Відповідно сертифікація здійснюється по кожній з одиниць обладнання, яке виготовляється.

Сертифікація здійснюється на відповідність конкретним вимогам стандартам ДСТУ або ISO стосовно об'єктів або груп однорідної продукції та моделей – представників груп.

Обстеження виробництва продукції не проводиться, як і його атестація. Випробування з метою сертифікації проводиться по кожному виробу. Технічний нагляд за виробництвом не проводиться, як і сертифікація систем нагляду.

Сертифікати відповідності видаються на кожний виріб – ферментатор.

## 8. Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту

### 8.1 Монтаж та ремонт колонних апаратів з мішалками

Під колонним апаратом передбачається вертикально розміщений апарат, у якого висота набагато більше його діаметру. Колонні апарати, зазвичай, встановлюють на відкритих майданчиках на різних дистанціях від землі (фундаментах, залізобетонних підніжжях).

Найбільш поширене зношення колонних апаратів є засмічення й корозія їх елементів. Вони псуються в результаті корозійного, ерозійного й термічного впливу.

Ремонтують колонні апарати під час планово-попереджувальних ремонтах технологічної установки.

Налаштування до ремонту колонних апаратів полягає в подальшому.

У колоні тиск доводять до атмосферного, далі із апарата видаляють робоче середовище, і обдають водяною парою, яка витісняє пари, що є в залишках в колоні, і газу. Наприкінці колону промивають водою. Інколи пропарювання й промивання чергують кілька разів.

Промивання колон допомагає швидшому остиганню. В разі перевищення температури промивної води 50°C, не є можливим приступити до ремонтних робіт.

Промивши колону від'єднують від апаратів комунікацій глухими заглушками, які встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. При встановленні заглушки й наступне її зняття зареєструють у спецжурналі.

Переміщуючі апарати складаються з корпусу в якому розташована мішалка, а також з сорочки та привода.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>	
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабкуш А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту</b>	2004.98.МР.06.08.ПЗ		
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA

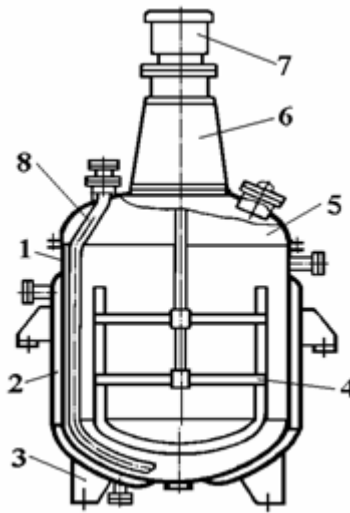


Рис.8.1 Апарат з мішалкою

1 - корпус; 2 - сорочка; 3 - опора; 4 - мішалка рамна; 5 - кришка знімна;  
6 - редуктор; 7 - електродвигун; 8 - труба для передавлювання середовища

Перемішуючі апарати розбирають в подальшій черговості. Робляться мітки на фланці корпуса, кришці апарата й прокладці, далі викручуються болти. За допомогою вантажопідйомного механізму піднімається кришка потім розміщується на козлах таким чином, щоб мішалка була в підвішеному стані. Далі розбираються привід, муфта й мішалка. За цим слідує чистка апарата м'якими щітками або дерев'яними шкребками та промивання гарячою водою.

З зовнішнього огляду розпочинають ремонт апарату. Всі результати огляду фіксуються в протоколі й схемі розміщення дефектів і ушкоджень. При відсутності видимих дефектів і ушкоджень проводиться магнітний і ультразвуковий контроль.

В разі виявлення дефектів на корпусі й сорочці здійснюються виправлення ударами кувалди по мідній підкладці. Коли дефекти не усуваються ударами, тоді зіпсовані частини ремонтують зварювальними роботами.

Технологія ремонту зварюванням полягає в наступному:

1. Місця які ушкодженні і потребують зварювання, шліфують каменем доки не видалять всі дефекти і набуття їхніми формами плавних переходів. У разі присутності наскрізних ушкоджень, вони розточуються.

2. Обробленні місця підлягають магнітному й ультразвуковому контролю для визначення дефектів. При необхідності можливе проведення металографічні дослідження.

3. Підігриваючи до  $300 - 350^{\circ}C$  . заплавляються ушкодженні місця. На підкладках, при постійному струмі, заплавляються сквозні ушкодження.

4. Далі проводиться термінова термообробка при високій відпустки: нагрівання до  $650 - 680^{\circ}C$  та утримання при такій температурі по 7 хвилин на 1мм товщини наплавлення.

Пошкодження емалевого покриття апарата є найскладнішим ремонтом.

Відновлення емалевого покриття здійснюється при невеликих ушкодженнях площею до 10 див<sup>2</sup>. Під час ремонту на дно апарата кладеться листовая гума для недопущення можливого падіння використовуваних при ремонті деталей.

Ремонт передбачає видалення пошкодженої емалі з бракованого місця до ґрунтувального шару або до металу при допомозі абразивних інструментів з тонкого корунду, з промиванням дефекту 10% розчином соди, просушуванню і подальшому промиванню спиртом.

В якост замазки можуть використовуватись різноманітні композиції. Силікатні замазки використовуються для кислотійких емалей, в їх складвходять: діабазове борошно - 100г, кремнієфтористий натрій - 5г, рідке скло - 26 мол. Для нанесення використовують гумову пластинку при втираючи в нерівності поверхні в декілька шарів. Нанесений шар просушується гарячим повітрям. Далі покриття два рази обробляється 50%-вою сірчаною кислотою протягом 6 хвилин з подальшим промиванням і підсушуванням після кожної обробки.

Силікатне покриття має гарне з'єднання з металом і емаллю, але при всьому цьому недостатньо стійкий у лужних середовищах і гарячій воді.

До складу бакелітової замазки входить бакелітовий лак й наповнювач - меленого й прожареного кварцового піску, який добавляється до одержання густого рухливого складу. Бакелітова замазка наноситься у три шари з просушуванням кожного шару на протязі 6 год при 40°С і 1 год при 160°С.

Більше поширеним і надійним методом ремонту незначних дефектів емалевого покриття є встановлення танталових грибоподібних пломб із утовщення з фторопласта. Встановлення танталової пломби відображено на малюнку.

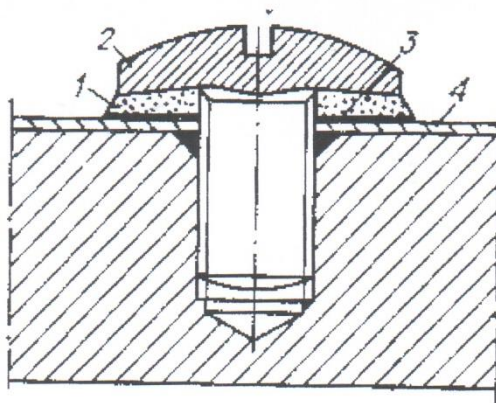


Рис. 8.2 Танталова пломба

1 - диск із фторопласта; 2 - танталовий гвинт; 3 - цемент-мастика; 4 - емаль.

Діаметр різьби пломби М5. Діаметр головки визначається розміром ушкодження. Під час нанесення різьби в корпусі апарата стружка з отвору прибирається магнітним стрижнем або стиснутим повітрям. Фторопластову прокладку змащують у замазці, для фіксування пломби й вирівнювання дефектів поверхні. Лишню замазку, яка виступає з-під головки пломби при загортанні, удаляють і здійснюється прогрівання пломби для висихання замазки.

Коли стійкість танталу недостатня, використовуються пломби-гвинти з танталу із фторопластовим покриттям. Гайка заповнюється замазкою перед загортанням. Ця конструкція пломби дає можливість ремонтувати дефекти, які мають великі розміри. При значних ділянках пошкоджень або, коли ці ушкодження знаходяться в середині штуцера, ремонт проводиться з допомогою танталових накладок, які фіксуються гвинтами.

За допомогою установки титанового патрубка можливий ремонт штуцерів апаратів з мішалкою. Патрубок з відбортовкою заводиться із внутрішньої сторони апарата й фіксується із зовнішньої сторони титановою гайкою з гумовою прокладкою. У щілину патрубка до цього заливається епоксидна смола.

Ремонт мішалок проводять через зношування або зіпсування деталей та вузлів. Особливо поширеним методом є зварювання, наплавлення, заміна шпонок і крипільних деталей і т.д. У випадку наплавлення поверхні, що поєднується з валом (маточина, пази під шпонки), тоді їх для складання направляють на механічну обробку.

Приводи мішалок під час кожного ремонту підлягають ревізії: проводиться перевірка люфтів в зчепленнях і підшипниках, та центрування редуктора та мотора. Справності системи подачі змащення приділяють особливу увагу. Дефекти підлягають виправленню.

Вали підлягають ремонту після зношення посадкових місць шийок валів, дефектів вигину вала. шпонкових канавок..

Метод ремонту зіпсованого валу обирають в залежності від характеру й розмірів дефекту, також технічних можливостей ремонтної бази.

Шийки валів, які мають незначні подряпини, ризики, овальність до 0,1мм, ремонтують шліфуванням. Коли зношення значне, шийки валів проточують і шліфують до чергового ремонтного розміру. У випадку, коли необхідно поновити первісні розміри шийок, їх ремонтують нарощуванням металу металізацією, хромуванням, наплавленням і іншими способами.

Тріщини на валах зашпаровуються зварюванням. Тоді ділянка, охоплена тріщиною, на всю глибину готується під зварювання (знімають фаски, зачищають зварюються поверхні).

Замінюють вали зіпсовані.

Погнуті вали справляють механічним методом у холодному стані або при нагріванні. Ремонт проводять у центрах використовуючи прес або домкрата.

Зношені шпонкові пази ремонтують:

- обробкою пазів двох деталей до наступні по стандарті більшого розміру шпонкового з'єднання (крім пазів у відповідальних деталях);
- зварювання шпонкових пазів електронаплавкою з обробкою нових в другому місці;
- зварювання стінок зношених пазів більших розмірів з послідуочим фрезеруванням до стандартного розміру.

Підшипники кочення не ремонтують. Під час виявленні ознак зношення на бігових доріжках і тілах кочення, викрашування бортів, деформації сепаратора, іржі на робочих поверхнях проводять заміну підшипників.

Ремонт зубчастих колес проводять наплавленням зношених зубів. При поломці зубів, зубчасте колесо міняють.

Під час ремонту апаратів з мішалками звертають увагу ущільненню і запобіганню витoku середовища в місці виходу вала із кришки апарата. Для цього використовують ущільнення чепцеве або торцеве.

Під час ремонту у чепцевих ущільненнях проводять перенабивання сальника.

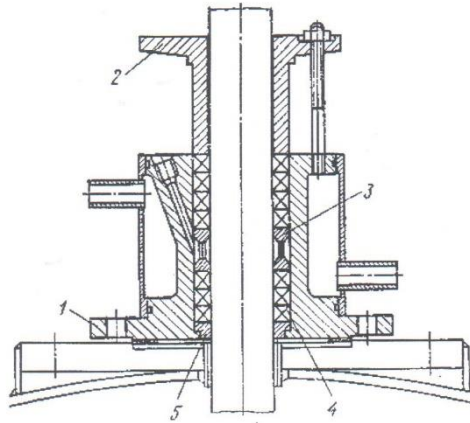


Рис. 8.3 Натяжний сальник

1 - корпус чепцевої коробки, 2 - натискна кришка, 3 - мастильне кільце,  
4 - чепцеве набивання, 5 - ґрундбукс.

Чепцеве набивання здійснюють окремими кільцями з косим зрізом зазором у стику 3 - 5мм. Під час установки кільцець, стики мають бути зміщені на 1200 один від іншого. Перекіс ущільнюючих елементів (манжет, кільцець) у корпусі сальника не є припустимим. Торцеві поверхні ущільнюючих елементів мають бути притерті: на них не допустимо подряпин і раковин.

Має зберігатися рівномірний зазор по всій окружності під час затягування чепцевого набивання між валом натискними втулками сальників. Сальник має бути затягнутий так, щоб під час монтажу вал пристрою, що перемішує, вільно повертався від руки.

Торцеві ущільнення виходять із ладу із-за зношування пар тертя й корозії. Відновлення торцевого ущільнення заключається в заміні деталей, що вийшли з ладу (пари тертя, пружини й ін.). Так само при ремонті прочищають систему охолодження ущільнення.

Завершенням ремонту апаратів з мішалками є випробування.

## 8.2 Монтаж ферментаторів

Апарати поступають на монтажну площадку в зібраному вигляді. Стропування апаратів проводять за спеціальні загарбні пристрої або монтажні штуцера, які передбачені проектом.

Перед установкою апаратів на фундамент укладають підложки або інші пристосування.

Апарати вивіряють рівнем або виском.

Положення встановленого апарата регулюють за допомогою металевих підкладок, клинових домкратів або віджимних регулюючих гвинтів.

Вивірку апаратів на фундаменті або іншій підставі проводять при вільному обпиранні на підкладки або клини, кінцеву - при затягнутих гайках фундаментних болтів. При цьому щуп товщиною 0,1мм не має проходити між підкладками в пакетах і верхньою підкладкою, лапою або опорною конструкцією апарата на глибину більш ніж 3 - 5мм. В кінці остаточної вивірки апарата сталеві підкладки або клини зхоплюють електрозварюванням.

Відхилення, яке допустиме, від проектних осей під час монтажу корпусів апаратів з мішалками:

- відхилення від фактичної висотної оцінки апарата - 10мм;
- відхилення в розташуванні головних осей корпусу апарата в плані - 10мм;
- зміщення осі вертикального апарата від вертикалі і горизонтального апарата від горизонталі або заданого ухилу - 0,3 на 1мм.

### 8.3. Випробування ферментаторів

Змонтовані апарати до здачі в експлуатацію підлягають перевірці на міцність і щільність.

Пристрої перевіряють індивідуально в холосту, потім під навантаженням, правильність складання частин, які рухаються, приробітку тертьових поверхонь, перевіряють роботу всіх вузлів і систем апарата. Перед початку обкатування в приміщенні мають бути закінчені опоряджувальні роботи й монтаж трубопроводів і конструкцій, які пов'язаних з апаратом.

Перед запуском апарата потрібно:

- очистити мастилопроводи системи рідкого мастила, прокачавши масло, минаючи підшипники;
- перевірити наявність змащення у всіх точках, що змазують, апарата;
- проконтролювати затягування нарізних сполучень у всіх доступних місцях;
- перевірити температуру і тиск води та масла в трубопроводах систем охолодження й змащення;
- переконатися у відсутності в апараті людей і сторонніх предметів.

Електродвигун варто обкатати протягом 1 год в холосту без механізму, що перемішує, визначивши також правильність напрямку обертання мішалки. Апарати випробовують вхолосту й під навантаженням. Пристрої, що перемішують, повинні працювати спокійно, без різких стукотів, ударів і надмірного шуму. Масло не повинне вибиватися з корпусів підшипників і редукторів, а вода або повітря - просочуватися через сальник.

Температура нагрівання підшипників, корпусів електродвигунів, редукторів не повинна перевищувати  $65^{\circ}\text{C}$ , крім випадків, особливо зазначених заводом-виготовлювачем.

Випробування вважають закінченими при досягненні нормальної й усталеної роботи апарата протягом установленого часу.

## РОЗДІЛ 9. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

Схема культивування мікроорганізмів приведена на рис.9.1. В ній міститься суть об'єкта дослідження (ферментер), вимірювальні елементи (перетворювачі і датчики), обчислювальні засоби оброблення інформації, регулюючі пристрої (виконавчі механізми і регулятори).

Найважливішими параметрами середовища служить: регулювання рН середовища – здебільшого стабілізація, котра відповідає вимогам необхідної точності, шляхом подання лугу. Закон регулювання може бути любым і формуватися у відповідності до вибраного математичного забезпечення, що закладений в ЕОМ.

Шляхом контрольованої часової програми або за заданим значенням змінної здійснюється регулювання подачі поживних речовин.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабкуш А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Система управління</b>	<b>2004.98.MP.06.09.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/3

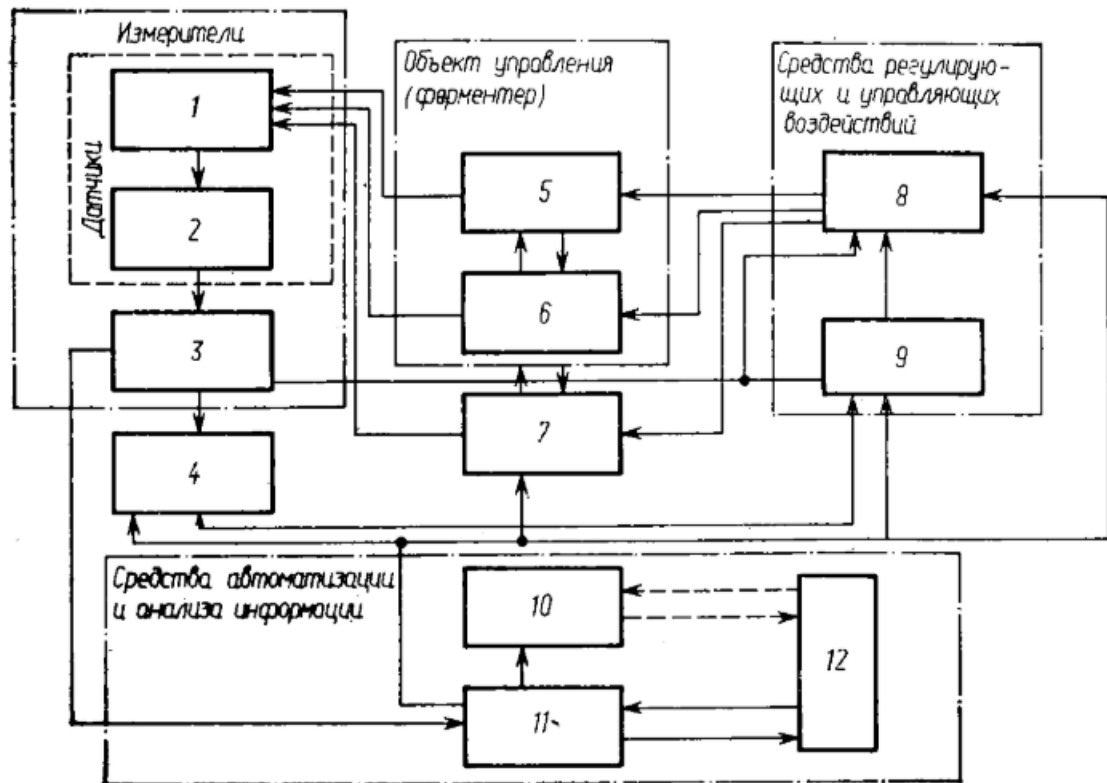


Рис.9.1. Структурна схема автоматизації мікробіологічного процесу:

1 – чутливі елементи; 2 – первинні перетворювачі, 3 – перетворювачі до стандартного рівня, 4 – реєструючі прилади, 5 – умови утримання біооб’єкта (середовище існування), 6 – мікроорганізми, 7 – апаратура для роботи з пробами, 8 – виконавчі пристрої, 9 – регулятори фізико-хімічних і біогенних параметрів, 10 – магнітні, цифрові реєстратори, координатографи, 11 – апаратура зв’язку з ЕОМ, 12 – ЕОМ

В ході автоматичного спостереження перебігу процесу ферментації основною проблемою є утворення піни. Для забезпечення певних умов аналізу з допомогою приладів є подача компонентів-піногасників. подача поживних речовин за певним значенням змінної може проводитись, наприклад, по концентрації розчиненого кисню.

Вимірювальним приладом об’єму є датчик рівнеміра, що керує відведенням культуральної рідини з апарата. Таке саме керування відбувається і при зміні швидкості аерації, швидкості обертання мішалки і швидкості подачі повітря.

Про активність культури інформують такі параметри як концентрація клітин, величина рН, концентрація кисню і вуглекислого газу тощо. Для регулювання мають виконуватися певні умови: величина регульованої змінної, має бути стабілізована таким чином, щоб її коливання в межах інтервалу регулювання суттєво не змінювалось в будь-якому із вимірювальних діапазонів; інтервал регульованої змінної, повинен бути доволі великим.

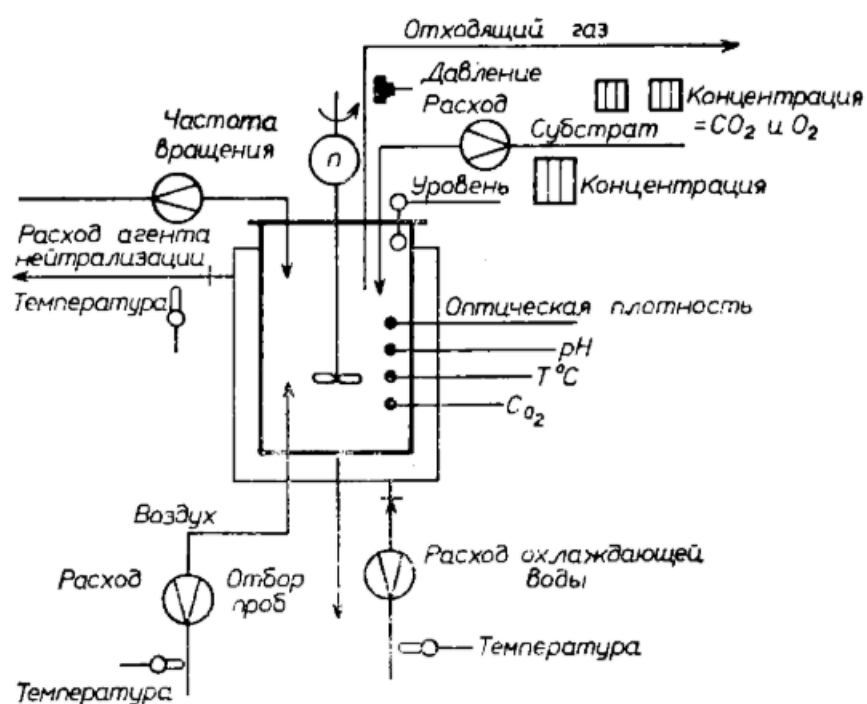
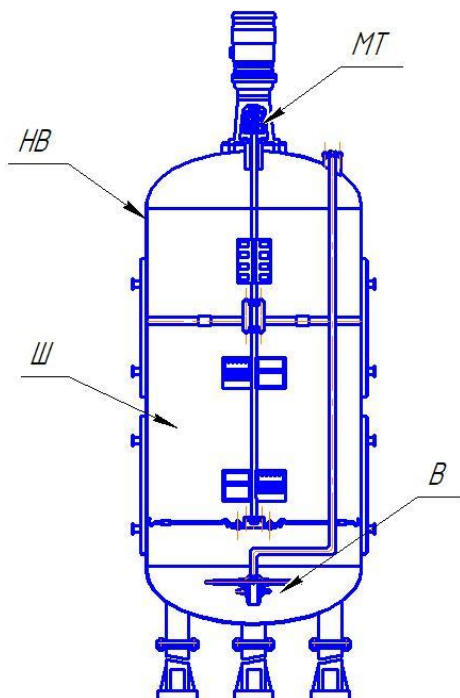


Рис.9.2. Обв'язка ферментера і вимірювальні прилади

## 10. Охорона праці

### 10.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації ферментера



*B* – вібрація

*Ш* – шум

*NB* – небезпека вибуху

*Mt* – механічні травми

Рис.10.1. Ферментатор з механічним перемішуванням

1. На протязі всього терміну використання обладнання для мікробіологічних виробництв має відповідати всім вимогам безпеки.

При виготовленні, ремонті, монтажі, експлуатації, транспортуванні і збереженні, використанні індивідуально або в складі технологічних ліній обладнання має відповідати вимогам безпеки.

2. В технічних документах, затверджених в установленім порядку, зазначається термін служби обладнання.

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Чепеляк О.О.	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Бабкуш А.О.	Назва, додаткова назва <b>Охорона праці</b>	2004.98.МР.06.010.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова <b>UA</b>	Аркуш 1/4

3. Структура апаратів, де можуть протікати некеровані або прискорені екзотермічні реакції, має враховувати ефективні методи відведення тепла, наявність приладів для встановлення засобів автоматичного контролю, керування процесами протиаварійного захисту і сигналізації.

4. Всі комплектуючі вироби повинні мати сертифікати (паспорти), оформлені у належному порядку, дотримуватись вимог технічних документів на вироби.

5. Апарати мають гарантувати міцність і герметичність відносно до зовнішнього середовища. Нормативними документами держав визначається ступінь герметичності апаратів, та методи і способи їх випробувань на герметичність.

6. Під час проведення технологічних процесів обладнання має забезпечувати всі вимоги безпеки.

7. Основними джерелами небезпеки, під час експлуатації обладнання виступають:

пожежо- та вибухонебезпечні особливості продукту;  
тиск рідких і газоподібних середовищ;

токсичність матеріалів;

температура нагрівання зовнішніх поверхонь обладнання;

статична електрика;

електричний струм, який підходить до електроприводів, контрольно-вимірювальних приладів та автоматики;

шум;

наявність обертових частин;

вібрація;

відсутність або недостатність природнього світла або освітлення на робочому місці і сигналізуючих приладів;

8. Обладнання має бути пожежо- та вибухобезпечним;

9. Обладнане пристроями, які забезпечують захист навколишнього середовища від шкідливих повітряних викидів.

10. Працююче обладнання під тиском, а також під час роботи з пожежовибухонебезпечними продуктами, має бути обладнане запобіжними пристроями, які попереджують руйнування обладнання від перевищення допустимого тиску, також вибуху, та засобами автоматичної сигналізації які попереджують виникнення аварійної ситуації у відповідності до вимог нормативних документів

11. На робочих місцях температура нагрівання поверхні устаткування і трубопроводів не має перевищувати  $45^{\circ}\text{C}$ . Поверхні обладнання з температурою більше  $45^{\circ}\text{C}$  мають бути ізольовані.

12. Електроустаткування необхідно мати надійне заземлення, яке захищає обслуговуючий персонал від ураження електрострумом і зарядів статичної електрики.

13. Огороджені або забезпечені іншими засобами захисту рухомі частини обладнання.

14. Вібраційні характеристики обладнання мають відповідати вимогам для постійних робочих місць виробничих приміщень категорії вібрації 3 тип "а".

15. Освітленість робочих місць має відповідати нормам.

16. Мають відповідати вимогам на робочих місцях допустимі рівні звукового тиску і шуму.

17. Розміщення обладнання і загальна його облаштування, відповідно до вимог, має задовільняти можливість безпечного монтажу, демонтажу, обслуговування і ремонту.

## 10.2 Вимоги безпеки до ферментаторів

1. Ферментатори мають бути облаштовані витяжними трубами, перетин яких має повністю виконувати видалення повітря, яке подається на аерування, з робочих приміщень в атмосферу.

2. Пар після стерилізації ферментаторів, комунікацій і арматури має виводитись в атмосферу поза будівлями.

3. Має бути оснащення ферментаторів, відповідно до технологічної схеми ведення процесу, контрольно-вимірювальними приладами для визначення тиску в апараті, температури середовища, рівня рідини та ін.

4. Вручну завантаження кислоти заборонено. Для подачі кислоти необхідна передбачена самостійна кислотна лінія.

5. Відбір проб з ферментаторів необхідно проводити способами, які не допускають контакт обслуговуючого персоналу з культуральними рідинами.

6. Роботи з ферментаторами необхідно проводити відповідно до регламентів і експлуатаційними документами, затвердженими в установленому порядку.

## ВИСНОВКИ

Аналізуючи літературні джерела з'ясовано, що найбільш ефективно працюють ферментатори з механічним перемішуванням і підведенням повітря.

В ході виконання кваліфікаційної роботи встановлено:

1) культивування мікроорганізмів у ферментатор достатньо великого об'єму потрібно підводити велику кількість повітря, що не повною мірою забезпечується аератором променевого типу.

2) доцільно модернізувати ферментатор із механічним перемішувачем пристроєм і аератором для забезпечення додаткового підведення повітря. Перемішувач виконано у вигляді порожнистого валу, до якого приварені лопаті з отворами, через які виходить повітря. Лопаті встановлені під кутом до горизонталі, що забезпечує додаткову циркуляцію повітря і його рух як в радіальному, таку і в осьовому напрямках. Це дає можливість зменшити витрати повітря за рахунок його повторного використання.

3. При збільшенні тиску подачі газової фази від 0,15 до 0,25 МПа інтенсифікується розчинення газової фази у рідкій і на це потрібно від 1 до 6 с. відповідно.

Технічний результат модернізації полягає в покращенні умов культивування мікроорганізмів, що призводить до збільшення продуктивності обладнання.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бовкуш А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Висновки</b>	<b>2004.98.МР.06.000.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rasche, U. Bioreactors and Fermentors— Powerful Tools for Resolving Cultivation Bottlenecks / Ulrike Rasche. // WHITE PAPER No. 21 I July 2019
2. Процессы и аппараты биотехнологии: ферментационные аппараты : учеб. пособие для академического бакалавриата / А. Ю. Винаров [и др.] ; под ред. В. А. Быкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 275 с.
3. Класифікація та аналіз роботи промислових ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою / А.В. Копиленко, М.Г. Кутовий, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький // Наукові праці НУХТ. – 2017. – Том 23, № 1. – С.133 – 143.
4. Аксёнов А.А. FlowVision: индустриальная вычислительная гидродинамика / А. А. Аксёнов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2017. – Т. 9. – № 1 С. 5–20
- 5.
6. Dorceus M. Cell Culture Scale-Up in Stirred-Tank Single-Use Bioreactors. BioProcess International. 16(11–12)si. 2018.
7. Yang Y and Sha M. A Beginner’s Guide to Bioprocess Modes – Batch, Fed-Batch, and Continuous Fermentation. Eppendorf Application Note 408. 2019.
8. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв: монографія / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Васильківський К.В. та ін. — Київ: Кондор-Видавництво, 2016. — 326 с.
9. Резенчук О.Є. Класифікація та аналіз роботи ферментерів з пневматичним перемішуванням / О.Є. Резенчук, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький. — Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2011. — № 3. — С. 79—84.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бовкуш А.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаної літератури</b>	<b>2004.98.MP.06.000.ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

10. Ying Yang and Ma Sha A Beginner's Guide to Bioprocess Modes – Batch, FedBatch, and Continuous Fermentation / Ying Yang and Ma Sha // APPLICATION NOTE No. 408/ - 16 p.

11. Оборудование биотехнологических производств : учебное пособие для ВУЗов / И.А. Евдокимов и др.; под ред И.А. Евдокимова. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 206 с.

12. Harrison, Roger G.; Paul W. Todd, Scott R. Rudge and Demetri Petrides (2003). Bioseparations science and engineering. Oxford University Press. ISBN 0-19-512340-9. 3)

13. Krishna Prasad, Nooralabettu (2010). Downstream Processing A New Horizons in Biotechnology. Prentice Hall of India Pvt. Ltd, New Delhi.

14. Ферментационные аппараты для процессов микробиологического синтеза / А.Ю. Винаров, Л. С. Гордеев, А. А. Кухаренко и др.; под ред. В.А. Быкова. – М.: ДеЛи Принт, 2005. – 278 с.

15. Калунянц, К. А. Оборудование микробиологических производств : [Учеб. для вузов] / К. А. Калунянц, Л. И. Голгер, В. Е. Балашов; Под ред. К. А. Калунянца. - М. : Агропромиздат, 1987. - 397 с.

16. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості / Ю.І. Сидоров, В.І. Чуєшов, В.П. Новіков. – Вінниця: Нова книга, 2009. – 816 с.

17. Виестур У.Э. Системы ферментации. [Текст] / У.Э. Виестур, А.М. Кузнецов, В.В. Савенков. — Рига : Зинатне, 1988. — 368 с.

18. Schuger K. Neue Bioreaktoren für aerobe Prozesse / K. Schuger // Chem-Ing.-Technology. — 1980. — 52, # 12, — P. 951—965.

19. Сидоров, Ю.І. Промислові ферментери / Ю.І. Сидоров // Біотехнологія. —2012. — Т. 5, № 3. —С. 33—39.

20. Закоморний Д.М. Класифікація та аналіз роботи ферментерів з механічними перемішувачами пристроями в аеробних процесах біотехнології [Текст] / Д.М. Закоморний, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький // «ScienceRise». — 2015. — № 5/2 (10). — С. 24—32.

## **ДОДАТКИ**

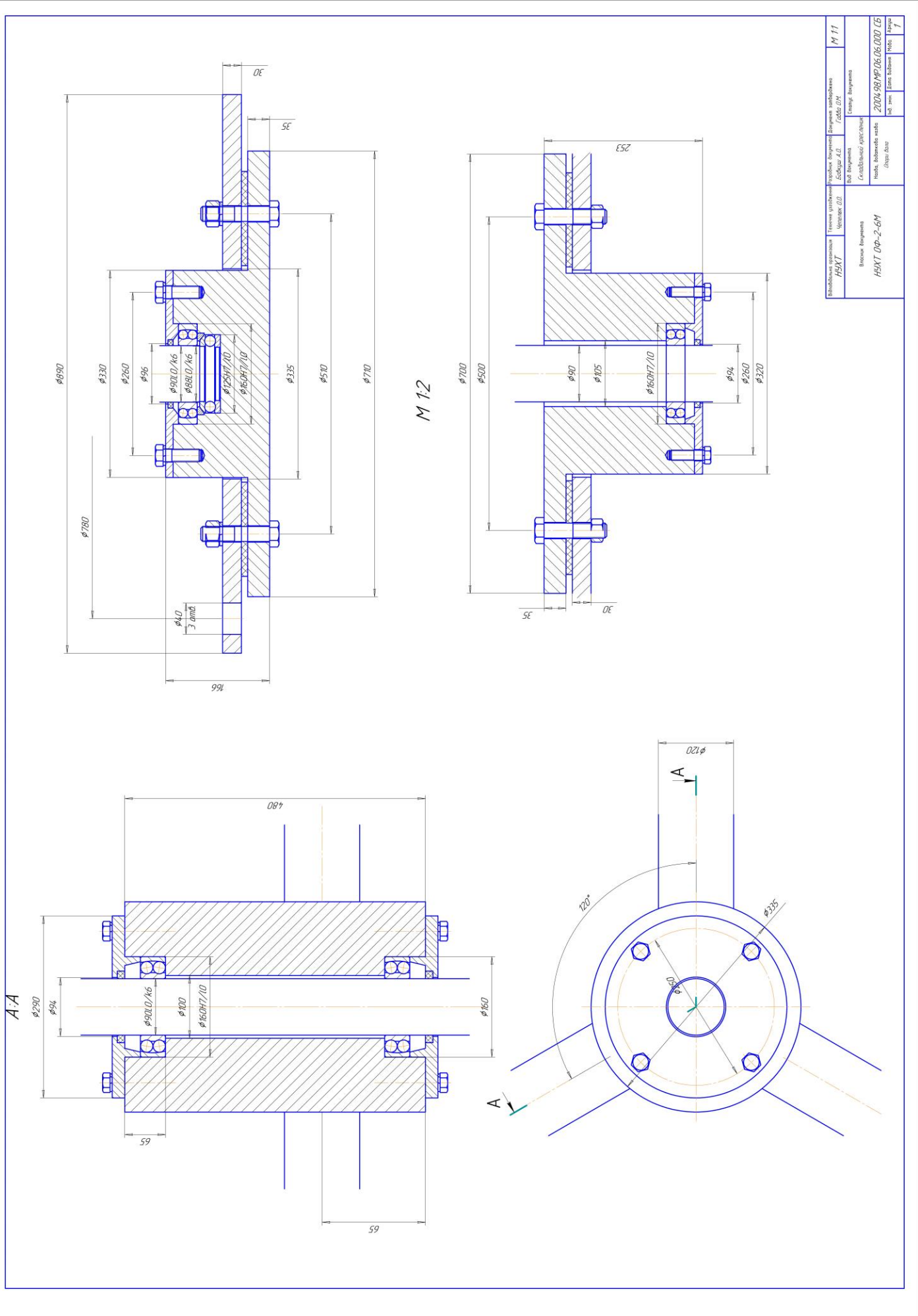


Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть.	Примітка			
				<i>Документація</i>					
A1			2004.98.MP.06.00.000 СБ	Складальне креслення					
				<i>Складальні одиниці</i>					
		1	2004.98.MP.06.00.000 СБ	Корпус	1				
		2	2004.98.MP.06.06.000 СБ	Торцеве ущільнення	1				
		3	2004.98.MP.06.06.000 СБ	Опора вала проміжна	1				
		4	2004.98.MP.06.09.000 СБ	Вал з перемішувачими пристроями	1				
		5	2004.98.MP.06.05.000 СБ	Аератор променевий	1				
		6	2004.98.MP.06.06.000 СБ	Опора вала нижня	1				
				<i>Деталі</i>					
		8	2004.98.MP.06.00.001	Гільза для термометра	1				
		9	2004.98.MP.06.00.002	Вал проміжний	1				
				<i>Стандартні вироби</i>					
		11		Болт М16х55 ГОСТ15589-70	8				
		12		Болт М20х70 ГОСТ15589-70	12				
		13		Болт М27х120 ГОСТ15589-70	4				
		14		Болт М48х160 ГОСТ15589-70	8				
		15		Болт М48х200 ГОСТ15589-70	12				
		16		Гайка М27-6Н ГОСТ15526-70	8				
		17		Гайка М48-6Н ГОСТ5915-70	12				
Відповідальна організація		Технічне узгодження		Розробник документа		Документ затверджено		Масштаб	
НУХТ		Чепеляк О.О		Бовкуш А.О		Гавва О.М.		1:1	
Власник документа				Вид документа		Статус документа			
НУХТ				Специфікація					
				Назва, додаткова назва		2004.98.MP.06.00.000 СП			
				Ферментатор					
				Складальне креслення		Інд. змін		Дата видання	
								Мова	
								Аркуш	
								ua 1/2	









Міністерство освіти і науки України

Національний університет харчових технологій

---

87

**Міжнародна наукова  
конференція молодих учених,  
аспірантів і студентів**

**"Наукові здобутки молоді –вирішенню проблем  
харчування людства у ХХІ  
столітті"**

15–16 квітня 2021 р.

**Частина 2**

---

**Київ НУХТ 2021**

## 7. Обґрунтування режимів роботи ферментатора

Артем Бовкуш, Олена Чепелюк

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** Необхідною умовою культивування аеробних мікроорганізмів є забезпечення подачі кисню в потрібному об'ємі та забезпечення достатньої циркуляції, щоб в усіх шарах рідини забезпечувати однакові умови культивування.

**Матеріали і методи.** Об'єкт дослідження – процес подачі повітря і перемішування культуральної рідини у ферментаторі, оснащеному аератором щілинного типу і лопатевим перемішувачем. Призначення останнього – не лише створення циркуляційних потоків, інтенсифікація процесу відведення теплоти, а й додаткове аерування культуральної рідини – через порожнистий вал і отвори в лопатях повітря надходять всередину ферментатора. Досліджено вплив на зазначені процеси тиску подачі повітря в аератор в межах 0,15 – 0,25 МПа і частоти обертання перемішувача пристрою від 150 до 200 об/хв.

**Результати.** При збільшенні тиску подачі газової фази від 0,15 до 0,25 МПа інтенсифікується розчинення газової фази у рідкій, що узгоджується із законом Генрі, і для вирівнювання концентрації потрібно від 6 до 7 с відповідно. Таким чином, збільшення тиску повітря, яке подається в аератор, на 100 кПа інтенсифікує процес вирівнювання концентрації компонентів на 15%.

Фактором, який найбільше впливає на інтенсивність перемішування, є частота обертання перемішувача пристрою. Її зміна від 180 до 200 об/хв призводить до утворення циркуляційних контурів по всьому об'єму ферментатора та підтримання заданої температури в його об'ємі. Найбільші значення швидкостей спостерігаються поблизу зон виходу повітря з аератора в нижній частині місткості та з отворів перемішувача пристрою. Відповідно, найбільше циркуляційних контурів також створюється поблизу цих елементів. Таке переміщення потоків рідини в апараті створює сприятливі умови у всіх шарах рідини, розміщеної у ферментаторі об'ємом 100 м<sup>3</sup>. Зі збільшенням частоти обертання перемішувача пристрою від 150 до 190 об/хв. спостерігається помітне, на 30%, зростання швидкості культуральної рідини – до 16,9 м/с.

За умов теплообміну, які розглядаються, температура найбільше зростає поблизу аератора і перемішувача пристрою. Це відбувається не лише за рахунок виділення теплоти в результаті життєдіяльності мікроорганізмів, а і внаслідок дисипації енергії в апараті – перетворенні частини механічної енергії в теплову. Однак в ході роботи завдяки наявності зовнішнього охолодження температура в об'ємі підтримується на рівні, потрібному для культивування мікроорганізмів – до 30 °С.

**Висновки.** Встановлення аератора і перемішувача пристрою, який складається з порожнистого валу і лопатей, через які виходить повітря, дає можливість використовувати повітря повторно і зменшує його витрати. Тиск подачі повітря повинен становити 0,25 МПа, частота обертання мішалки – 190 об/хв.

### Література.

1. Васильківський К.В., Юхно М.І., Костюк В.С., Піддубний В.А. (2018), Інновації в обладнанні для аеробного синтезу мікроорганізмів, *Харчова промисловість*, 24, с. 106–116.
2. Wei-Cho Huang, I-Ching Tang (2007), Bacterial and Yeast Cultures – Process Characteristics, Products, and Applications, *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources*, pp. 185–223.