

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) <u>Сергій БЛАЖЕНКО</u> (підпис) (ім'я та прізвище) «__» _____ 20__ р.	«До захисту допущено» Завідувач кафедри МАХФВ <u>Олександр ГАВВА</u> (підпис) (ім'я та прізвище) «__» _____ 20__ р.
--	---

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Інжиніринг фармацевтичних та
біотехнологічних виробництв
на тему: Удосконалення процесів перемішування і аерування у ферментаторі
періодичної дії об'ємом 100 м³

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-5М

<u>Кузь Іван Тарасович</u> (прізвище та ініціали)	 (підпис)
---	-----------------------------

Керівник <u>Житнецький Ігор Володимирович</u> (прізвище та ініціали)	 (підпис)
--	-----------------------------

Консультанти _____ (прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
_____	_____
(прізвище та ініціали)	(підпис)
_____	_____
(прізвище та ініціали)	(підпис)

Рецензент _____ (прізвище та ініціали)	_____ (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) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім.акад. І.С. Гулого

Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових та

біотехнологічних виробництв

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХФВ

Олександр ГАВВА

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кузя Івана Тарасовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення процесів перемішування і аерування у
ферментаторі періодичної дії об'ємом 100 м³

керівник роботи Житнецький Ігор Володимирович, к.т.н, доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20 листопада 2023 р. №940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024

3. Вихідні дані до роботи:

Об'єкт розробки – ферментатор. Науково-технічна література. ДСТУ.

Матеріали переддипломної практики

4.Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація. Вступ. Аналіз існуючого обладнання та технологій Об'єкт та методика

досліджень. Дослідна частина та узагальнення результатів Обґрунтування модернізації

Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування. Розрахункова частина

Підбір конструкційних матеріалів Технологія машинобудування

Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання Система управління

Заходи з охорони праці та техніки безпеки Охорона довкілля.

Висновки. Список використаної літератури

1. Загальний вигляд (1 арк);

2. Лист модернізації (1 арк);

3. Вузли (2 арк.) 4. Технологія машинобудування (1 арк.)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Анотація. Вступ.</i>	<i>20.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Аналіз існуючого обладнання та технологій</i>	<i>25.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Об'єкт та методика досліджень</i>	<i>30.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	<i>05.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Обґрунтування модернізації</i>	<i>10.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування</i>	<i>15.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Розрахункова частина</i>	<i>18.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Підбір конструкційних матеріалів</i>	<i>22.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Технологія машинобудування</i>	<i>26.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання</i>	<i>29.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Система управління</i>	<i>03.01.2024</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Заходи з охорони праці та техніки безпеки</i>	<i>05.01.2024</i>	<i>Виконано</i>
13.	<i>Охорона довкілля</i>	<i>10.01.2024</i>	<i>Виконано</i>
14.	<i>Висновки. Список використаної літератури</i>	<i>12.01.2024</i>	<i>Виконано</i>
15.	<i>Креслення</i>	<i>01.02.2024</i>	<i>Виконано</i>

Здобувач

(підпис)

Іван КУЗЬ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему «Удосконалення процесів перемішування і аерування у ферментаторі періодичної дії об'ємом 100 м³» виконано згідно технічного завдання та методичних рекомендацій.

Провівши аналіз сучасних технологічних та технічних рішень було запропоновано удосконалення конструкції ферментатора, а саме для покращення процесу перемішування було змінено турбінну мішалку на лопатеву з можливістю повторного використання повітря й встановлення аератора щілинного типу. Порівняно з базовим варіантом удосконалена конструкція ферментатора має рід переваг: покращення якості вихідного матеріалу; збільшення продуктивності; зниження собівартості продукції; збільшення прибутку та рентабельності підприємства.

Було проаналізовано розподіл концентрації компонентів у культуральній рідині, тиску всередині місткості й швидкості потоків. Доведено, що запропоноване удосконалення ферментатора позитивно впливає на процес подачі та розподілення повітря й, відповідно, розчиненого в ньому кисню, в об'ємі ферментатора. Обґрунтовано раціональні значення режимів роботи ферментатора.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано сучасний стан технологічних та технічних рішень, наведено опис будови й принципу роботи ферментатора, висвітлено питання його монтажу, ремонт та експлуатації, охорони праці, та техніки безпеки, технології складання пристрою перемішування, проведено моделювання процесів, які пов'язані з подачею та розподіленням повітря у апараті для ферментування.

Магістерська робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, яка містить 127 сторінок та графічної частини, яка складається з 5 аркушів формату А1.

Ключові слова: ферментатор, перемішуючий пристрій, аератор, культивування, тиск, повітря, концентрація, швидкість.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Анотація	221905.MP.11.000.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

Summary

The master's thesis on the topic "Improving mixing and aeration processes in a batch fermenter with a volume of 100 m³" was completed according to the technical task and methodical recommendations.

After conducting an analysis of modern technological and technical solutions, it was proposed to improve the design of the fermenter, namely, to improve the mixing process, the turbine mixer was changed to a bladed one with the possibility of air reuse and the installation of a slot-type aerator. Compared to the basic version, the improved design of the fermenter has a number of advantages: improvement of the quality of the source material; increase in productivity; reduction of production costs; increase in profit and profitability of the enterprise.

The distribution of the concentration of components in the culture liquid, the pressure inside the container, and the flow rate were analyzed. It is proven that the proposed improvement of the fermenter has a positive effect on the process of supply and distribution of air and, accordingly, oxygen dissolved in it, in the volume of the fermenter. Rational values of fermenter operating modes are substantiated.

In the qualification work, the current state of technological and technical solutions is analyzed, a description of the structure and principle of operation of the fermenter is given, the issues of its installation, repair and operation, labor protection and safety techniques, technologies for assembling the mixing device are covered, modeling of processes related to feeding is carried out and air distribution in the fermentation apparatus.

The master's thesis consists of a calculation and explanatory note, which contains 127 pages and a graphic part, which consists of 5 sheets of A1 format.

Key words: fermenter, mixing device, aerator, air, cultivation, concentration, pressure, speed.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз існуючого обладнання та технологій.....	10
2. Об'єкт та методика досліджень	34
3. Дослідна частина та узагальнення результатів.....	45
4. Обґрунтування модернізації.....	57
5. Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування....	60
6. Розрахункова частина	65
7. Підбір конструкційних матеріалів.....	82
8. Технологія машинобудування	84
9. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання.....	90
10. Система управління.....	99
11. Заходи з охорони праці та техніки безпеки.....	101
12. Охорона довкілля	113
Висновки.....	116
Список використаної літератури	117

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Зміст	221905.МР.11.000.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/	

ВСТУП

Біотехнологічна промисловість на сучасному етапі активно розвиває промислове виробництво ферментних препаратів, що є ключовими компонентами у виробництві різних продуктів. Ці ферментні препарати поширені в різних галузях харчової і легкої промисловості, медицині, побутовій хімії, сільському господарстві та інших галузях.

Ферменти представляють собою біокаталізатори білкової природи зі складною структурою, які виявляють специфічну дію на субстрат. Ця дія виявляється при суворо визначених умовах, що характерні для живої природи, і не призводить до денатурації білків, які виступають в ролі носіїв ферментативної активності.

Так, як вже було зазначено, ферментні препарати мають широке застосування в медицині. Препарати, які містять амілолітичні та протеолітичні ферменти, використовуються при створенні живильних середовищ для культивування мікроорганізмів на підприємствах, що виробляють біологічно активні речовини. Це є важливим етапом в процесі виробництва медичних препаратів та біотехнологічних продуктів.

У сучасному світі ферменти медичного призначення переважно отримують з тваринних тканин або патогенних мікроорганізмів. Такий підхід дозволяє отримувати ферментні препарати в чистій формі та необхідної специфічності для медичного використання. Використання сапрофітових мікроорганізмів для отримання ферментів в цій галузі зазвичай обмежене через їхню меншу ефективність у порівнянні із зазначеними джерелами.

Ферментатори - це пристрої, в яких відбувається отримання ферментів шляхом біопроцесів.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка			Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Вступ	221905.MP.11.001.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

У сучасному світі існує значна кількість видів цього обладнання. Ферментатори різняться за конструкцією, і їх можна класифікувати в три основні групи, враховуючи конструктивні та проектні принципи:

- герметизовані ферментатори з механічним перемішуванням барботерного типу;
- інтенсивного масообміну, практично ідеального механічного змішування, безградієнтні по температурі і концентрації;
- герметизовані з пневматичним перемішуванням.

Цех ферментації може включати в себе батарею ферментерів, об'єм яких коливається від 10 до 50 тис. літрів, а також батарею інокуляторів та посівних апаратів з об'ємами від 100 літрів до 5 тис. літрів. Ці інокулятори та апарати мають ту ж конструкцію, що і великі ферментери. Така організація дозволяє проводити ефективний процес ферментації в промислових масштабах.

Батарея ферментерів може включати ряд паралельно розташованих реакційних ємностей, які пристосовані для вирощування та реакції мікроорганізмів або клітин у контрольованих умовах. Це є ключовим елементом в виробництві біотехнологічних продуктів, де ферментація відіграє важливу роль у виробництві ферментів, антибіотиків, пробіотиків та інших продуктів.

Наразі Україна суттєво програє закордонним конкурентам у розвитку біофармацевтики. Наразі в Україні функціонують підприємства, які на є успішними та перспективними у виробництві біофармацевтичних препаратів, зокрема, ПАТ НВЦ "Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод" (м. Київ), АТ "Фармак" (м. Київ), фармацевтична компанія "Biopharma" (м. Київ), ТОВ "БІОЛІК ФАРМА" (м. Харків), ПрАТ «Лекхім-Харків»), ТОВ "Дніпрофарм" (м. Дніпро), ТОВ "ФК "БІОСТИМУЛЯТОР" (м.Одеса).

Значна частка продукції біотехнологічного виробництва на українському ринку на сьогоднішній день, як правило, належить іноземним

виробникам. Наприклад, Україна регулярно імпортує різноманітні продукти, такі як 100% молочної кислоти, 100% кормових амінокислот для сільського господарства, 100% ферментів для побутової хімії, 93% біологічних харчових інгредієнтів, 80% кормових та ветеринарних антибіотиків 75% кормових ферментних препаратів тощо.

Виробництво промислових ферментних препаратів на велику масштабність відкриє можливість зниження залежності від імпорту та сприятиме розвитку вітчизняної промисловості.

Ферменти виступають як біологічні каталізатори у різноманітних біохімічних реакціях, що відбуваються в клітинах. Вони грають ключову роль у промисловості, наукових дослідженнях та медицині. Імплементація крупнотонажного виробництва в Україні дасть можливість забезпечити внутрішній ринок якісними ферментами та зменшить економічну залежність від зовнішніх постачальників.

Також важливо організувати виробництво амінокислот, які використовуються в сільському господарстві та інших галузях. Це дасть можливість самостійно забезпечити сільськогосподарських тварин та птахів необхідними компонентами для кормів і знизить економічну залежність від імпорту. Загальнонаціональний розвиток біотехнологій може стати стратегічним кроком для сталого розвитку країни.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

1.1. Виробництво фармацевтичних препаратів на основі мікробіологічного синтезу

Мікробіологічний синтез зосереджується на використанні клітин мікроорганізмів для виробництва різноманітних продуктів, таких як ферменти, антибіотики, вітаміни, алкалоїди, амінокислоти, органічні кислоти, полісахариди та інші корисні речовини.

Промислове виробництво ферментних препаратів переважно базується на культурах мікроорганізмів, таких як цвілеві гриби, бактерії, дріжджі та актиноміцети. Останнім часом для виробництва ферментів у промисловості використовують переважно міцеляльні гриби, такі як *Aspergillus*, *Penicillium* і *Rhizopus*, а також бактерії роду *Bacillus*, *Escherichia coli* та інші. Ці мікроорганізми мають унікальні можливості для продукції різноманітних ферментів завдяки своєму специфічному ферментативному апарату, високій репродуктивній активності та здатності адаптуватися до різних умов навколишнього середовища.

Використання культур мікроорганізмів для отримання ферментів є ефективним методом у промисловому масштабі. Проте цей підхід має свої недоліки. До них відноситься значний обсяг попередньої роботи, яка передуює препаративному виділенню ферментів. Це включає в себе добір, вирощування і утримання продуцентів, підготовку живильних середовищ, дотримання умов стерилізації, вирощування, висушування та інші етапи.

Для приготування живильних середовищ в мікробіологічній промисловості використовують сировину мінерального, тваринного і

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Аналіз існуючого обладнання	221905.MP.11.001.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/	

рослинного походження, а також синтезовані хімічним шляхом речовини. Важливо, щоб компоненти живильного середовища, які забезпечують розвиток культури і біосинтез ферментів, були вільні від шкідливих домішок.

При обранні сировини потрібно враховувати її собівартість, оскільки в мікробіологічному синтезі вагомого значення набуває вартість вихідних речовин і матеріалів.

Джерела вуглецю. Для мікроорганізмів найбільш доступні вуглеводи, і тому в лабораторіях і багатьох промислових біотехнологічних процесах (виробництво ферментів, антибіотиків, амінокислот і т.д.) використовують глюкозу, сахарозу, лактозу та інші вуглеводи. Однак ці вуглеводи є цінною харчовою сировиною і досить дорогими. У зв'язку з цим у більшості великотоннажних мікробіологічних виробництвах чисті вуглеводи замінюються більш дешевими і доступними продуктами, такими як відходи виробництва крохмалю (меляса, гідроліз), гідролізати торфу і рослинних відходів, побічні продукти молочної промисловості і т.д.

Інші види сировини. Додаткові компоненти, такі як попередники, поверхнево-активні речовини (ПАР) і антибактеріальні препарати, часто використовуються у процесах ферментації для покращення ефективності та контролю умов.

Попередники: Це синтетичні речовини, які входять до складу молекул цільового продукту. Додавання попередників у ферментаційне середовище сприяє інтенсифікації біосинтезу. Наприклад, у виробництві пеніциліну може використовуватися кислота фенілоцтова як попередник.

Поверхнево-активні речовини (ПАР): Вони використовуються для контролю піногасіння. Піногасіння може бути проблемою в процесах ферментації, і ПАР допомагають уникнути надмірної пінки.

Антибактеріальні препарати: Застосовуються для підтримки асептичних умов у середовищі ферментації, запобігаючи росту небажаних

бактерій чи мікроорганізмів. Фурадонін і фурацилін є прикладами таких антибактеріальних препаратів.

Ці компоненти допомагають оптимізувати умови ферментації і забезпечують високий вихід продукту.

1.2. Глибинний аеробний періодичний процес

Цей відносно сучасний метод має переваги порівняно з більш ранніми методами поверхневого культивування. До них відносяться:

- підвищення ефективності застосування площ: глибинний метод дозволяє оптимізувати простір і підвищити застосування виробничих площ, що особливо важливо для масштабування виробництва.
- збільшення масштабів виробництва: глибинний метод дозволяє збільшити об'єми виробництва, що робить його ефективним для великих масштабів.
- механізація та автоматизація: глибинний метод дозволяє механізувати трудомісткі процеси та практично повністю автоматизувати технологічний процес.
- підвищення виходу продукту: застосування глибинного методу може призвести до підвищення виходу біопродукту, що є важливим аспектом виробництва.
- зменшення небезпеки зараження: глибинний метод може допомагати зменшити ризик зараження, оскільки мікроорганізми знаходяться у внутрішній області, менше піддаючись зовнішнім впливам.

Порівняно з глибинним методом технології поверхневого методу можуть бути більш економними, враховуючи собівартість продукту та витрати електроенергії. Отже, вибір між глибинним та поверхневим методами залежатиме перш за все від конкретних вимог та обставин виробництва.

Більшість промислових ферментацій виконуються за допомогою періодичного методу. При глибинному способі культивування розмноження

посівного матеріалу як правило здійснюється у дві стадії: у цеху чистої культури та у відділенні інокуляції. Кількість живильного середовища в апараті не має перевищувати 60 % від загального об'єму. У випадку внесення культури в інокулятор з колб кількість посівного матеріалу становитиме близько 0,1 % від об'єму середовища. Така незначна кількість посівного матеріалу потребує тривалого періоду інокуляції (від 2-х до 4-х діб). Для посівних ферментаторів використовують 10 - 12 % інокуляту від загального об'єму середовища. У цьому випадку потрібно слідкувати за тривалістю приготування посівного матеріалу, а саме щоб в апараті підтримувався оптимальний режим культивування. Тричі в сушарці збирають зразки для мікробіологічного і біохімічного аналізів. Посівний матеріал для основної ферментації готують у кількості 5—20 % від загального об'єму живильного середовища, що використовується.

1.3. Обладнання для реалізації процесів ферментації

У мікробіологічному виробництві використовують ферментатори різної конструкції. Умовно їх можна класифікувати на:

- Барботажні ферментатори: - Використовують барботаж (процес проходження газу через рідину) для аерування . - Можуть бути ефективними для масштабних процесів з невеликою в'язкістю середовища.
- Ерліфтні ферментатори: - Базуються на принципі ерліфтного обтікання для переміщення рідини та аерування . - Забезпечують хороше перемішування, особливо великих об'ємів.
- Барботажно-ерліфтні з механічним перемішуванням: - Комбінують барботаж і ерліфтне переміщення з механічними системами перемішування. - Використовують для поєднання різних методів забезпечення оптимальних умов.

– Барботажні з циркуляційним перемішуванням: Використовують циркуляційну систему для ефективного перемішування рідини. Забезпечують однорідність у всьому об'ємі.

– З ежекційною системою: Використовують систему ежекції для видалення та введення рідини. - Можуть забезпечувати високий рівень контролю за процесом.

– Повне перемішування або витіснення: - Залежно від конкретної мети процесу можуть використовувати або повне перемішування, або повне витіснення рідини.

– За способом введення енергії і аерування : - Розрізняються на апарати із введенням енергії в газову фазу, у рідку фазу або комбіновані.

Ці різноманітні типи ферментаторів дозволяють вибрати оптимальні конфігурації для конкретних мікробіологічних виробництв, враховуючи особливості процесів та умови виробництва.

Об'єм виробничих ферментаторів може становити від 10 до 1000м³ із механічним перемішуванням та барботажем.

Ферментатори як правило являють собою герметичні циліндричні посудини, виготовлені із корозійностійкої сталі, з встановленою мішалкою турбінного, пропелерного та іншого типів. Висота ферментатора у 2—2,5 рази перевищує його діаметр.. Діаметр мішалки становить приблизно 1/3 діаметра апарата. У виробництві ферментних препаратів розповсюджені ферментатори з мішалками, під якими розташовані кільцеподібний або радіальний повітряний барботер. Для підтримування заданої температури в апараті є подвійний кожух або теплообмінник у вигляді змійовика. Ферментатор оснащений арматурою та трубопроводами для подачі живильного середовища; води та пари; розчину, який регулює рівень рН; піногасників; повітря та інших матеріалів.

Сучасні ферментатори комплектуються вимірювальними та регулювальними приладами, піногасниками, оглядовими люками тощо.

Однією з основних вимог до апаратів є забезпечення стерильності, що вимагає їх доступності для обробки гарячою парою.

Робочий об'єм ферментатора як правило не перевищує 6/10 від загального об'єму. Вільний простір над поверхнею розчину використовується як буферний для накопичення піни. Це дозволяє запобігати втрат культуральної рідини. Дослідження вказують на те, що, при правильному керуванні утворенням піни та забезпеченні постійного перемішування і циркуляції піни, можна створити оптимальні умови для росту та розвитку мікроорганізмів у ферментаторі.

Для забезпечення киснем культури мікроорганізмів умовах аеробного процесу при глибинній ферментації, через одиницю об'єму живильного середовища за 1 хвилину, потрібно вводити від 0,5 до 2 об'ємів повітря. Це повітря слід очищати від механічних частинок, мікроорганізмів і хімічних речовин перед його введенням у ферментатор. Для очищення повітря зазвичай застосовують фільтрацію.

Ураховуючи важливість застосування ферментаторів у виробництві ферментних препаратів, багато науковців активно працювали над удосконаленням цих пристроїв. Основна увага була зосереджена на поліпшенні систем аерування та створенні сприятливого гідродинамічного середовища для ефективного проведення процесу.

Спроби використовувати кінетичну енергію циркуляційних контурів через їх взаємодію з вхідним газовим потоком з метою підвищення рівня дисперсної газової фази знайшли відображення у розробці пристрою для вирощування мікроорганізмів, який представлений на рис. 1.1.

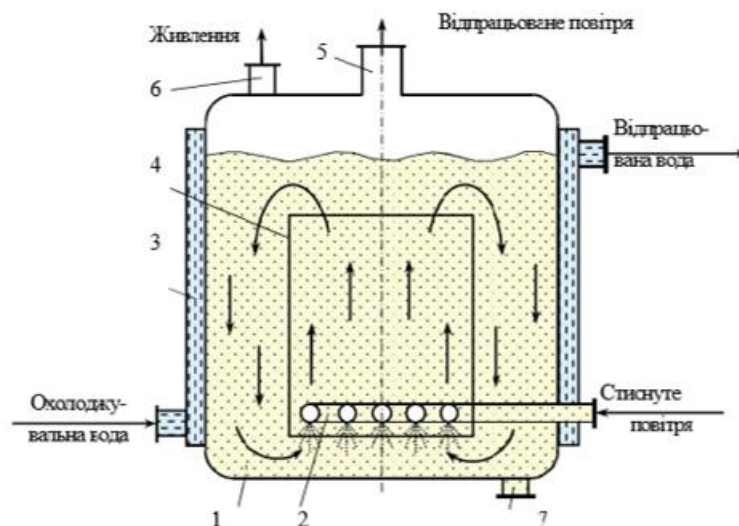


Рис. 1.1. Апарат для вирощування мікроорганізмів: 1 — реактор; 2 — трубчастий аераційний барботажний пристрій; 3 — охолоджувальна сорочка; 4 — дифузор; 5 — витяжна труба; 6 — патрубок підведення живлення; 7 — патрубок відведення культурального середовища

За думкою розробників, застосування трубчастого барботажного пристрою з отворами, спрямованими донизу, в напрямку рідинного циркуляційного контуру, дозволяє інтенсифікувати тепломасообмінні процеси, знизити енергетичні та витрати повітря.

Повітря подається в трубчастий аераційний барботажний пристрій 2. В зоні аерування відбувається взаємодія між вхідним газовим потоком і рідинним потоком циркуляційного контуру, що є висхідним у дифузорі 4. Рівень силової енергетичної взаємодії визначає ступінь дисперсності газової фази у рідині, величину міжфазової поверхні та ефективність тепло- та масообмінних процесів. При цьому потужність енергетичної взаємодії потоків пропорційна приведеній масі системи і квадрату швидкостей газової w_g та рідинної фаз, і втрата кінетичної енергії на удар для однонаправлених потоків.

У випадку взаємодії газового та рідинного потоків величина ΔE визначає енергетичний потенціал для утворення міжфазової поверхні. Тому раціонально мати протилежне спрямування потоків у зоні їх взаємодії.

Забезпечення аерування культуральних середовищ пов'язане із необхідністю стискання повітря до значень, які перевищують значення гідростатичних тисків на рівнях, де розташовані барботажні елементи.

У більшості випадків процеси стискання відбуваються на осьових компресорах і включають кілька ступенів, які приблизно вважаються адіабатними. Отримані тиски зазвичай становлять кілька метрів і можуть досягати декількох десятків метрів водяного стовпа. Температури стиснутого повітря визначаються тисками і можуть коливатися від 50 до 100°C та вище, залежно від температури збираного повітря. Це свідчить про те, що величина енергетичного потенціалу повітря визначається цим параметром, що вказує на доцільність охолодження саме повітря, а не газорідного середовища з температурою навколишнього середовища близько 30°C. Проте остаточний висновок про ефективність конкретного напрямку стабілізації температури в апараті можливо зробити лише шляхом аналізу теплового балансу.

Пропонується нестандартний метод реалізації аераційної системи, який відображено на рис. 1.2. Запропоновано розташувати барботажний аераційний пристрій у внутрішній частині дифузора на різних рівнях, об'єднуючи їх загальним колектором повітроводу. Робота масообмінного апарата виглядає наступним чином: стиснуте повітря надходить у центральний повітровод 5 під тиском, який перевищує тиск над верхнім барботажним пристроєм. Коли стиснуте повітря потрапляє в колектор 4 верхнього барботажного пристрою 3, воно взаємодіє з рідинною фазою, утворюючи висхідну газорідну частину циркуляційного контуру в дифузорі 2. Це призводить до зменшення гідростатичного тиску над верхнім барботажним пристроєм і загального гідростатичного тиску в дифузорі. В результаті цього відбувається барботаж газової фази через середній барботажний пристрій, що призводить до зростання газоутримувальної

здатності та зниження загального гідростатичного тиску в дифузорі. Це, в свою чергу, сприяє барботажу газу через нижній барботажний пристрій.

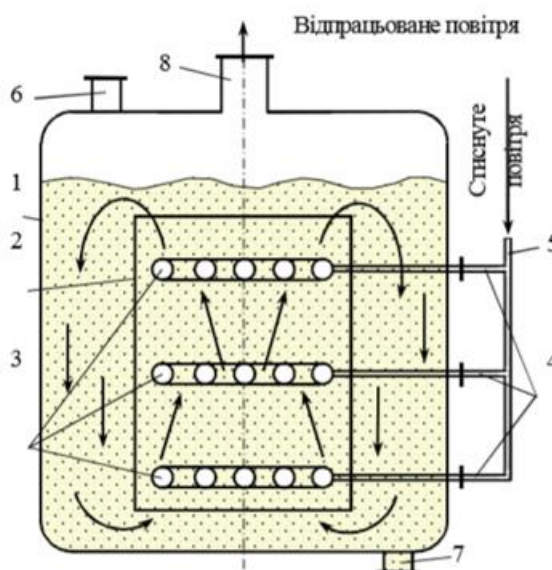


Рис. 1.2. Апарат для вирощування мікроорганізмів:

1 — реактор; 2 — дифузор; 3 — барботажні аераційні пристрої; 4 — колектори; 5 — центральний повітровод; 6 — патрубок підведення рідинного середовища; 7 — патрубок відведення рідинного середовища; 8 — витяжна труба

При цьому автори не звертають увагу на той факт, що введення газової фази у вигляді ступінчастого процесу має декілька аспектів, які вони не розглядають. По-перше, такий процес супроводжується розосередженням зон утворення міжфазної поверхні, що може бути позитивним фактором для масообміну. По-друге, виникає ступінчата зміна показника газоутримувальної здатності в зонах між барботажними елементами і над верхнім барботажним пристроєм. Умови нерозривності рідинного потоку в дифузорі призводять до аналогічної ступінчастої зміни швидкості як рідинної фази, так і газорідинної суміші.

Слід відзначити, що ступінчата зміна швидкості в механіці, аеро- і гідромеханіці трактується як зміна прискорення, теоретично наближена до нескінченності. Це може вказувати на безперервне генерування силових впливів, які слід враховувати в масових або силових розрахунках. Хоча

властивості газорідинної системи можуть амортизувати ці силові впливи, їх вплив на загальний результат важливий.

Узагальнюючи, такий підхід до конструкції має значні перспективи, незважаючи на його зовнішню простоту. Ще одна очікувана перевага полягає в можливості зниження тиску в повітрорудувній машині та системі повітропостачання. Важливо відзначити, що в літературі відсутні теоретичні розрахунки енергетичної доцільності роботи повітрорудувних машин з різними вихідними тисками, що може стати об'єктом подальших досліджень.

Розвиток біотехнології біологічно активних речовин продовжується у напрямку пошуку нових нетрадиційних біологічних об'єктів з цінними виробничими властивостями. Однією з перспектив є застосування базидіоміцетів у мікробіологічній промисловості [3-5,8]. На етапі розробки технології ферментації важливим кроком є проведення експериментальних напівпромислових випробувань для оцінки потенційних штамів-продуцентів. Тому актуальним стає питання впровадження досконалих лабораторних ферментаційних установок [1, 6].

Відомий пристрій для культивування мікроорганізмів складається з ферментатора, інокулятора та посівного приладу [1]. Однак його недолік полягає в значній кількості запірної арматури та устаткування для прокачування середовища, що може спричинити велику ймовірність зараження культури мікроорганізмів сторонньою мікрофлорою та може призвести до інактивації продуцента. Цей пристрій придатний для культивування лише одноклітинних мікроорганізмів і не відповідає вимогам для вирощування макроміцетів.

Запропонований метод культивування мікроорганізмів та відповідний пристрій відрізняються вузькою спеціалізацією на живильному середовищі (мелясі) та продуценті [6]. Однак серед недоліків пристрою можна відзначити відсутність схеми підключення до допоміжних пристроїв та обмежену можливість застосування його лише в умовах промислового

мікробіологічного виробництва (централізована подача стисненого повітря та пари). Пристрій не забезпечує достатньо високий рівень асептичних умов культивування, і також не регулює процеси масообміну в ферментаційній камері.

Розроблені пристрої для глибинного культивування мікроорганізмів мають можливість регулювання інтенсивності масообмінних процесів у субстраті [7]. Вони складаються з місткості з оболонкою обігріву, технологічних патрубків, кільцевого барботера, приводної мішалки та відбійників. Однак схема підключення ферментера до допоміжних пристроїв, які забезпечують стерилізацію апарату, середовища та режим культивування продуцента, не надається. Незважаючи на це, методи розташування магістралей підключення та запірної арматури (об'єднані поняттям "обв'язка") значно впливають на асептичні умови культивування. Ці пристрої придатні для культивування лише одноклітинних мікроорганізмів і не відповідають вимогам для вирощування соматичних структур макроміцетів.

З метою усунення вищевказаних недоліків розроблена лабораторна ферментаційна установка для культивування базидіоміцетів [(патент №40900)], до складу якої входять два біореактори, що підключені паралельно через обв'язку до автоклава, компресора, термостатів, водонагрівача, блоки автоматичного керування роботою компресора, датчик кисню, що герметично вставлений у біореактор, контактні термометри, які регулюють роботу термостатів та обв'язку, яка містить клапани, ротаметри, вентилі, обернені клапани та бактеріальні повітряні фільтри, з'єднані між собою магістралями. Шляхом включення біологічних реакторів (ферментерів) до запропонованої обв'язки та її конструкції підвищуються функціональні можливості ферментерів в умовах лабораторії, а також збільшуються асептичні показники як в самих апаратах, так і в системі магістралей і запірній апаратурі.

Лабораторна ферментаційна установка з біологічним реактором "Біор – 0,25" придатна для застосування в поверхневому і глибинному культивуванні вищих базидіоміцетів (макроміцетів) – продуцентів біологічно активних речовин, зокрема молокозсідальних ферментів. Це може здійснюватися в асептичних умовах напівпромислового експериментального виробництва, призначеного для потреб харчової, медичної та хімічної галузей.

Лабораторна ферментаційна установка для культивування базидіоміцетів складається з двох біореакторів (1,2), які підключені паралельно через обв'язку до автоклаву (3), компресору (4), термостатів (5, 6), водонагрівача (7), блоків автоматичного управління роботою мішалок (8, 9), блоку автоматичного управління роботою компресора (10), датчика кисню (11), вбудованого герметично у біореактор, контактних термометрів (12, 13), які регулюють роботу термостатів та обв'язку (14). Обв'язка включає вентилі, клапани, ротаметри, обернені клапани та бактеріальні повітряні фільтри, що з'єднані магістралями. Схему лабораторної ферментаційної установки показано на рис.1.3.

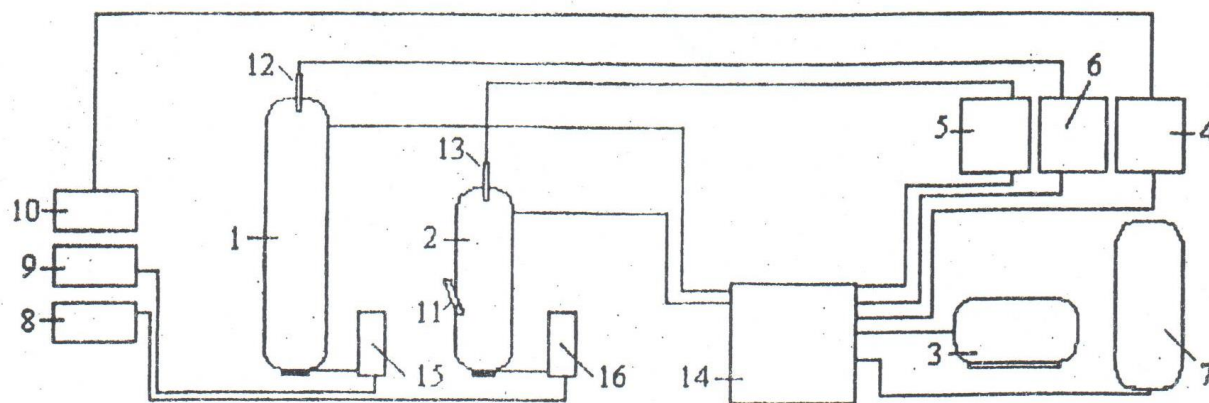


Рис. 1.3

На рисунку 1.4 зображено схему обладнання обв'язки лабораторної ферментаційної установки. Обв'язка включає магістралі, виготовлені з труб діаметром 01,4 мм із харчової корозійностійкої сталі. Компоненти обв'язки

включають вентилі Рр 23 (Н-Д 22/2), клапани 122-16 УХЛ 4 і ВД -125М, ротаметри РМ-0,63Г, зворотні клапани та бактеріальні повітряні фільтри (див. таблиці 1.1,1.2).

Таблиця 1.1 - Умовні позначення

Позначення	Назва пристрою
	ротаметр
	обернений клапан
	вентиль
	регулюючий клапан
	бактеріальний повітряний фільтр
	магістраль

Таблиця 1.2 – Призначення магістралей

№ магістралі	Призначення
13-1	повітря від компресору до "Біор-0,25"
13-2	повітря від компресору до "Біор-0,1"
11-3	пар від автоклаву до "Біор-0,1"
11-4	пар від автоклаву до "Біор-0,25"
15-5	теплоносій від термостату до оболонки "Біор-0,25"
6-18	скид газів і конденсату від "Біор-0,1"
7-19	скид газів і конденсату від "Біор-0,25"
8-16	теплоносій від оболонки "Біор-0,1" до термостату
17-9	теплоносій від термостату до оболонки "Біор-0,1"
10-14	теплоносій від оболонки "Біор-0,25" до термостату
12-9	вода від водонагрівача до оболонки "Біор-0,1"
12-5	вода від водонагрівача до оболонки "Біор-0,25"
20	скид конденсату від оболонок "Біор-0,1" і "Біор-0,25", злив культурального фільтрату

Лабораторна ферментаційна установка працює наступним чином.

1. Стерилізація біореакторів, магістралей та запірної арматури проводиться парою при температурі 121°C за допомогою автоклава. Процес стерилізації біореактора "Біор-0,1" здійснюється через магістраль 11-3, тоді як біореактора "Біор-0,25" - через магістраль 11-4. Вивід газів та конденсату з біореактора "Біор-0,1" відбувається через магістраль 6-18, а з "Біор-0,25" - через магістраль 7-19.

2. Заповнення ємності ферментерів (ферментера) рідким живильним середовищем відбувається через вентилі АВ-027 і АВ-013М, розташовані на кришках "Біор-0,1" і "Біор-0,25" відповідно.

3. Стерилізація біореакторів і живильного середовища відбувається парою при температурі 121°C, використовуючи автоклав. Процес стерилізації біореактора "Біор-0,1" з рідким живильним середовищем здійснюється через магістраль 11-3, а біореактора "Біор-0,25" - через магістраль 11-4. Вивід конденсату з "Біор-0,1" відбувається через магістраль 6-18, а з "Біор-0,25" - через магістраль 7-19; вивід конденсату з оболонок ферментерів відбувається через магістралями 9-20 і 10-20 відповідно.

Так, етапи 1 і 3 стерилізації обладнання і середовища можуть бути об'єднані. У цьому випадку робота лабораторної ферментаційної установки розпочинається з заповнення ємності ферментера (ферментерів) живильним середовищем.

4. Інокуляція живильного середовища у біореакторах за асептичних умов здійснюється за допомогою вентилів АВ-027 ("Біор-0,1") або АВ-013М ("Біор-0,25"). Цей процес включає введення суспензії соматичних структур чистої культури макроміцета, таких як ксилотроф *Hirschioporus lagidinus* (Karst).

5. Культивування продуцента біологічно-активних речовин відбувається при оптимальних значеннях температури та аерування стерильним повітрям, а також при перемішуванні субстрату. Теплоносій, яким є дистильована вода, направляється до оболонок ферментерів "Біор-0,1"

і "Біор-0,25" через магістралі 12-9 та 12-5 відповідно. Оптимальна температура у ферментерах утримується завдяки подачі теплоносія до оболонки "Біор-0,1" через магістраль 17-9 та у зворотному напрямку через магістраль 8-16; до оболонки "Біор-0,25" через магістраль 15-5 та у зворотному напрямку через магістраль 10-14. Повітря від компресору подається до біореактора "Біор-0,1" через магістраль 13-2, а до біореактора "Біор-0,25" – через магістраль 13-1.

6. Під час ферментації встановлюється величина рН, рівень кисню, температура та накопичення метаболіту (наприклад, молокозсідального ферменту) у середовищі. Проби для визначення величини рН та ферментативної активності культурального фільтрату забираються через технологічний патрубок ферментера за допомогою вентилів. Вміст кисню автоматично визначається датчиком PO₂-метром (11). Температура живильного середовища контролюється за допомогою контактних термометрів (12, 13), які регулюють роботу термостатів.

7. Зливання середовища (культурального фільтрату) здійснюється через технологічний патрубок ферментера за допомогою вентилів та магістралі 20. Також відбувається виділення метаболіту, наприклад, молокозсідального ферменту.

Потім цикл повторюється.

Система приладів та устаткування об'єднані у лабораторну ферментаційну установку таким чином, що забезпечує можливість проведення процесу культивування макроміцетів як синхронно, так і асинхронно в паралельно підключених біологічних реакторах (ферментерах).

Запропонована ферментаційна установка легко монтується, є придатною для умов автономного експериментального виробництва та ферментації макроміцетів. Під час культивування продуцента можливе фіксування і регулювання важливих умов та параметрів процесу. Використана нова схема монтажу обв'язки дозволяє підвищити асептичні

умови культивування за рахунок стерилізації паром всієї установки і забезпечує автономну та безпечну роботу ферментаційної установки. Лабораторна установка придатна для поверхневого та глибинного вирощування штамів грибів порядку *Basidiomycetes* з різних систематичних груп – продуцентів біологічно-активних речовин для харчової, медичної і хімічної галузей.

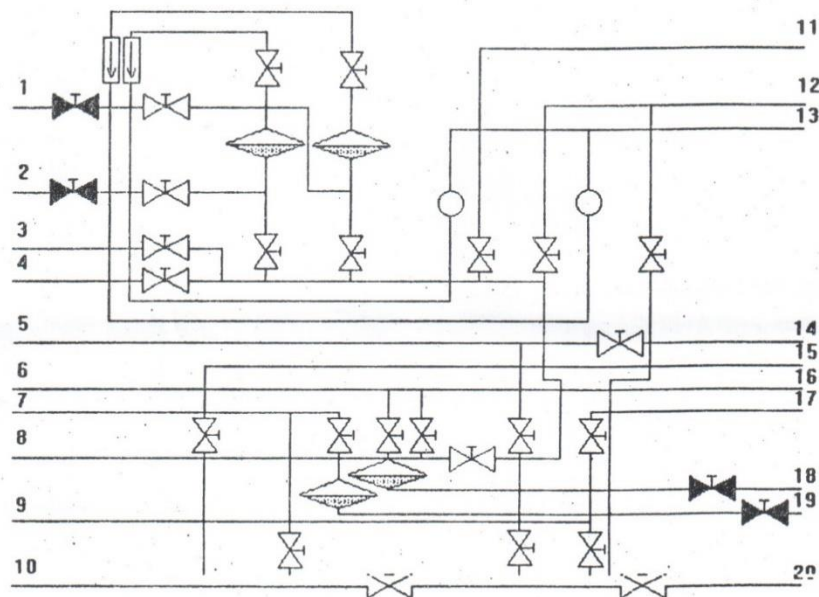


Рис. 1.4

Описаний апарат для вирощування мікроорганізмів (патент № 54579) містить ємкість з патрубками для подачі живильного середовища і повітря, відведення готового продукту і газів. У місткості розміщено вертикальний порожній вал, на якому розташовано пристрій для аерування і перемішування культуральної рідини у формі сегнерового колеса, розміщеного біля днища місткості, і пристрій для гасіння піни.

Однак, дана модифікація апарата відрізняється тим, що пристрій для аерування та перемішування культуральної рідини оснащений другим сегнеровим колесом, розташованим разом з першим колесом на нерухомому порожньому валу в центральній частині ємкості. При цьому діаметр верхнього сегнерового колеса становить 0,4-0,6 діаметра нижнього, а прямолінійні

відрізки труб сегнерових коліс деформовані, утворюючи перемішуючі профілі, висота яких у поперечному перерізі не перевищує діаметрів труб. Сопла верхнього сегнерового колеса направлені у протилежному напрямку відносно сопел нижнього. Пристрій для гасіння піни виконаний у вигляді порожньої маточини з лопатями та розміщений на валу над верхнім сегнеровим колесом, з яким маточина з'єднана тягами і може переміщатися по тягах на постійній відстані від поверхні культуральної рідини.

Винахід, що належить до галузі мікробіологічної промисловості та призначений для вирощування аеробних мікроорганізмів у різних процесах мікробіологічного синтезу, описує прилад для культивування клітин [1]. Цей пристрій складається з циліндричного корпусу з кришкою, що має патрубки для подачі та відведення повітря та живильного середовища, а також порожнистого вала та приводу, який включає магнітні півмуфти. Важливою особливістю є те, що в даному винаході відсутні додаткові елементи у вигляді магнітних півмуфт, що спрощує конструкцію, зменшує складність виготовлення та монтажу всієї системи.

Таким чином, цей винахід вирішує недоліки попереднього пристрою, забезпечуючи більш просту та ефективну конструкцію для культивування клітин в мікробіологічних процесах.

До складу апарату для вирощування мікроорганізмів [2] входить вертикальна ємність з теплообмінною оболонкою, кришки, патрубків для подавання живильного середовища, підведення та відведення повітря.

У ємності встановлено порожнистий вал, який обертається і використовується для подачі повітря. На цьому валу розташований перемішуючий пристрій з двох циркуляційних труб, які закріплені похило на валу і з'єднані патрубками для подачі повітря з нижньою частиною валу. Циркуляційні труби мають вгорі впускні розтруби у формі зрізаних конусів, а знизу - випускні розтруби у формі півсфер.

Вихідні створи патрубок підведення повітря, що розміщені всередині циркуляційних труб, також оснащені розтрубами у вигляді півсфер. При впливі повітря з цих вихідних отворів утворюються реактивні сили, які призводять до обертання валу та закріпленого на ньому пристрою перемішування.

До недоліків апарату варто віднести:

- складність його кінематичної схеми: пристрій для перемішування складається з елементів складної конфігурації, патрубки підведення повітря технологічно важко з'єднати з циркуляційними трубами, вихідні отвори патрубок та труб оснащені насадками – розтрубами складної форми (зрізані конуси або півсфери);

- складність просторового розміщення циркуляційних труб відносно порожнистого валу, який обертається;

- наявність ущільнюючого вузла у верхній кришці ємності не забезпечує дотримання асептичних умов процесу культивування.

- просторове розміщення циркуляційних труб у центральній частині апарату у достатній мірі не гарантує аерування й перемішування культуральної рідини у нижній частині апарата (можливе утворення застійних зон);

- конструкція пристрою для перемішування має значний гідродинамічний опір, що вимагає додаткових витрат енергії.

Зазначені недоліки справді можуть негативно впливати на ефективність пристрою та процесу культивування. Підвищена вартість виготовлення, зборки та експлуатації апарату може ускладнити його впровадження та ефективне застосування. Недостатня здатність забезпечити асептичні умови також може вплинути на якість та безпеку виробництва, а отже, на готовий продукт.

При розробці та вдосконаленні таких апаратів важливо враховувати ці аспекти для досягнення оптимальної ефективності, зниження витрат та

забезпечення високих стандартів якості та безпеки. Було розроблено апарат для культивування мікроорганізмів [3], який містить ємність, оснащену паровою оболонкою, патрубками для подачі стисненого повітря та живильного середовища й відведення готового продукту і відпрацьованих газів, пристрій для аерування та перемішування, який виконано у вигляді сегнерового колеса і розміщено біля днища ємності.

Трубки сегнерового колеса обладнані додатковими отворами діаметром 0,5–1 мм, розташованими вздовж їхньої поверхні на всій довжині. Кожна трубка також оснащена лопатями, які прикріплені під кутом та призначені для забезпечення ефективного перемішування.

Лопаті сегнерового колеса мають ширину в проекції на вертикальну площину, що проходить через поздовжню вісь трубки, рівну її діаметру. Крім того, у верхній частині ємності розташовано пристрій для гасіння піни, який також виконано у вигляді сегнерового колеса. На трубках цього колеса закріплені гвинтоподібні сектори товщиною 0,5 – 0,8 мм.

До недоліків цього апарата можна віднести наявність додаткових отворів на трубках сегнерового колеса, що різко зменшує швидкість випуску повітря із сопла. Це особливо важливо при значній різниці густини рідини і повітря, і коли до трубок прикріплено додаткове колесо лопатей, це може призвести практично до зупинки сегнерового колеса. Пристрій для перемішування по суті працює як барботер, і інтенсивне перемішування культуральної рідини по всій місткості апарату не досягається. Також варто відзначити, що при наявності додаткових отворів на трубках сегнерового колеса верхні шари рідини практично не перемішуються, а лише аеруються.

Пристрій для гасіння піни розміщено у верхній частині ємності, і його робота не залежить від рівня культуральної рідини. Це дає можливість лише частково руйнувати утворену піну, не втручаючись в сам процес її утворення.

Запатентований апарат для вирощування мікроорганізмів має ряд переваг, таких як підвищення питомої продуктивності апарату, збільшення титру готового продукту та зниження його собівартості. Ці переваги досягаються завдяки створенню сприятливих умов для вирощування мікроорганізмів, яке забезпечується ефективним перемішуванням та аеруванням культуральної рідини, при цьому одночасно підтримується підгальмування утворення піни.

Вирішення цього завдання забезпечується тим, що пристрій для аерування та перемішування культуральної рідини виконано у вигляді двох сегнерових коліс, які розташовані на нерухомому пустотілому валу біля днища та у центральній частині ємності, діаметр верхнього сегнерового колеса дорівнює 0,4 – 0,6 діаметра нижнього. Прямолінійні відрізки труб сегнерових коліс деформовані таким чином, що утворюють перемішуючі профілі, висота яких у поперечному перерізі не перевищує діаметр труб, а сопла верхнього сегнерового колеса спрямовані у протилежний бік соплам нижнього сегнерового колеса. Над верхнім сегнеровим колесом на вертикальному пустотілому валу встановлено пристрій для гасіння піни у вигляді порожнистої маточини з пропелероподібними лопатями, яка з'єднана тягами з верхнім сегнеровим колесом та має можливість вільно переміщуватись по тягах при зберіганні постійної відстані її лопатей від поверхні культуральної рідини.

У даному апараті діаметр верхнього сегнерового колеса дорівнює 0,4 – 0,6 діаметра нижнього, що знаходиться біля днища ємності на мінімальній відстані від її стінок та запобігає утворенню застійних зон у нижній частині ємності та забезпечує ефективність процесу перемішування та аерування по усьому об'єму культуральної рідини. Ефект перемішування культуральної рідини та насичення її об'єму киснем досягається завдяки використанню енергії напірних струменів та збільшенню площі контакту між рідиною та газоподібною фазою при їх перехресному русі.

Додатковий ефект перемішування досягається за допомогою деформації прямолінійних відрізків труб сегнерових коліс, що призводить до утворення перемішуючих профілів. Висота цих профілів у поперечному перерізі не перевищує діаметра труб. Наявність таких профілів сприяє зменшенню гідродинамічного опору трубок сегнерового колеса, що в свою чергу збільшує інтенсивність перемішування культуральної рідини.

У запропонованому пристрої напрямки сопел верхнього сегнерового колеса протилежний напрямку сопел нижнього сегнерового колеса. Це призводить до їхнього обертання в протилежних напрямках, забезпечуючи більш інтенсивне перемішування культуральної рідини по всьому об'єму апарату. У порівнянні з найближчим аналогом, в якому додаткові отвори в трубках сегнерового колеса приглушують швидкість його обертання і, відповідно, зменшують інтенсивність перемішування культуральної рідини, в запропонованому пристрої це досягається безпосередньо за рахунок протилежних обертань сопел без необхідності застосування барботажу повітря через додаткові отвори трубок сегнерового колеса.

У цьому апараті піноутворення пригнічується завдяки пристрою для гасіння піни ще на початковій стадії його утворення. Це відрізняє його від прототипу, де заходи по заглушенню піноутворення є недостатніми. У найближчому аналогу пристрій для гасіння піни вживає заходів лише у випадку, коли піна вже утворилася.

В запропонованому апараті пристрій для гасіння піни являє собою пустотілу маточину з пропелероподібними лопатями, розташовано на порожнистому нерухомому вертикальному валу подання повітря над верхнім сегнеровим колесом та зв'язано з цим колесом тягами, по яких має можливість вільно пересуватися.

Маточина з лопатями має позитивну плавучість, що забезпечує їй можливість плавання у культуральній рідині і утримання постійної відстані між її лопатями та поверхнею цієї рідини.

При зміні рівня культуральної рідини маточина пересувається вздовж тяг у вертикальному напрямку і обертається, оскільки вона пов'язана з верхнім сегнеровим колесом. Це призводить до руйнування піни, яка утворюється на початковій стадії культивування.

Таке конструктивне виконання пристрою для аерування та одночасного перемішування культуральної рідини у вигляді двох сегнерових коліс у пристрої для вирощування мікроорганізмів, а також ефективне та надійне виконання пристрою для гасіння піни, сприяє підвищенню надійності його роботи і забезпечує отримання готового продукту з вищим титром та меншою собівартістю.

Апарат складається з ємності 1 з оболонкою 2, в яку подається вода та/або пара, патрубки для подачі стислого стерильного повітря 3 та живильного середовища 4, патрубки для відведення використаного повітря 5 та готового продукту 6, пристрій піногасіння, який складається з порожнистої маточини 7 та пропелероподібних лопатей 8, пристрій для аерування та перемішування, який виконано у вигляді двох (верхнього та нижнього) сегнерових коліс, які являють собою трубки 9 із соплами 10. Трубки сегнерових коліс 9 закріплені у маточинах 11, які обертаються по нерухомому порожнистому валу 12. Порожниста маточина 7 пристрою піногасіння з'єднана з верхнім сегнеровим колесом тягами 13.

Ємність 1 герметично закривається кришкою 14 за допомогою гвинтових притискувачів 15.

Апарат працює наступним чином. Ємність 1, яка пройшла стерилізацію, наповнюється культуральною рідиною через патрубок 4, а стерильне повітря подається через патрубок 3. Повітря проникає у порожнину маточини 11 через нерухомий порошковий вал 12 і, проходячи через трубки 9 сегнерових коліс, виходить через сопла 10 у об'єм культуральної рідини. Під час виходу повітря через сопла 10, на трубки 9 починає діяти реактивна сила, яка забезпечує обертання пристрою на

нерухомому валу 12 без застосування зовнішнього приводу та ущільнюючого пристрою.

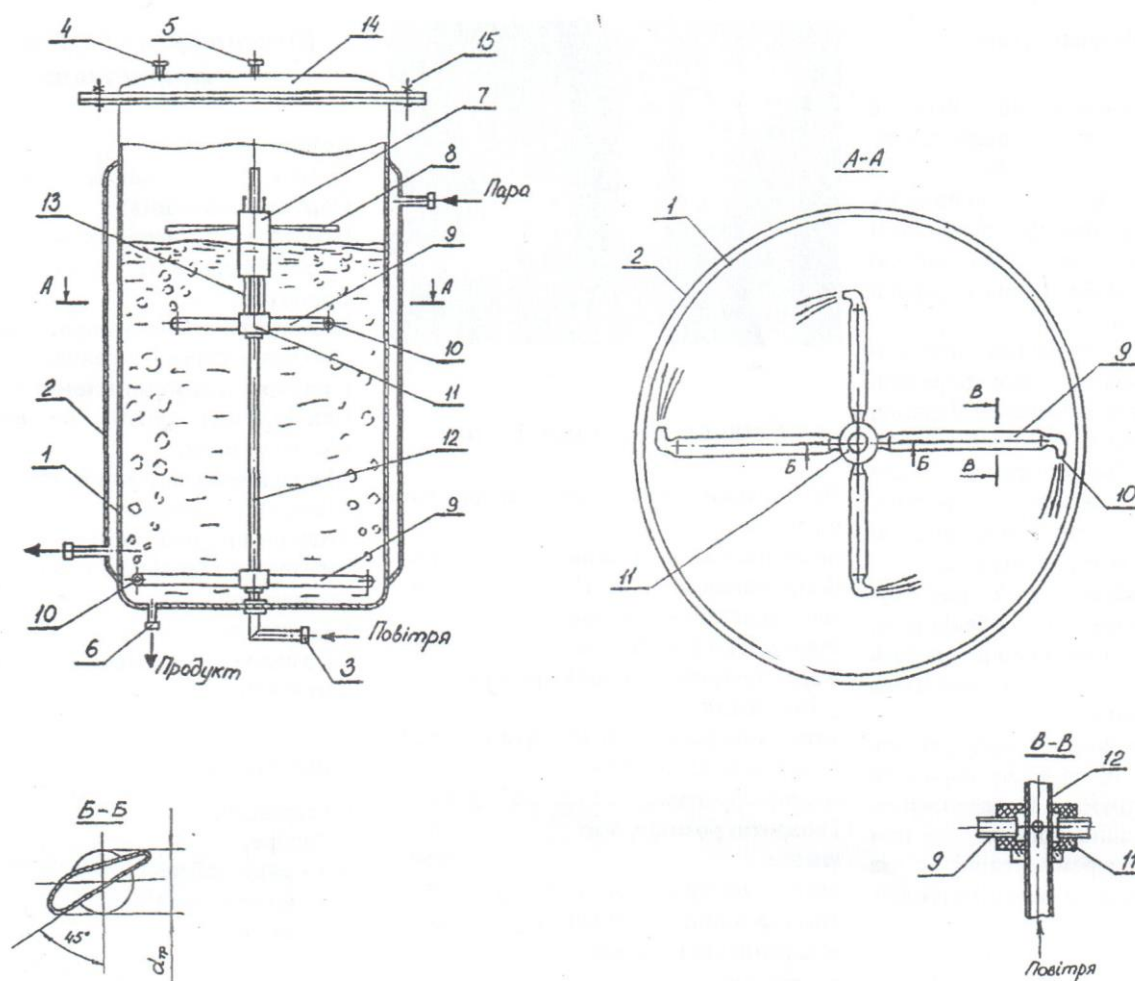
Трубки 9 на прямолінійних відрізках мають деформації у вигляді овалів під кутом 45 градусів. Ці овали утворюють перемішуючі профілі, і важливою особливістю є те, що висота цих профілів у поперечному перерізі не перевищує діаметра трубок 9.

Сегнерові колеса мають різні діаметри (діаметр верхнього становить 0,4 - 0,6 діаметру нижнього) і обертаються в протилежних напрямках за рахунок відповідного орієнтації сопел 10. Розташування коліс біля днища та у центральній частині ємності сприяє ефективності аерування та перемішуванню культуральної рідини по всьому об'єму.

Здійснення процесу гасіння піни передбачає руйнування утворених бульбашок за допомогою пропелероподібних лопатей 8, які закріплені на обертовій порожній маточині 7. Маточина 7 знаходиться у культуральній рідині та може вільно переміщатися за допомогою тяг 13. Обертання маточини відбувається завдяки тягам 13, які пов'язані з верхнім сегнеровим колесом.

Порожнистість маточини 7 забезпечує її плавучість та дає можливість пристрою для піногасіння відповідно змінам рівня культуральної рідини забезпечувати постійну оптимальну відстань лопатей маточини 7 від поверхні рідини, що дає можливість забезпечити ефективне піногасіння. Додатково збільшити ефект піногасіння можливо за рахунок перфорування лопатей. Даний винахід дає можливість суттєво спростити конструкцію апарата; збільшити його питому продуктивність та титр продукту, що отримується, за рахунок застосування енергії напірних струменів сегнерових коліс, які забезпечують перемішування та аерацію всього об'єму культуральної рідини, збільшення поверхні контакту фаз та усунення застійних зон. Частково енергія струменів використовується також для стримування процесу піноутворення.

У порівнянні з розглянутими раніше конструкціями апаратів для культивування, запропонований апарат вирізняється рівномірним розподіленням компонентів живильного середовища по всьому робочому об'єму. Це практично усуває грубі механічні впливи на вирощувану культуру, сприяючи збільшенню виходу та стандартності готового продукту.



Апарат для вирощування мікроорганізмів патент № 25649

Відповідно до корисної моделі, барботажний аераційний пристрій складається з центральної кільцевої частини, яка монтується в нижній частині дифузора, і периферійної частини, яка встановлюється між корпусом і дифузоровим з'єднаною обох частин подільником потоку повітря. Подільник по черзі направляє повітря то в центральну, то в периферійні частини аераційної системи, змінюючи спрямованість циркуляційних контурів. Ці дії

призводять до зростання утримувальної здатності по газовій фазі та інтенсифікації тепломасообмінних процесів.

Висновки і задачі досліджень

Мета цієї роботи полягає в обґрунтуванні доцільності модернізації ферментатора. Основна ідея полягає у заміні барботажного пристрою на аератор щілинного типу та використанні перемішуючого пристрою, через який додатково подається повітря через отвори. У науковій літературі відсутні дані щодо режимів роботи подібних пристроїв, тому ми вирішили дослідити вплив тиску подачі газової фази в аератор на процес, зокрема на зміну концентрації компонентів, швидкість потоків та тиск.

Для вирішення поставленої задачі потрібно провести дослідження, завданнями яких є:

1. Визначення основних факторів, які впливають на процес культивування мікроорганізмів.
2. Створення геометричних моделей основних елементів ферментатора та формулювання умов однозначності для опису процесу.
3. Імітаційне моделювання гідродинамічних процесів, які відбуваються під час культивування мікроорганізмів та аналіз впливу запропонованих змін конструкції на процес.
4. Аналіз розподілень концентрацій компонентів у культуральній рідині, швидкості потоків та тиск всередині місткості. Визначення раціональних режимів роботи обладнання.
5. Виконання техніко-економічних розрахунків для оцінювання доцільності застосування модернізованої обладнання.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика імітаційного моделювання процесу змішування

Програмний комплекс FlowVision – є потужним інструментом для чисельного моделювання різних течій рідини і газу. Такі програмні продукти використовуються в різних галузях, включаючи промисловість, інженерію, енергетику та інші, для аналізу та оптимізації процесів.

Інтеграція у чисельні моделі рівнянь Нав'є–Стокса та рівнянь переносу ентальпії дозволяє точно відтворювати фізичні явища в обраному осередку. Важливою частиною таких програм є апроксимація диференціальних рівнянь на розрахунковій сітці, що включає в себе область, яка досліджується.

Сукупність усіх диференціальних рівнянь, рівнянь стану та умов однозначності, що описують конкретний процес чи систему, у математиці і фізиці називається математичною моделлю цього процесу чи системи. Ця модель дозволяє математично описати та аналізувати поведінку системи та передбачати її реакції на різні умови та вхідні параметри.

Диференціальні рівняння апроксимуються на розрахунковій сітці у припущенні, що кожна клітинка являє собою кінцевий об'єм, в якому швидкості зміни фізичних величин збалансовані потоками цих величин через межі осередку.

Програмний комплекс FlowVision чисельного моделювання стаціонарних і нестаціонарних течій рідини і газу (рис.2.1) використовує кінцево-об'ємний підхід для апроксимації рівнянь математичної моделі.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Об'єкт та методика досліджень		221905.MP.11.002.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/12

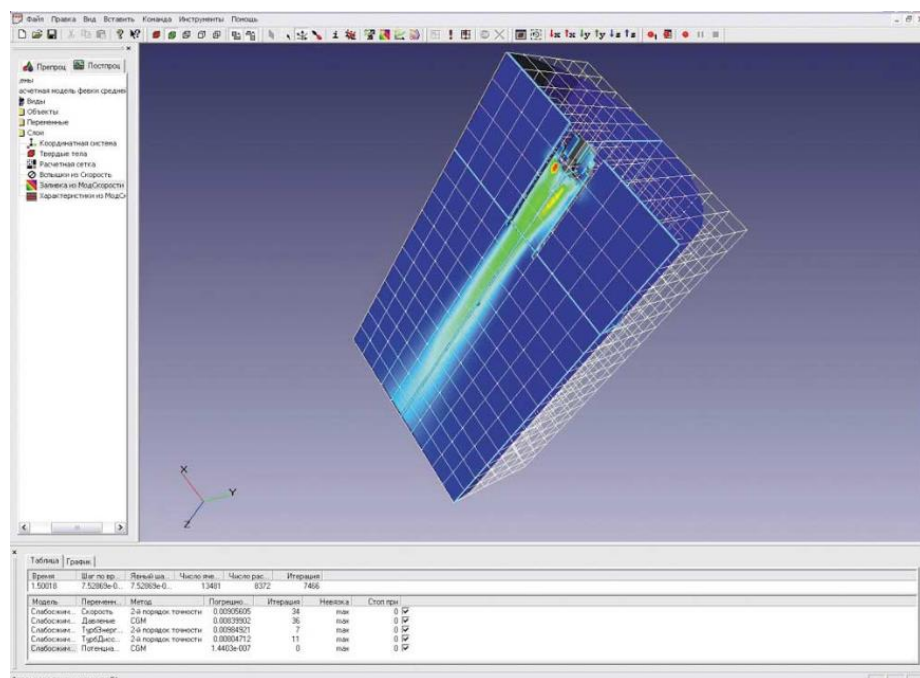


Рис. 2.1. Интерфейс FlowVision

Рівняння Нав'є-Стокса вирішуються за допомогою методу розщеплення по фізичним процесам, зокрема використовуючи проекційний метод MAC.

Програмний комплекс заснований на наступних технологіях обчислювальної гідродинаміки і комп'ютерної графіки:

- генераторція прямокутної розрахункової сітки з локальним подрібненням розрахункових осередків;
- апроксимація криволінійних границь розрахункової області методом підсіткового розподілення геометрії;
- імпорт геометрії з систем САПР і кінцево-елементних систем через поверхневу сітку;
- ядро програми написано на мові C ++;
- має клієнт-серверну архітектуру;
- призначений для користувача інтерфейс – для операційних систем MS Windows і Linux;
- система аналізу результатів розрахунків використовує високоякісну графіку на основі OpenGL.

Програмний комплекс FlowVision побудований на основі єдиного інтегрованого середовища, в якому препроцесор, процесор і постпроцесор

об'єднані і працюють одночасно. До функцій препроцесора входить імпортування геометрії розрахункової області з систем геометричного моделювання, завдання моделі середовища, розстановка початкових і граничних умов, генерація або імпорт розрахункової сітки і завдання критеріїв збіжності.

Після цього керування передається процесору, який починає процес розрахунку. При досягненні потрібного значення критерію збіжності процес розрахунку може бути зупинений. Результати розрахунку безпосередньо під час розрахунку доступні для постпроцесора, де проводиться оброблення даних – візуалізація результатів й збереження їх у зовнішні формати даних.

Вказана архітектура програмного комплексу FlowVision, яка об'єднує моделювання та візуалізацію, дозволяє здійснювати одночасний аналіз і зміну параметрів газодинамічних змінних. Користувач може проводити моделювання, спостерігати за розрахунковими результатами та вносити зміни в граничні умови чи параметри математичної моделі у реальному часі.

Модульна архітектура FlowVision робить його гнучким та розширюваним, дозволяючи легко впроваджувати нові функціональні можливості та вдосконалення. Це може бути особливо корисним для користувачів, які потребують адаптації програмного забезпечення до конкретних вимог і завдань їхніх досліджень чи проектів.

Для моделювання процесу змішування компонентів культурального середовища обрана модель «нестискаєма рідина», яка описує течію в'язкої рідини/газу при малих числах Маха ($M < 0.3$), малих і великих (турбулентних) числах Рейнольдса. Введення малих змін у густину, як описано вами, враховує природну підйомну силу в моделі. Це може бути важливо для точного моделювання гідродинамічних явищ, де зміни густини можуть впливати на розподіл та рух рідини.

Дана модель включає рівняння Нав'є-Стокса, які описують рух рідини, рівняння енергії для врахування теплових ефектів, а також рівняння

конвективно-дифузійного перенесення концентрації суміші. Це дозволяє вам моделювати та аналізувати як гідродинамічні, так і теплові та концентраційні аспекти системи. Такий підхід розширює можливості моделі для дослідження різних фізичних явищ і процесів, що відбуваються в досліджуваній системі, і дозволяє більш повне та комплексне моделювання.

Модель турбулентної нестискаємої рідини базується на використанні турбулентної в'язкості μ_t .

В моделі використовуються наступні рівняння:

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; ρ – густина, кг/м³; μ – динамічна в'язкість, Па·с; μ_t – турбулентна в'язкість, Па·с; джерело $S = \left(1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho}\right) \cdot g + B + \frac{R}{\rho}$. Тут ρ_{hyd} – гідростатична густина, кг/м³; g – вектор сили тяжіння, м/с²; B – сили обертання (відцентрова та Кориоліса); R – сили ізотропного і (або) анізотропного фільтру опору.

Рівняння 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; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К; c_p – питома теплоємність, Дж/(кг·К); Pr_t – турбулентне число Прандтля.

Моделі масоперенесення

Програмний комплекс FlowVision надає можливість розглядати задачі як про перенесення компонентів, які змішуються, так і компонентів, які не змішуються. Це означає, що можна моделювати як процеси масопереносу, де речовини змішуються в середовищі, так і випадки, де компоненти рухаються

або переносяться, але не змішуються між собою. Такий підхід дозволяє ефективно моделювати різноманітні фізичні явища та процеси в різних областях

Для компонентів, які змішуються, концентрація C трактується як масова концентрація другого компоненту (по замовчанню) і для неї вирішується рівняння конвективно-дифузійного перенесення:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(VC) = \frac{1}{\rho} \nabla(\rho D \nabla C)$$

Для масової концентрації властивості суміші визначаються через масові концентрації її компонент (y_i):

$y_0 = 1 - C$ масова концентрація компоненту № 0;

$y_1 = C$ масова концентрація компоненту № 1.

Для компонентів, що не змішуються, концентрація C трактується як об'ємна концентрація другого компонента (Речовина 1) і для неї вирішується рівняння чисто конвективного перенесення:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(VC) = 0$$

Для об'ємної концентрації властивості суміші можна визначити через молярні концентрації її компонент (x_i):

$x_0 = 1 - C$ молярна концентрація компоненту № 0;

$x_1 = C$ молярна концентрація компоненту № 1.

Фізичні властивості багатоконпонентної суміші визначаються наступним чином:

Визначення□	Назва□	Змінна□	Розмірність□
$\lambda = \sum_{i=0}^{N-1} x_i \lambda_i$ □	коефіцієнт теплопровідності□	□	[Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹]□
$\mu = \sum_{i=0}^{N-1} x_i \mu_i$ □	динамічна в'язкість□	□	[кг·м ⁻¹ ·с ⁻¹]□
$C_p = \sum_{i=0}^{N-1} y_i C_{p_i}$ □	питома теплоємність	□	[Дж·кг ⁻¹ ·К ⁻¹]□
$\rho = \left(\sum_{i=0}^{N-1} \frac{y_i}{\rho_i} \right)^{-1} = \sum_{i=0}^{N-1} x_i \rho_i$ □	густина□	густина □	[кг·м ⁻³]□
$M = \left(\sum_{i=0}^{N-1} \frac{y_i}{M_i} \right)^{-1}$ □	молярна маса□	□	□
$h = \sum_{i=0}^{N-1} x_i h_i$ □	ентальпія□	ентальпія	[м ² ·с ⁻²]□

Примітки до таблиці:

N – кількість компонентів суміші (N=2),

y_i – масова концентрація i-ої компоненти суміші,

x_i – молярна концентрація i-ої компоненти суміші.

У переліку рівнянь, що розраховуються, вибирається Концентрація, Енергія, Швидкість і Турбулентність.

Обрана модель та рівняння, що розраховуються, означають, що буде вирішуватися конкретна задача для турбулентної течії, в якій буде розв'язуватися рівняння Нав'є-Стокса, рівняння для турбулентних функцій перенесення та рівняння конвективно-дифузійного (або чисто конвективного) перенесення.

В даній задачі потрібно задати наступні фізичні параметри:

- Початкові значення: початкове розподілення швидкості уздовж осі X у всій розрахунковій області ($V_x, in_i = 1 \text{ м/с}$), початкові значення турбулізації потоку (мають відповідати величинам, що задаються на вхідних граничних умовах) і концентрації $C_{ini} = 0$ означає, що в усій області наявна речовина Substance 0 ;

- Параметри моделі: на закладці Масоперенесення має бути обрана Масова концентрація.

Також варто задати рівень згладжування густини, тому що для середовищ з великою різницею густин на межі розділення густина представляється ступінчастою функцією:

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

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

Речовина 0: густина $\rho=1065$ кг/м³ і молекулярна (динамічна) в'язкість $\mu=0.00153$ Па·с. Речовина 1: густина $\rho = 1$ кг/м³ і молекулярна (динамічна) в'язкість $\mu=1.82$ Па·с.

Інші параметри змінювати не потрібно.

Розробка геометричної моделі і задання граничних умов

Робочий орган при культивуванні пліснявих грибів – аератор (рис.2.1 а) та перемішуючий пристрій (Рис. 2,1б), які розташовані у циліндричній ємності (2.1 в). Для охолодження розчину застосовується парова рубашка. Геометрична модель ємності для змішування та перемішуючого пристрою представлені на рис. 2.2.

Це важливе обладнання для проведення процесу культивування пліснявих грибів у контрольованих умовах.

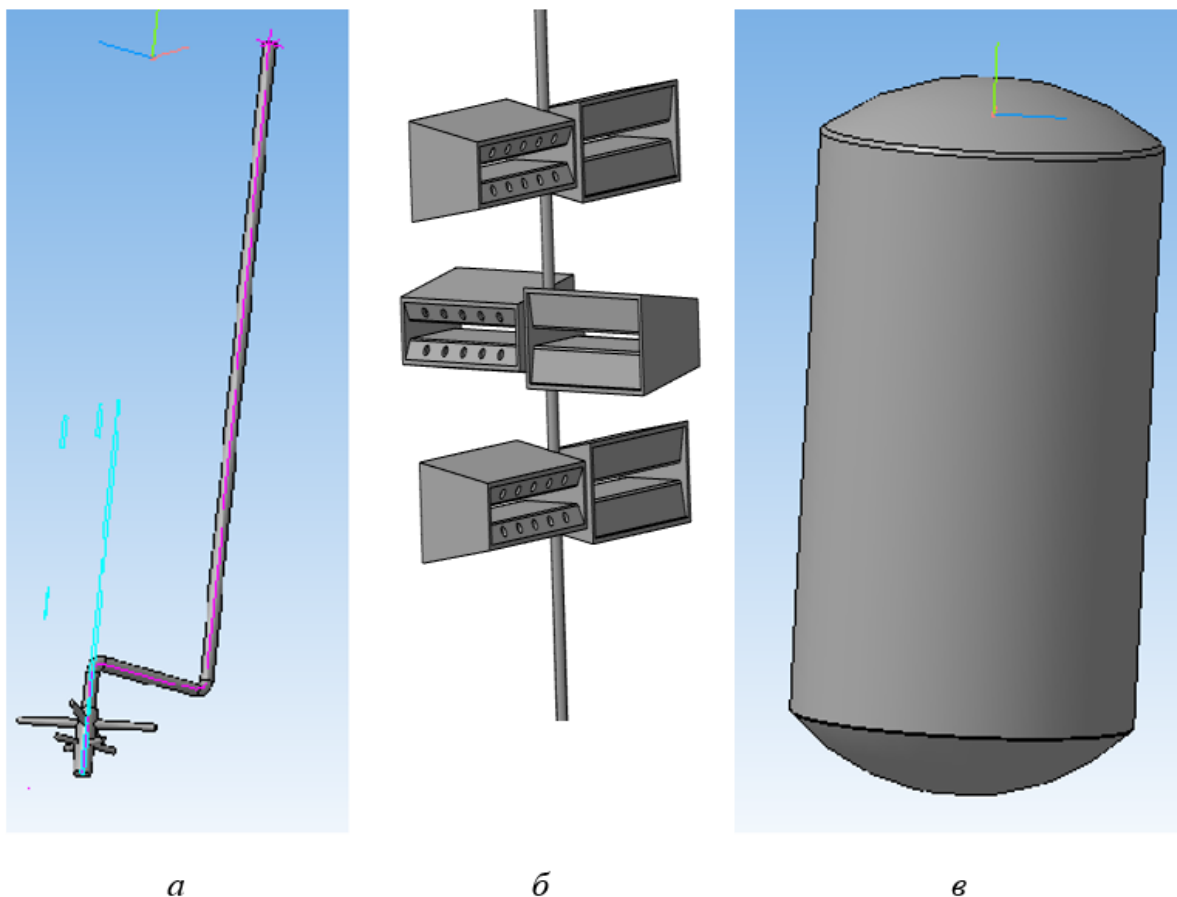


Рис.2.1. Геометрична модель ферментатора і його вузлів: а – аератор, б – перемішуючий пристрій, в - місткість

Оскільки пристрій для перемішування складається з пустотілого валу і перемішуючих лопатей, що мають внутрішні порожнини для додаткового надходження повітря, для моделювання потрібно зображати не саму мішалку, а шлях, яким подається повітря (рис. 2.2).

Граничні умови (рис. 2.3) визначають взаємодію вихідних компонентів з елементами обладнання.

При моделюванні встановлено частоту обертання робочих органів на рівні 3 обертів на секунду.

Крім того, вказано обсяги, які займають вихідні компоненти до початку процесу змішування.



Рис. 2.2. Шлях подачі повітря в переміщючому пристрої

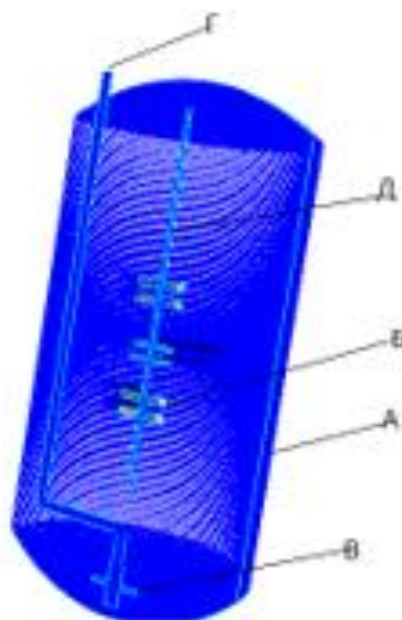


Рис.2.3. ~~Гравітаційні умови для розрахунку процесу перемішування:~~ А- стінка ферментатора, Б- переміщючий пристрій, В- аератор, Г- подача повітря в аератор, Д- додаткова подача повітря

Даний програмний комплекс використовує локально-адаптивну розрахункову сітку, що означає, що окремі області можуть автоматично підрізатися на різні порядки за різними критеріями.

Початкова розрахункова сітка описується напочатку. Для її налаштування слід викликати редактор розрахункової сітки, обираючи в дереві варіанта "Начальная сетка". Застосовуючи праву клавішу миші, викликаємо контекстне меню та обираємо "Свойства". Початкова сітка - прямокутна. У вікні редактора початкової розрахункової сітки доступні три закладки: "X-направление", "Y-направление" та "Z-направление". "X-направление" визначає X-координати площин, перпендикулярних осі X. Аналогічно визначається для інших двох осей. Важливо рівномірно розставити необхідну кількість площин. На вкладці «X-направление» в поле поруч із кнопкою «Равном.» вводимо число 40 і натискаємо кнопку «Равном.» (рис. 2.4). На вкладці «Y» вводимо число 100, а на вкладці «Z» - 40. Для візуалізації сітки натискаємо на піктограму із зображенням сітки.

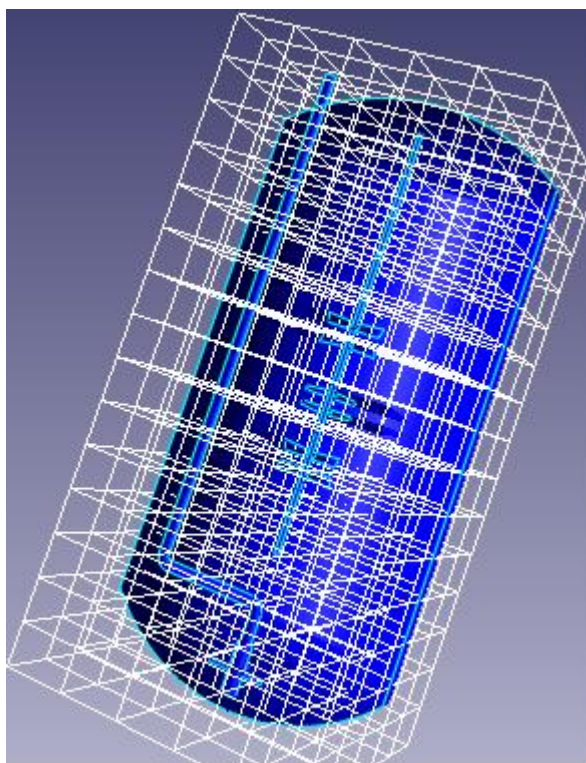


Рис. 2.4. Побудова розрахункової сітки

Після цього переходимо до вибору кроку за часом обчислювального алгоритму. Для цього вибираємо опцію "Общие параметры" в дереві

варіантів. Правою клавішею миші викликаємо контекстне меню і обираємо "Свойства". У відкритому вікні знаходимо вкладку "Шаги" і змінюємо значення КФЛ (CFL) на 0,05. Таким чином, визначено крок за часом.

Запуск обчислення завдання виконується натисканням кнопки  (в перший раз) або кнопки . Після початку обчислення внизу вікна FlowVision відображається вікно стану розрахунку під назвою "Ошибки", в якому надаються поточні параметри процесу.

У програмі є можливість змінювати більшість параметрів, не зупиняючи процес обчислення.

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Біосинтез біологічно активних речовин, які продуктуються мікроорганізмами, залежить від впливу різних факторів, таких як температура, рН середовища, вид культури, тривалість культивування, концентрація розчиненого кисню, конструкція та матеріал обладнання тощо. У кваліфікаційній роботі розглянуті окремі з цих факторів, які найбільше впливають на процес.

Зазначено, що для культивування аеробних мікроорганізмів потрібно забезпечити доставку кисню у відповідному обсязі у культуральну рідину. Важливим є також забезпечення ефективної циркуляції газової фази для створення однакових умов культивування у всіх шарах рідини.

Виявлено, що тиск подачі повітря в аератор має найбільший вплив на цей процес, і досліджувався в межах 0,15–0,25 МПа (див. рис. 3.1).

Одержані дані відповідають закону Генрі. При збільшенні тиску подачі газової фази від 0,15 до 0,25 МПа спостерігається інтенсифікація розчинення газової фази у рідкій. Для досягнення вирівнювання концентрації потрібно від 6 до 7 секунд відповідно (див. рис. 3.1).

Графічне відображення полів концентрацій у вигляді кольорової заливки (рис. 3.2 - рис. 3.4) ілюструє зміну цього показника з плином часу для різних граничних умов. Зазначено, що найбільш інтенсивні зміни відбуваються при вищому тиску серед розглянутих умов.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Дослідна частина та узагальнення результатів		221905.MP.11.003.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/

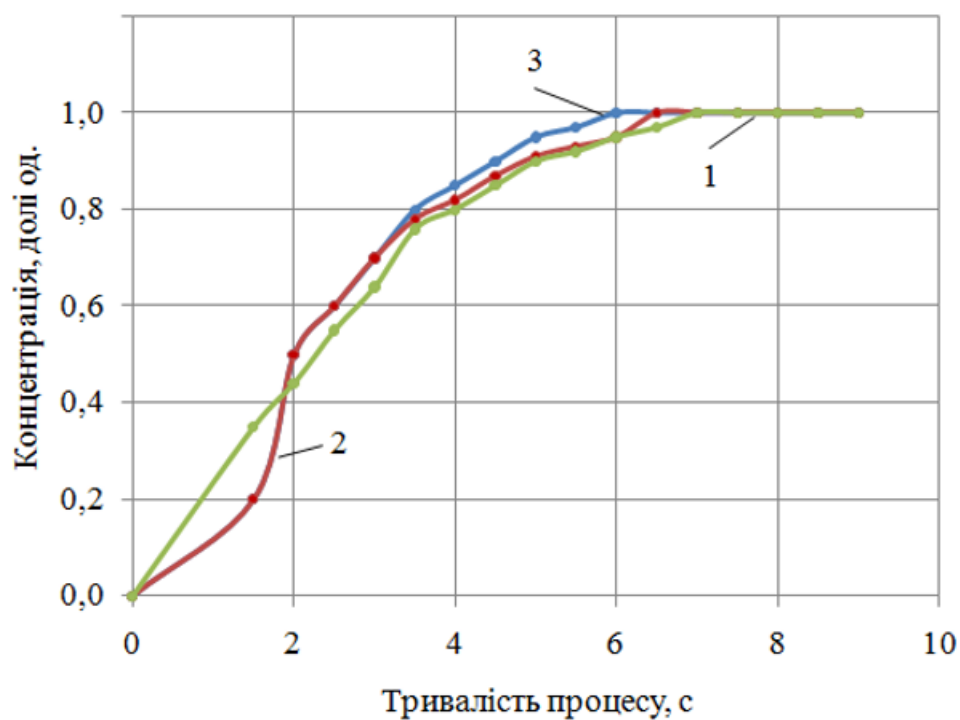
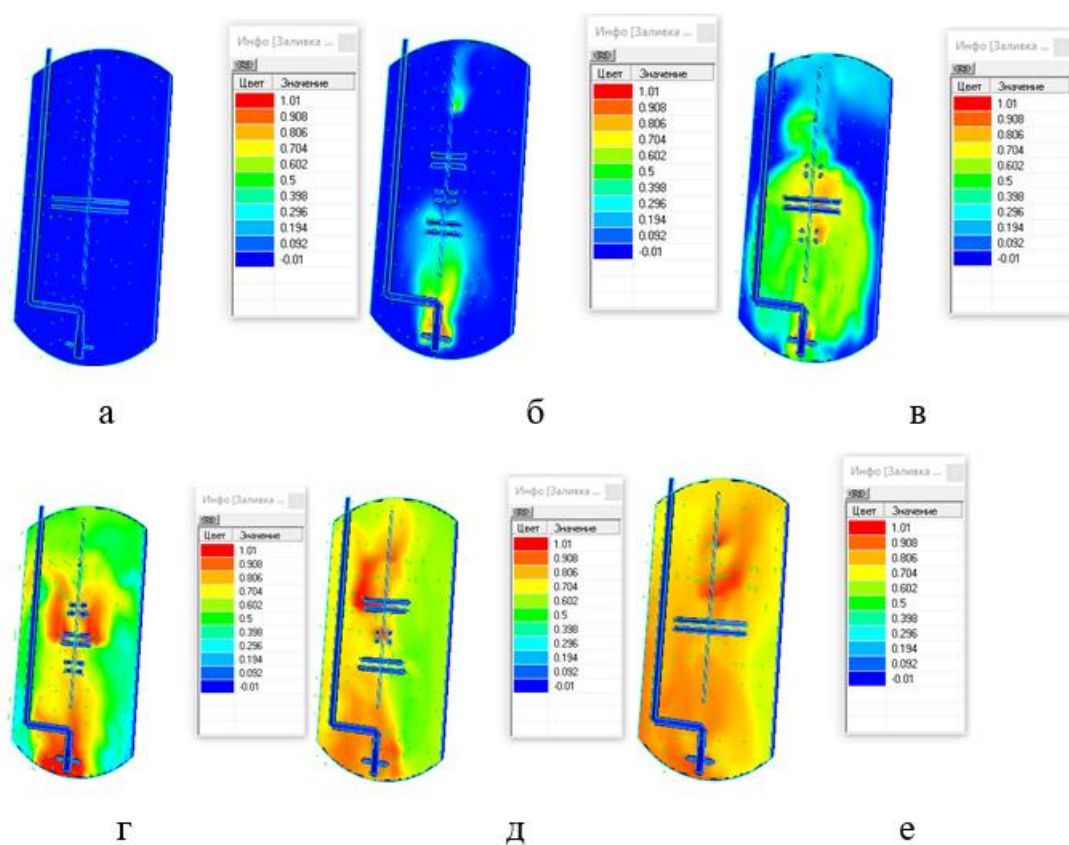


Рис.3.1. Зміна концентрації в часі при тиску подачі повітря в аератор,
МПа: 1 – 0,15, 2 – 0,2; 3 – 0,25



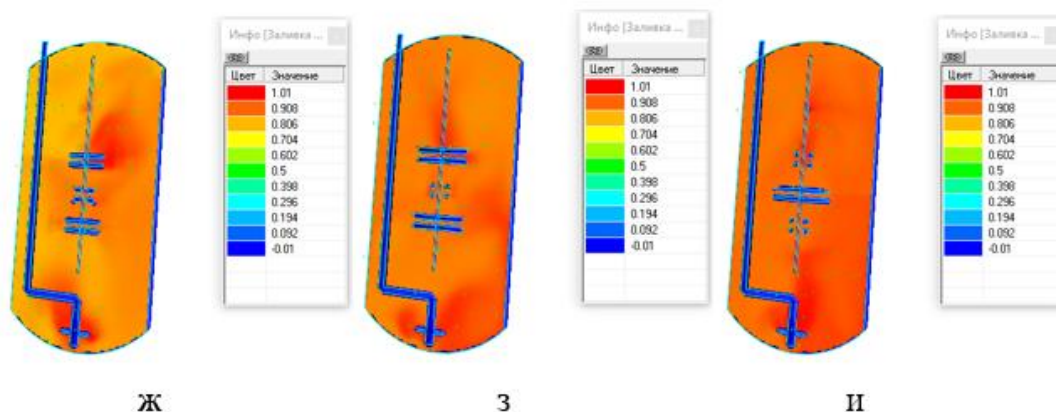
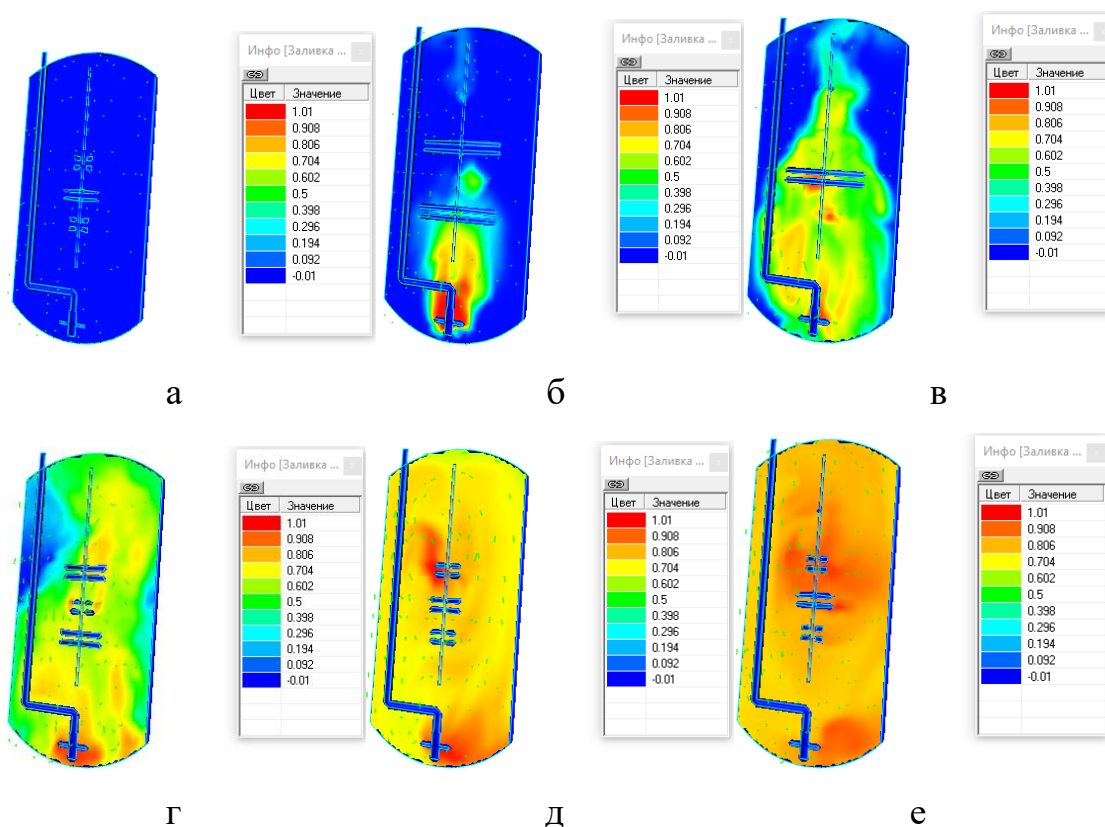


Рис. 3.2 Зміна концентрації по перерізу ферментатора при тиску подачі повітря в аератор 150000 Па в моменти часу, с: а – 0, б – 1,5, в – 2, г – 2,5, д – 3, е – 4, ж – 5, з – 6, и – 7

При подачі повітря в аератор під тиском 150000 Па можна спостерігати вирівнювання концентрації на сьомій секунді.



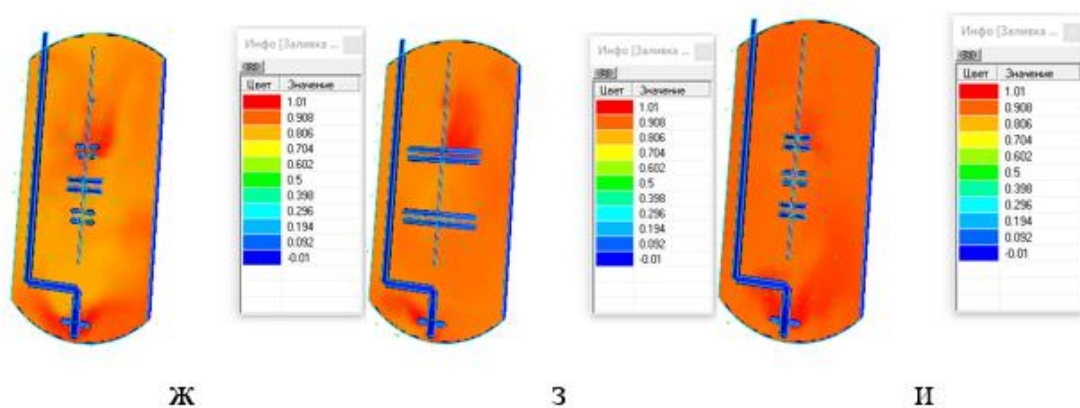
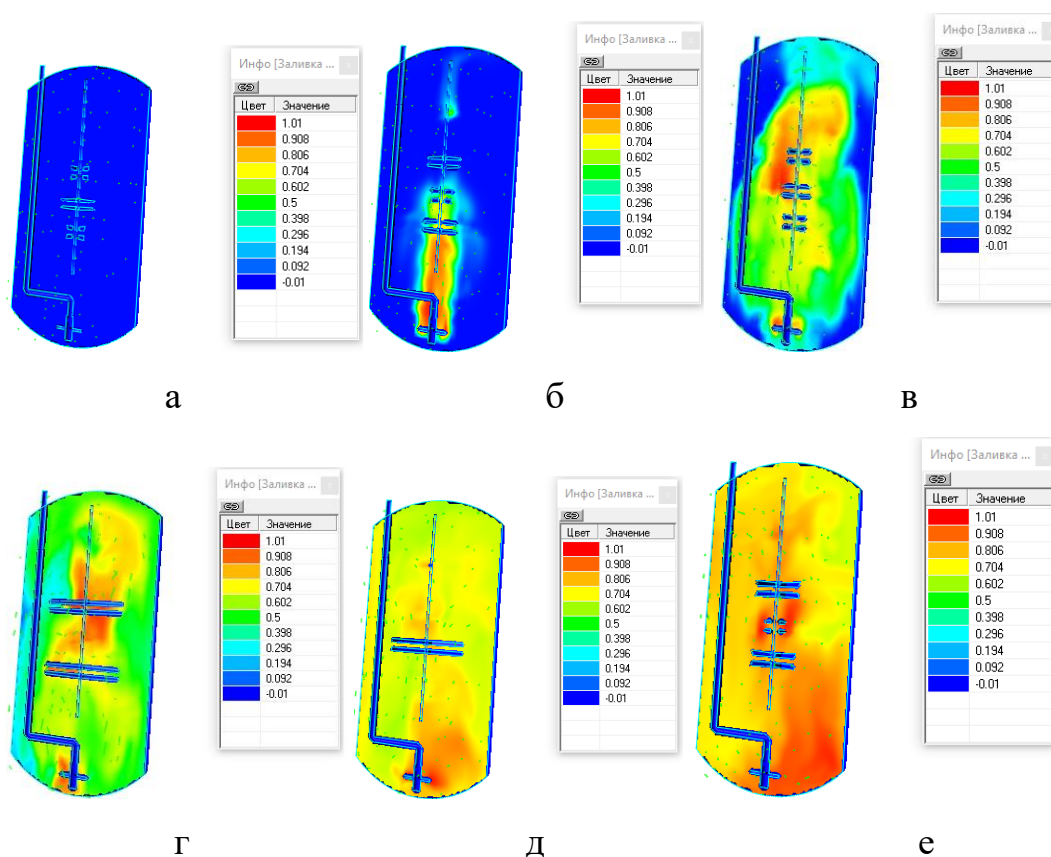


Рис. 3.3. Зміна концентрації по перерізу ферментатора при тиску подачі повітря в аератор 200000 Па в моменти часу, с:
а – 0, б – 1,5, в – 2, г – 2,5, д – 3, е – 3,5, ж – 4,5, з – 5,5, и – 6,5

При тиску 200000 Па відмічається стабілізація значення концентрації на 6,5 с.



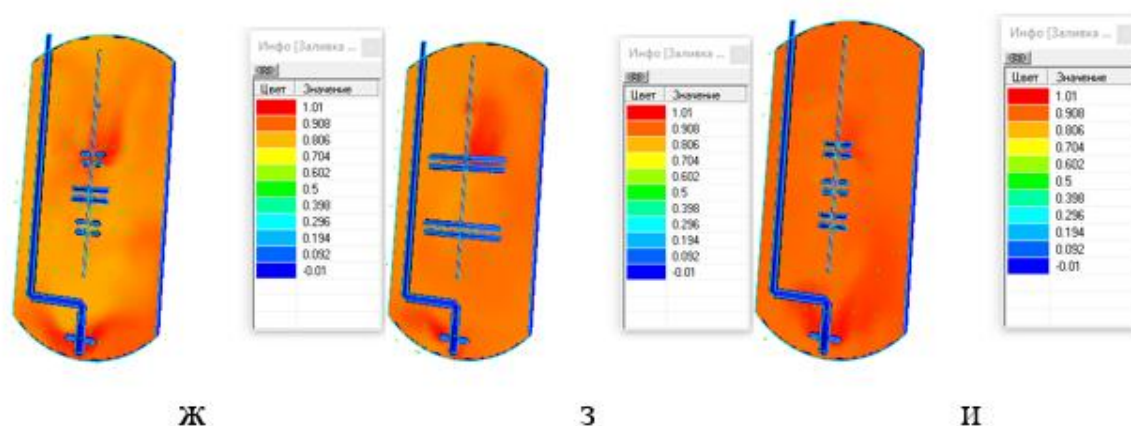


Рис. 3.3. Зміна концентрації по перерізу ферментатора при тиску подачі повітря в аератор 200000 Па в моменти часу, с:
а – 0, б – 1,5, в – 2, г – 2,5, д – 3, е – 3,5, ж – 4,5, з – 5,5, и – 6,5

Збільшення тиску подачі повітря в аератор до 250000 Па веде до вирівнювання концентрації на шостій секунді.

Отже збільшення тиску подачі повітря в аератор на 100 кПа призводить до інтенсифікації процесу вирівнювання концентрації компонентів на 15%.

Ферментатор обладнаний системою перемішування, завдання якої полягає не лише в утворенні потоків рідини та підвищенні ефективності відведення тепла, але й у додатковому керуванні рухом культуральної рідини. Через порожнистий вал та отвори в лопатях забезпечується подача повітря в середину ферментатора.

Найбільший вплив на цей процес здійснюється за допомогою регулювання частоти обертання перемішуючого пристрою. Зміна цієї частоти від 180 до 200 обертів в хвилину призводить до утворення циркуляційних контурів по всьому об'єму ферментатора (див. рис. 3.5) та дозволяє підтримувати зазначену температуру в його об'ємі.

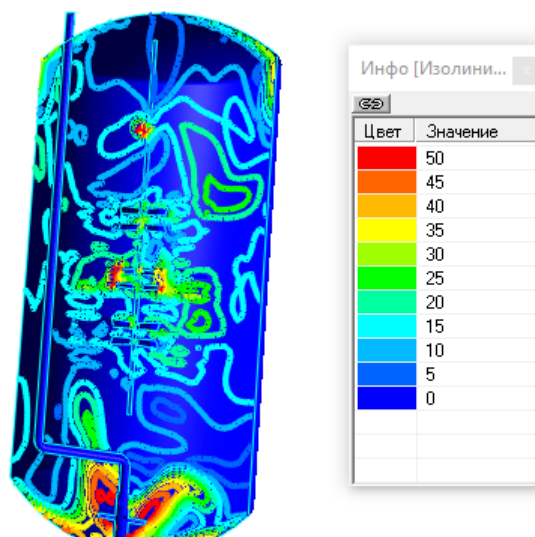


Рис 3.5. Поле швидкостей в об'ємі ферментатора у вигляді ізоліній

Як слідує з рис. 3.5, найвищі значення швидкостей спостерігаються в областях близько до місць виходу повітря з аератора в нижній частині ємності та з отворів перемішуючого пристрою.

Отже, можна визначити, що найбільше кількість циркуляційних контурів також формується в областях, що знаходяться поблизу цих елементів. Це переміщення потоків рідини в апараті створює сприятливі умови для усіх шарів рідини, розташованої в ферментаторі діаметром 6 м і об'ємом 100 м³.

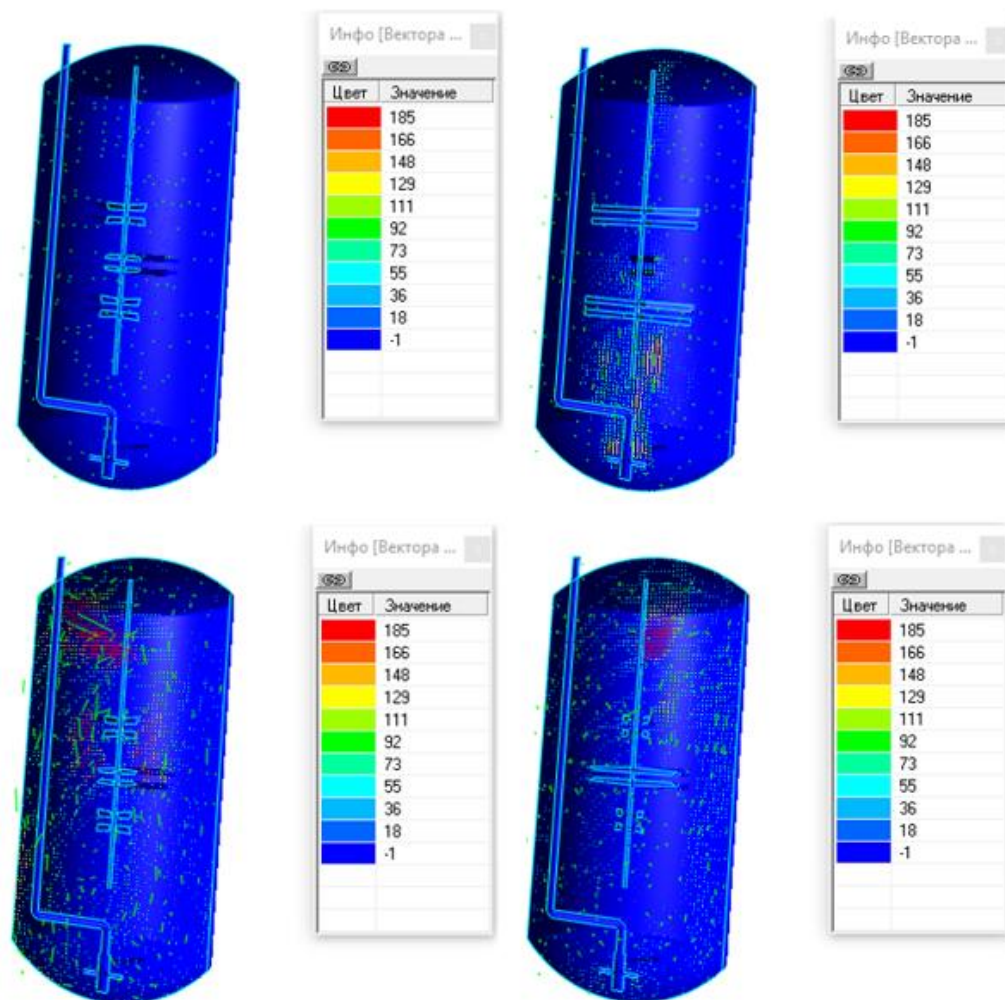


Рис. 3.6. Зміна швидкості по перерізу ферментатора у вигляді векторів швидкості

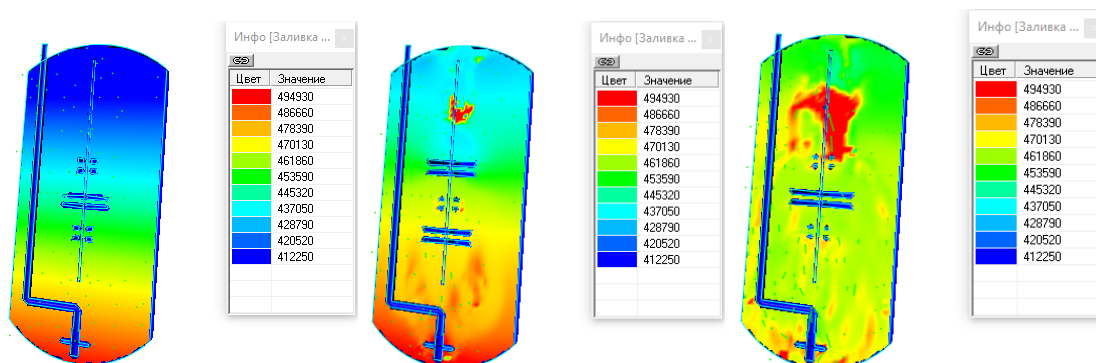
Зі збільшенням частоти обертання пристрою перемішування від 150 до 190 об/хв. спостерігається суттєве зростання швидкості культуральної рідини (рис. 3.7) на 30 %.

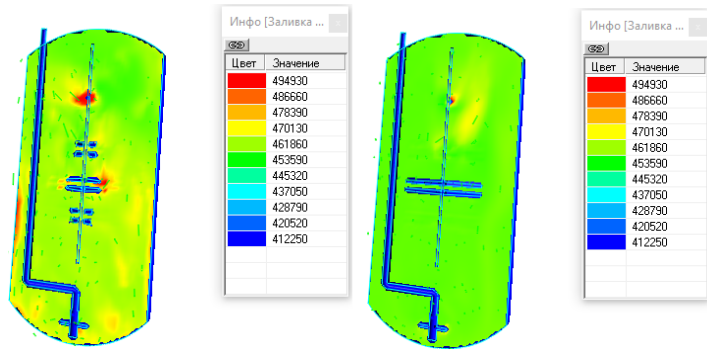


Рис. 3.7. Залежність швидкості руху середовища від частоти обертання пристрою перемішування

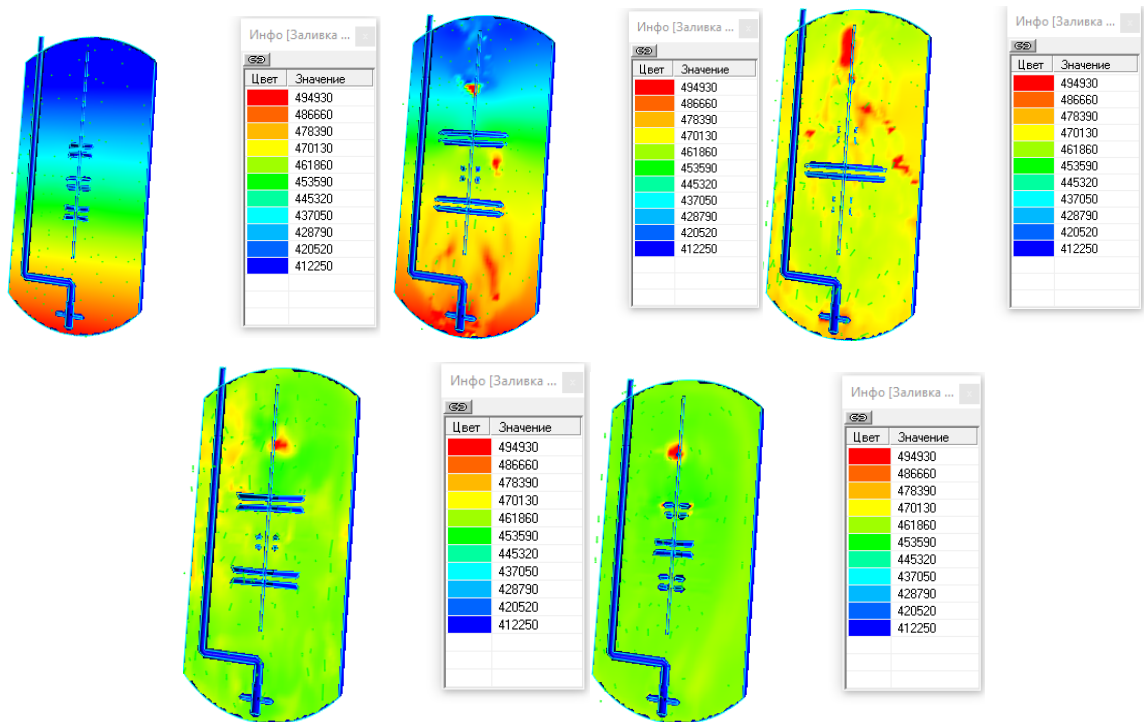
Важливо відзначити зміни тиску у ферментаторі (рис. 3.8), оскільки цей параметр впливає на швидкість росту мікроорганізмів.

На початкових етапах спостерігається найвищий тиск в нижній частині ферментатора, обумовлений гідростатичним тиском. Проте з розвитком процесу спостерігається поступове вирівнювання значень тиску в усьому об'ємі ферментатора. Особливо помітні області з підвищеним тиском в місцях введення повітря для аерування. Аналогічні закономірності спостерігаються для всіх трьох розглянутих значень тиску подачі повітря в аератор.

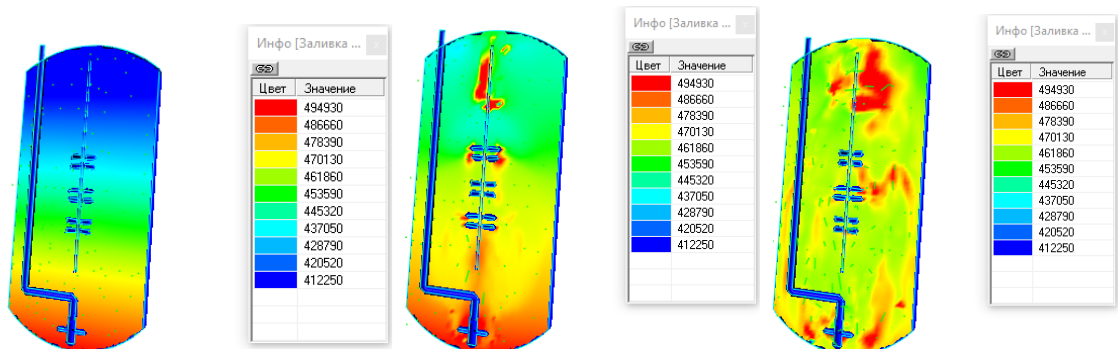




1



2



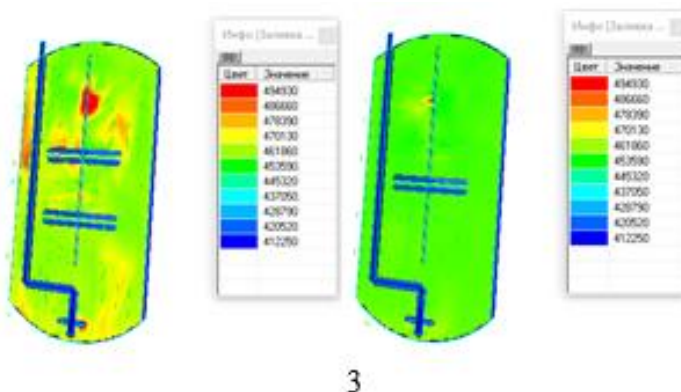


Рис. 3.8. Зміна тиску по перерізу ферментатора при тиску подачі повітря в аератор: 1 – 150000 Па, 2 – 20000Па, 3 – 25000 Па в моменти часу, с: а – 0, б – 1,5, в – 2, г – 2,5, д – 3

За будь-яких розглянутих тисках подачі повітря в аератор вирівнювання тиску відбувається за 3 секунди.

Ще одним надзвичайно важливим параметром, який впливає на культивування мікроорганізмів у ферментаторі, є температура. Внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів виникає значна кількість тепла. З метою запобігання підвищенню температури в об'ємі ферментатора, його оснащено зовнішньою оболонкою, в яку подається рідина при температурі 10 °С для охолодження.

За таких умов теплообміну температура найбільше зростає біля аератора і пристрою перемішування. Це відбувається не лише через виділення теплоти внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів, але й завдяки дисипації енергії в апараті – перетворенню частини механічної енергії в теплову. Однак завдяки зовнішньому охолодженню температура в об'ємі утримується на необхідному рівні для культивування мікроорганізмів – до 30 °С (рис. 3.9 – рис. 3.10).

Схожий сценарій спостерігається при використанні високих тисків подачі повітря в аератор (рис. 3.10).

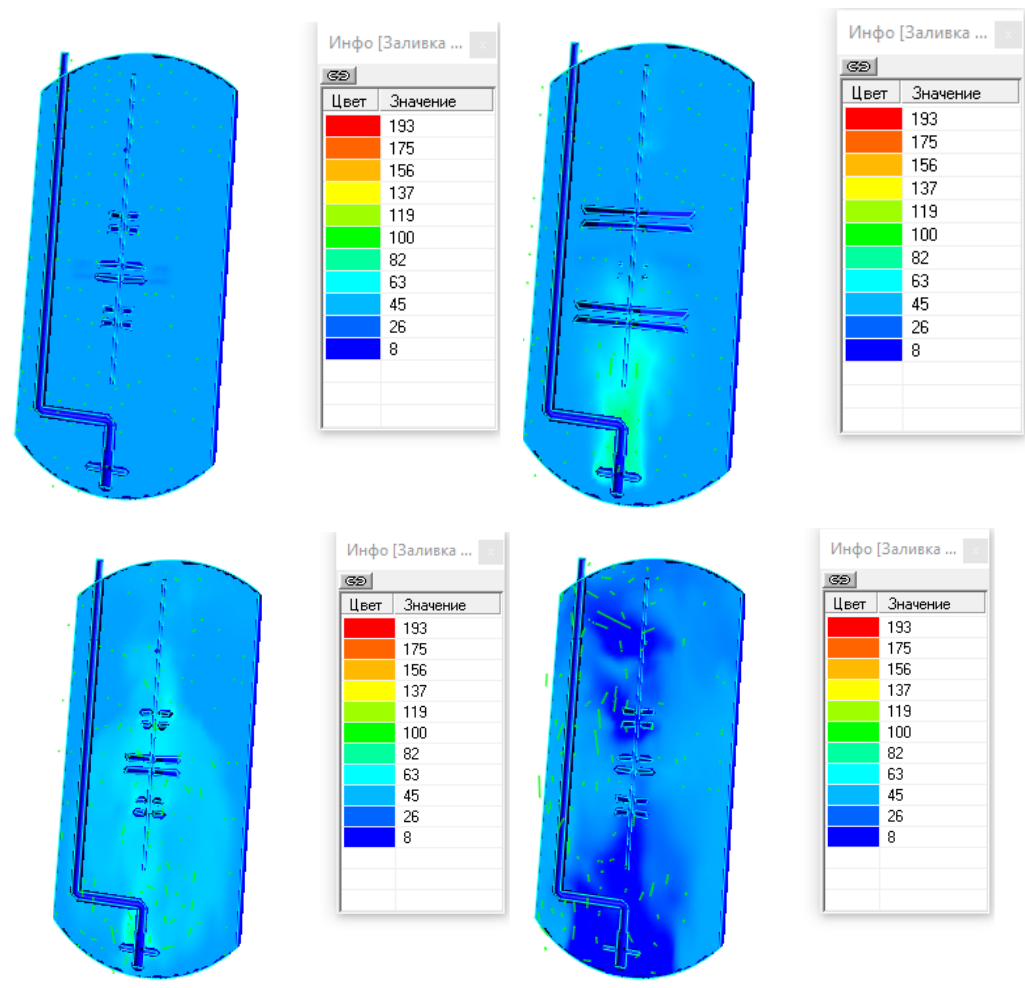
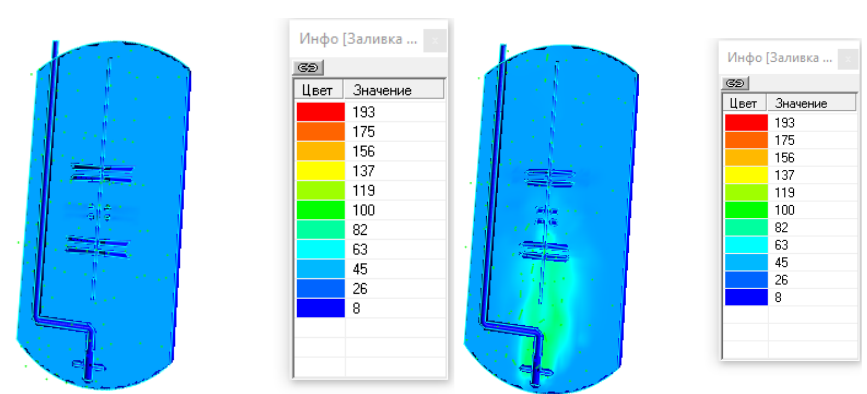


Рис. 3.9. Зміна температури по перерізу ферментатора при тиску подачі повітря в аератор 15000 Па



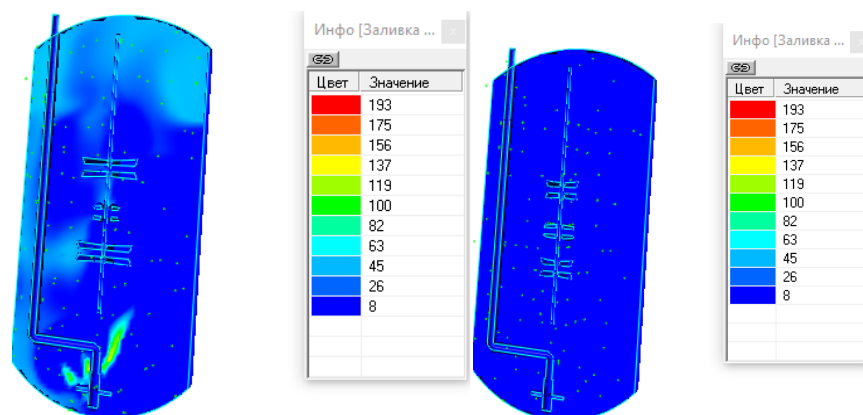


Рис. 3.10. Зміна температури по перерізу ферментатора при тиску подачі повітря в аератор 200000 Па

Отже, внесені зміни у конструкцію суттєво поліпшують умови культивування мікроорганізмів і забезпечують відповідність вимогам технологічного регламенту.

4. ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Досвід технічної мікробіології свідчить, що швидкість приросту біомаси або синтезу цільових речовин залежить, по-перше, від природних властивостей мікроорганізмів і, по-друге, від умов культурального середовища. Останні виступають як фактори впливу, що можуть бути модифіковані. З цього приводу бродильні процеси класифікуються на аеробні та анаеробні в залежності від наявності або відсутності розчиненого в середовищі кисню. Наприклад, технології синтезу хлібопекарських дріжджів є ілюстрацією до діапазонів і можливостей впливу, де ефективність залежить від наявності розчиненого кисню. Згідно з даними [4; 5], концентрації O₂ у розчині на рівні 25% від стану насичення рідинної фази вже не обмежують аеробний синтез, і утворення спирту припиняється з максимальним виходом мікробної культури. Проте, при взаємодії різних параметрів існує суперечність, пов'язана із вибором температури середовища. Оптимальний для дріжджів-цукроміцетів цей показник розташований у діапазоні температур 28...32°C. Однак розчинність кисню, так само як і інших газів, зменшується зі збільшенням температури. Крім того, кисень відноситься до газів з обмеженою розчинністю, що вимагає застосування спеціальних заходів в обладнанні та технологіях аерування культуральних середовищ.

Світові тенденції у розвитку аераційних систем представлені аераторами-диспергаторами. Основна концепція їх конструкції полягає в тому, що утворення міжфазної поверхні здійснюється на рухомій лопаті, яку інтенсивно обтікає рідинна фаза [6] (див. рис. 4.1).

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Обґрунтування модернізації	221905.MP.11.004.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

Зазвичай лопаті виготовляються з поздовжніми щілинами на задній частині, і ефект подрібнення газової фази залежить від швидкості обтікання їх культуральним середовищем. Така конструкція є більш складною порівняно з барботажною системою аерування, і ця складність в значній мірі пов'язана з експлуатаційними режимами. Запуск ротора у складі повітроводу, колектора і лопатей може здійснюватися через верхній привід за допомогою повітроводу, який, при цьому, виконує роль трубовалу. Значна довжина цього трубовалу висуває додаткові вимоги до виготовлення, монтажу та експлуатації. У випадку, коли привід розташований знизу, потрібно вирішувати завдання створення і експлуатації ущільнювальних вузлів, що в умовах низьких значень $pH = 2,8...4,0$ середовища є досить складним.

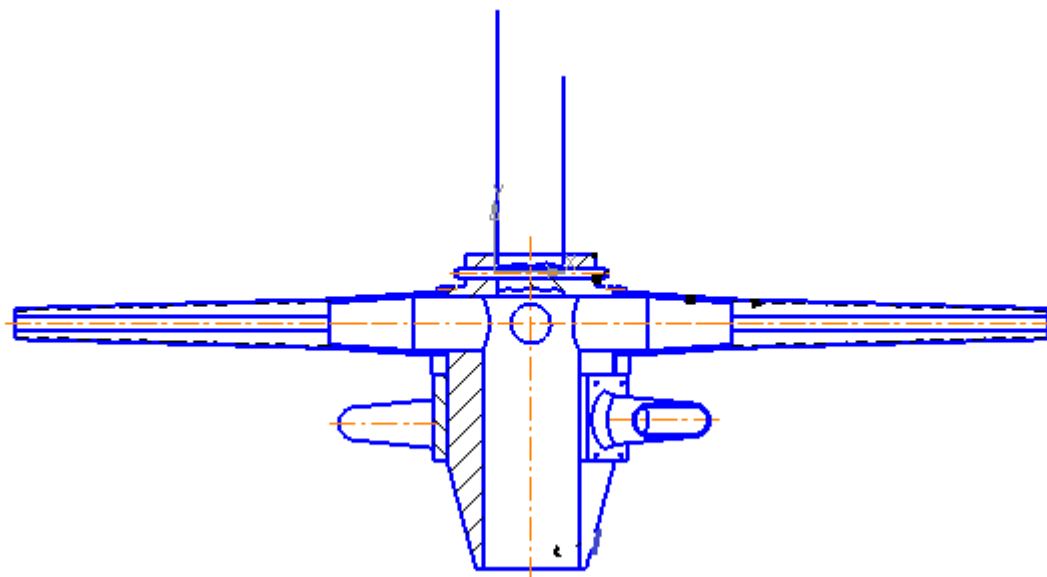


Рис.4.1. Аератор-диспергатор

Незважаючи на вказані недоліки, подібні апарати знайшли застосування в Україні та використовуються в промисловості. В умовах безвідбірних технологій через обмежений приріст біомаси (9...10%) досягаються концентрації дріжджів до 80 кг/м³. Але вказана величина погодинного приросту за корисного об'єму апаратів близько 70 м³ наближається до аналогічного показника апаратів з барботажною аераційною системою.

При оцінці, крім величини приросту біомаси на годину, враховується вихід готової продукції за сировину. Ця характеристика є загальним показником системи на рівні кисню. Підвищення концентрації кисню сприяє аеробному характеру синтезу біомаси, обмежуючи напрямок бродіння. Вихід по малясі, що переробляється, коливається від 60% до 90%, навіть при теоретичній вологості дріжджів 75%, що становить 110%.

Перехід хоча б до часткового анаеробного бродіння призводить до утворення етилового спирту, який активно видаляється газовою фазою і стає основною складовою технологічних втрат. З метою досягнення найкращих результатів, технологи зосереджуються на підтриманні мінімальної концентрації цукрів і максимального вмісту кисню. Це вимагає застосування чутливих методів визначення технологічних параметрів процесу і їх керування.

РОЗДІЛ 5. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Під час вирощування пліснявих грибів у рідких живильних середовищах застосовуються спеціальні апарати – ферментатори, в яких передбачено інтенсивне перемішування середовища, подача повітря для дихання мікроорганізмів і відведення біологічного тепла.

Конструкції ферментаторів повинні відповідати високим вимогам щодо герметичності, встановленим Держтехнаглядом. Зварювання швів повинно бути щільним і надійним. Вплив вологи на зварені шви під час гідравлічного випробування не допускається, тому що це може призвести до потрапляння інфекції в культуральне середовище. Потрібно також гарантувати щільність сальників робочого вала ферментатора, прокладок, люків і фланцевих з'єднань. Апарати виготовляють із нержавіючої або двошарової сталі.

Додатково, важливо звертати увагу на ефективну систему вентиляції та теплорегуляції для забезпечення оптимальних умов для росту грибів у ферментаторі. Гідравлічне випробування рекомендується перед застосуванням для перевірки герметичності та стійкості ферментатора до тиску. Загальна мета полягає в забезпеченні стабільних та гігієнічних умов для культивування пліснявих грибів, а висока якість та безпека ферментаторів грає ключову роль у цьому процесі.

Щоб уникнути потрапляння інфекції в апарат під час вирощування культури, необхідно підтримувати надлишковий тиск під кришкою апарату на рівні 0,15-0,25 кГ/см² під час роботи. При виборі повітродувної машини для подачі повітря на аерування культури обов'язково слід враховувати надлишковий тиск, необхідний для запобігання потрапленню інфекції в апарат під час вирощування. На Рис. 5.1 представлена конструкція

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Будова та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування		221905.MP.11.005.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/5

ферментатора з променевим аератором об'ємом, розробленого в ВНІФСі. Корпус ферментатора є вертикальним циліндричним з еліптичним днищем (згідно з ГОСТ 6533-53). У корпусі обертається вал з двоступеневою турбінною мішалкою зі швидкістю 180 обертів на хвилину. Вал приводиться в рух за допомогою електродвигуна (тип АО72-6).

На валу розташований корпус аератора (рис. 5.2), до якого кріплять два ряди променів (по 4 в кожному ряду) за допомогою болтів. Кожен промінь має порожню лопать завдовжки 400 мм. Лобова частина променя має закруглення, а протилежна обладнана щілиною, через яку повітря під тиском подається в рідину, що перемішується. Подача повітря в аератор відбувається під тиском.

Зовнішній корпус ферментатора має обтічну оболонку, яка використовується для подачі води для відведення тепла, що виділяється розвиваючоюся культурою. Контроль і регулювання температури середовища здійснюються за допомогою датчика температури, розташованого на гільзі №14.

Схематичне зображення конструкції валу з мішалкою зображено на Рис. 5.2.

Мішалка представляє собою диск, який надівається на вал, що обертається. На валу закріплені 6 лопатей з профілем, які забезпечують розділення рідини.

Барботер (Рис. 5.3) є кільцевим трубопроводом діаметром 680 мм, до якого приєднані 12 прямих труб-промінів (довжина 630 мм, діаметр 32х3 мм), розташованих по радіусах. Кожен промінь містить 100 отворів діаметром 1,5 мм, розташованих на нижній частині утворювальної по радіусу площини, що утворюють кут до вертикалі. Для запобігання застоювання рідини в барботері, променеві труби забезпечені кріпленням, орієнтованим по дотичній до кільцевого трубопроводу.

Технічна характеристика ферментатора з аератором, що обертається:

Загальний об'єм, м ³	100
Висота апарата, мм	7542
Внутрішній діаметр, мм	4560
Висота циліндричної частини, мм	5182
Робочий тиск, МПа	0.4

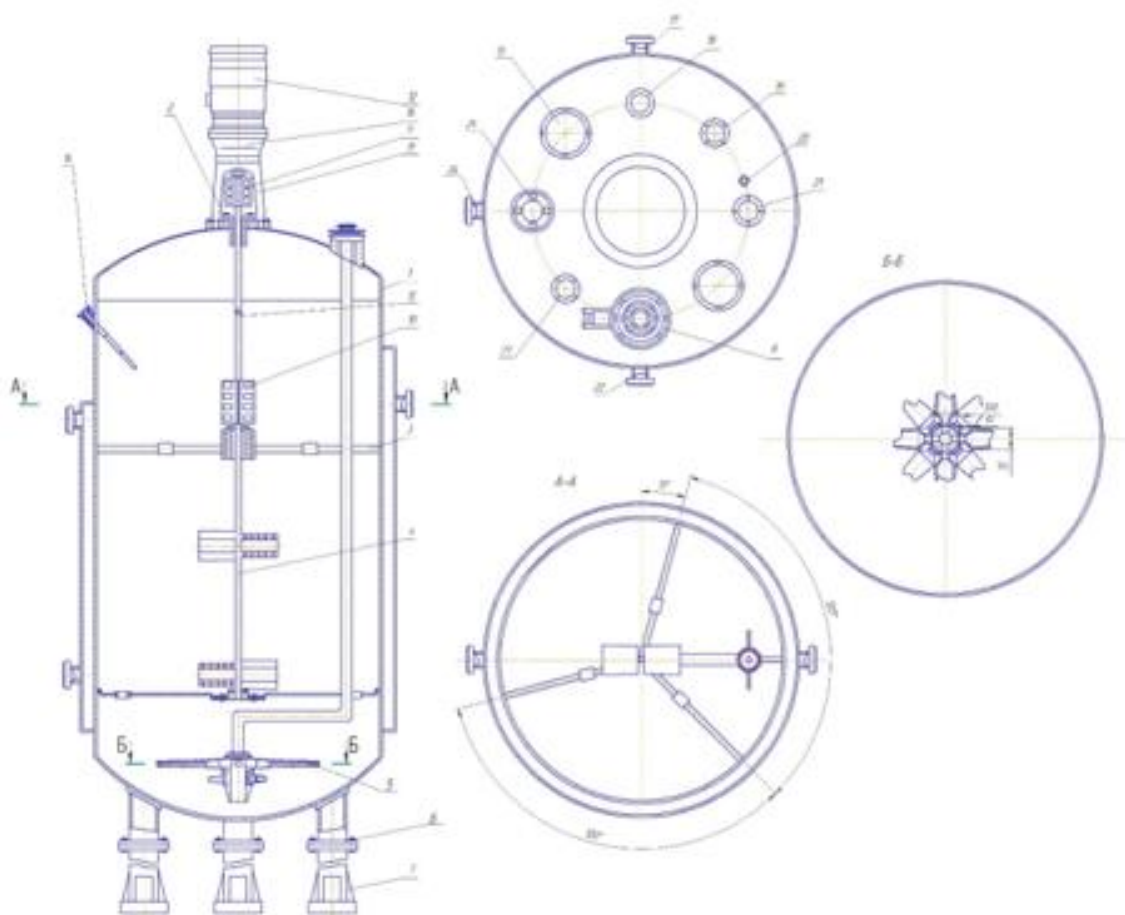


Рис. 5.1 Ферментатор з турбінною мішалкою і барботером: 1 - корпус; 2 – сальник; 3 – тяги; 4 – вал з мішалкою; 5 – аератор променевий; 6 – підп'ятник; 7 – стійка; 8 – лаз; 9, 10 – муфти; 11 – стійка; 12 – електродвигун; 13 – оглядове вікно; 14 – гільза для термометра; 15 – проміжний вал; 16 – редуктор; 17, 18, 19 – штуцера для виходу води, для гільзи термометра та для наповнення; 20, 21 та 22 – штуцера для загрузки посівного середовища, для барботера і для подачі води; 23, 24 та 25 – штуцера для манометра, відбору проби та виходу повітря.

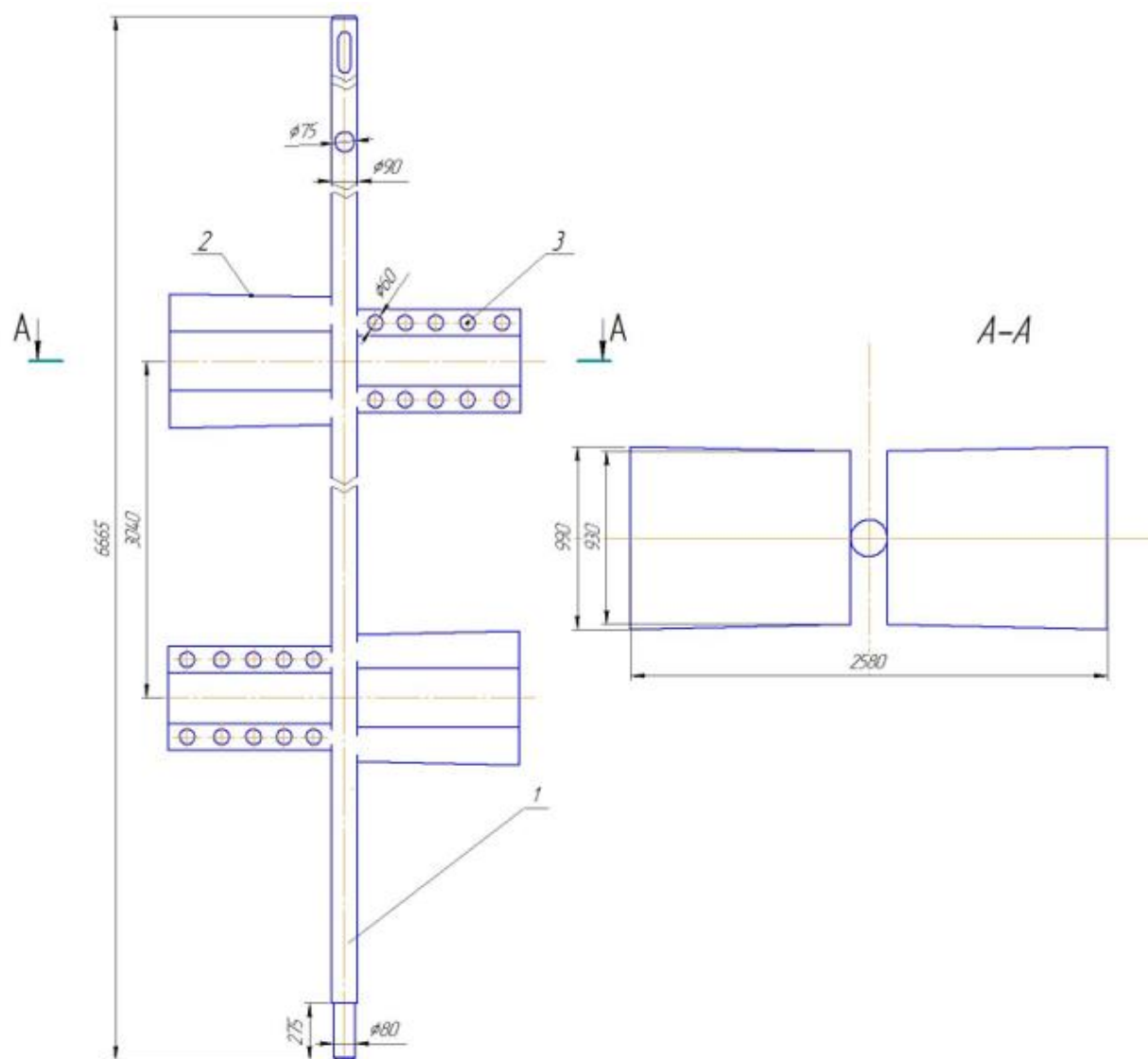


Рис. 5.2 Вал з мішалками ферментатора: 1 – вал; 2 - лопать; 3 – повітровод

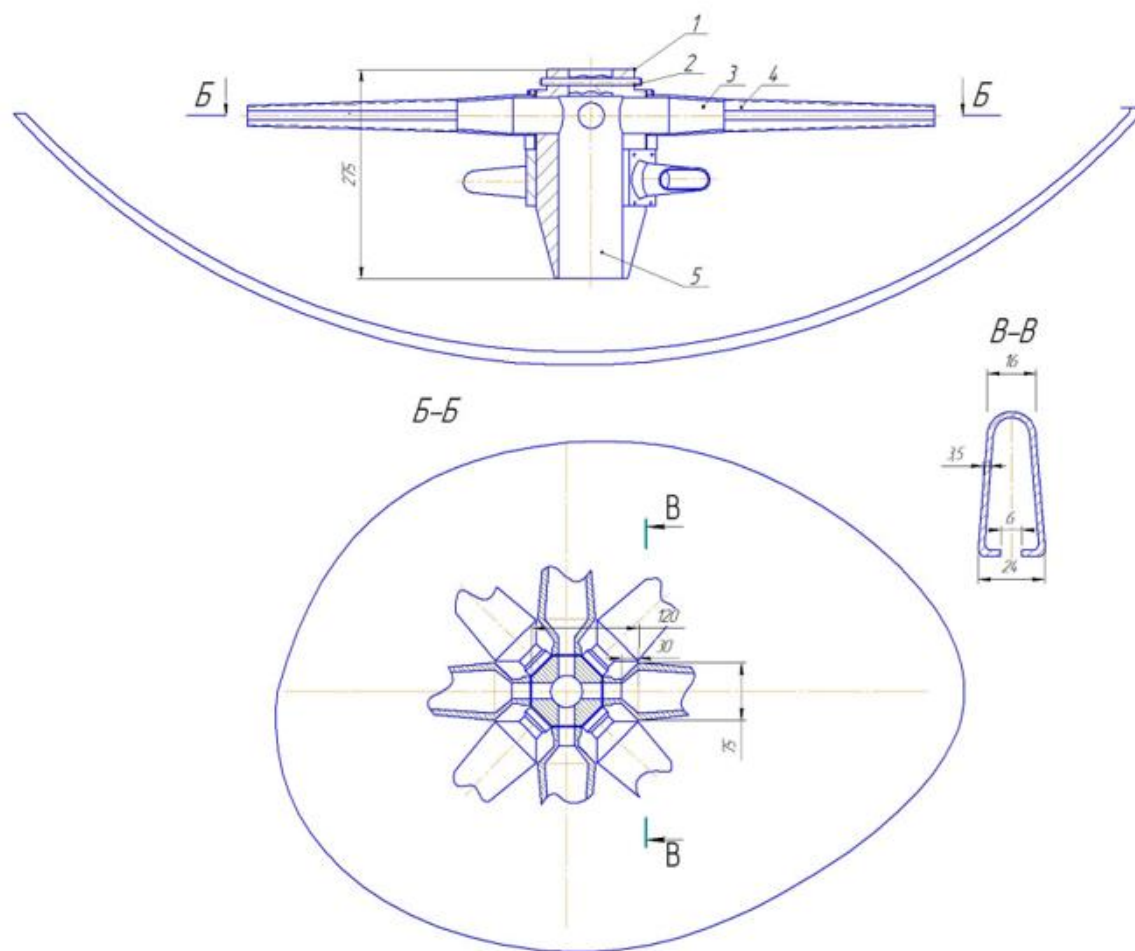


Рис. 5.3 Аератор променевий

1 – корпус; 2 – штифт; 3 – перехідний патрубкок; 4 – аеруючий промінь;
5 – труба подавання повітря;

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Загальний об'єм ферментатора дорівнює $V_{заг} = 100 м^3$

Об'ємна маса $\rho = 1065 \frac{кг}{м^3}$

Динамічна в'язкість $\mu = 0,00153 \frac{Н \cdot с}{м^2}$ або

$$\mu = \frac{0,00153}{9,81} = 0,000156 \frac{кг \cdot с}{м^2}$$

Теплоємність $c = 4186 \frac{Дж}{(кг \cdot град)}$

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

Робочий тиск при стерилізації паром 0,4МПа

Коефіцієнт заповнення $\phi = 0,7$.

Робочий об'єм апарата визначається як:

$$V_p = V_{заг} \cdot \phi = 100 \cdot 0,7 = 70 м^3$$

Розрахуємо геометричні розміри ферментатора:

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

$$h = 60 мм, h_1 = 10 мм, d = 40 мм$$

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

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

$$\frac{3 \cdot \pi \cdot d^3}{8} + \frac{\pi \cdot d^3}{8} = 100$$

$$3 \cdot \pi \cdot d^3 + \pi \cdot d^3 = 1200$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{300}{3,14}} = 4,56 м$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка			Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина	221905.МР.11.006.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/18	

Внутрішній діаметр апарата буде дорівнювати $D_{\text{вн}} = 4560 \text{ мм}$

Еліптичне днище апарату такого діаметру має наступні показники: внутрішній діаметр $D_{\text{вн}} = 4560 \text{ мм}$; ємність днища $V_{\text{дн}} = 11,13 \text{ м}^3$; висота еліптичної частини $h_B = 1140 \text{ мм}$; висота відбортовки $h = 40 \text{ мм}$; внутрішня поверхня $F = 20 \text{ м}^2$; товщина стінки днища $S = 12 \text{ мм}$.

Згідно ГОСТ 6533-53 приймаємо співвідношення:

$$h_B = 0,25 \cdot D_{\text{вн}} = 0,25 \cdot 4560 = 1140 \text{ мм};$$

$$h \geq 2 \cdot S$$

$$1140 \geq 24$$

Повний об'єм ферментатора дорівнює:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{ц}} + 2 \cdot V_{\text{дн}} = 100 \text{ м}^3$$

де $V_{\text{дн}}$ - об'єм еліптичного днища; $V_{\text{дн}} = 11,13 \text{ м}^3$

Висота циліндричної частини ферментатора дорівнює:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{заг}} - 2 \cdot V_{\text{дн}}}{F} = \frac{100 - 2 \cdot 11,13}{15} = 5,182 \text{ м}$$

де F – площа перерізу апарату по внутрішньому діаметру:

$$F = 0,785 \cdot D_{\text{вн}}^2 = 0,785 \cdot 4,56^2 = 15 \text{ м}^2$$

Загальна висота ферментатора дорівнює:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot (h_B + h) = 5,182 + 2(1,14 + 0,04) = 7,545 \text{ м}$$

Розрахунок ферментатора на міцність

Після кожного циклу вирощування культури ферментатор миють та стерилізують відкритою парою при підвищеному тиском. $p = 0,4 \text{ МПа}$ ($t_{\text{нас}} = 142,9^\circ \text{C}$). У зв'язку з цим його елементи розраховують на механічну міцність згідно нормам Держтехнагляду.

Визначаємо товщину стінки S циліндричної обічайки:

$$S_{\text{ц}} = \frac{p \cdot D_{\text{вн}}}{230 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{дон}} - p} + C = \frac{4 \cdot 4560}{230 \cdot 0,9 \cdot 11,7 - 4} + 3 = 7,54 \text{ мм} = 0,00754 \text{ м}$$

Для одержання міцного зварного шва на стику з днищем з товщиною стінки 12мм приймаємо $S_{ц} = 10\text{мм}$.

Гідравлічне випробування ферментатора відповідно до норм Держгортехнагляду має виконуватись при тиску:

$$p_{Г} = p_p + 2 = 4 + 2 = 6 \text{ кгс/см}^2 \text{ або } p_{Г} = 6 \cdot 0,0981 = 0,5886 \text{ МПа}$$

При вимірюванні тиску варто враховувати гідростатичний тиск, який виникає від стовпа рідини, що знаходиться в апараті під час випробування. Гідравлічний тиск, що випробовується при висоті стовпця рідини $H_{Ж} = 6,2\text{м}$.

$$p_u = p_{Г} + p_{Ж} = 5 + 0,62 = 5,62 \text{ кгс/см}^2$$

$$\text{або } p_u = 5,62 \cdot 0,0981 = 0,555 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск стовпця рідини дорівнює:

$$p_{Ж} = 0,1 \cdot H_{Ж} = 0,1 \cdot 6,2 = 0,62 \text{ кгс/см}^2 = 0,061 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження матеріалу при гідравлічному випробуванні апарату має задовольняти умові:

$$\sigma = \frac{[4,56 + (0,01 - 0,003)] \cdot 0,649}{2 \cdot (0,01 - 0,003) \cdot 0,9} = 35,53 \text{ МПа},$$

$$\text{що менше } \frac{196,2}{1,2} = 163,5 \text{ МПа} > 35,53 \text{ МПа}$$

З цього випливає, що при гідравлічному випробуванні не пошкоджується міцність стінки ферментатора.

Визначимо товщину стінки еліптичних днищ:

$$S_{ц} = \frac{4,560 \cdot 0,4}{4 \cdot 0,087 \cdot 115 \cdot 1 - 0,4} \cdot \frac{4,560}{2 \cdot 1,14} + 0,005 = 9,7\text{мм} = 0,0097\text{м}$$

Безрозмірний коефіцієнт, що враховує послаблення днища отвором найбільшого діаметра дорівнює:

$$K = 1 - \frac{d}{D_{6H}} = 1 - \frac{400}{4560} = 0,87$$

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

Згідно ГОСТ 6533-53 еліптичні днища з внутрішнім діаметром $D_{\text{вн}} = 4560 \text{ мм}$ прийняті з мінімальною товщиною стінки 12 мм. Тому приймаємо товщину стінки днища $S_{\text{дн}} = 12 \text{ мм}$. Остаточну товщину циліндричної стінки $S_{\text{ц}}$ ферментатора приймаємо з урахуванням забезпечення жорсткості конструкції $S_{\text{ц}} = 10 \text{ мм}$.

В днищі та циліндричній частині ферментатора є отвори, які не укріплюють накладками, відбортовкою та ін.

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

$$d_{\text{ц}} = 8,1 \cdot \sqrt[3]{D_{\text{вн}} \cdot (S_{\text{ц}} - C_{\text{ц}})(1 - K)} = 8,1 \cdot \sqrt[3]{4560(10 - 3)(1 - 0,242)} \\ = 234,3 \text{ мм}$$

Визначаємо коефіцієнт K :

$$K = \frac{D_{\text{вн}} \cdot p}{(230 \cdot \sigma_{\text{дон}} - p)(S_{\text{ц}} - C_{\text{ц}})} = \frac{4560 \cdot 0,4}{(230 \cdot 11,7 - 0,4)(10 - 3)} = 0,242$$

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

У циліндричному корпусі ферментатора всі отвори мають діаметр менший 174 мм; з цього можна зробити висновок, що такий діаметр отвору можна і не укріплювати. Визначимо найбільший допустимий діаметр неукріплених отворів в днищах:

$$d_{\text{дн}} = 0,95 \cdot D_{\text{вн}}(1 - K) = 0,95 \cdot 4560(1 - 0,1114) = 3849,42 \text{ мм}$$

Значення коефіцієнта $\hat{E}_1$ буде дорівнювати:

$$K_1 = \frac{p}{400 \cdot \sigma_{\text{дон}}} \cdot \left[\frac{D_{\text{вн}}}{(S_{\text{дн}} - C_{\text{дн}})} \cdot \frac{D_{\text{вн}}}{2 \cdot h_B} - 1 \right] = \frac{0,4}{400 \cdot 11,7} \left[\frac{4560^2}{(12 - 5) \cdot 2 \cdot 1140} - 1 \right] \\ = 0,1114$$

Розрахунок корпусу ферментатора на зовнішній тиск

Для відведення тепла, яке виділяється культурою під час розмноження мікроорганізмів, вода підводиться під тиском до сорочки апарату. Слід обов'язково враховувати, що під тиском корпус може деформуватися.

Проведемо перевірочний розрахунок міцності корпусу апарату для ферментування на стійкість до деформацій.

Робочий тиск води в сорочці $p = 0,0981 \text{ МПа}$ має бути менший критичного тиску $p_{кр}$, при якому циліндрична форма ферментатора стає нестійкою і апарат деформується. Запас стійкості форми апарату для вертикальних циліндрів приймаємо чотирикратним. При робочому надлишковому тиску в сорочці $0,0981 \cdot p_{кр} = 0,0981 \cdot 4 = 0,3924 \text{ кг/см}^2$.

Товщина стінки посудини, що піддається зовнішньому тиску, дорівнює:

$$S = r \cdot \sqrt[3]{\frac{p_{кр} \cdot 4 \cdot (1 - \mu^2)}{E}} = 229,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3924 \cdot 4 \cdot (1 - 0,3^2)}{21000000}} = 2 \text{ см}$$

де r – середній діаметр циліндра;

$$r = \frac{D_{вн} + 2S}{2} = \frac{458,4}{2} = 229,2 \text{ см}; E = 2,1 \text{ МПа} - \text{модуль пружності вуглецевої сталі};$$

$\mu = 0,3$ - коефіцієнт Пуассона.

Отже прийнята товщина стінки $S=1 \text{ см}$ не здатна забезпечити стійкість форми, саме тому прийmemo $S=2 \text{ см}$.

Розрахунок зовнішньої стінки сорочки ферментатора

Визначимо товщину сорочки ферментатора за формулою:

$$S = \frac{pD}{230 \cdot \sigma_{дон} \cdot \phi - p} + C = \frac{0,0981 \cdot 4610}{2,3 \cdot 115 \cdot 0,9 - 0,0981} + 3 = 1,9 \text{ мм} = 0,0019 \text{ м}$$

де D – внутрішній діаметр сорочки; $D=4610 \text{ мм}$.

Для забезпечення жорсткості конструкції приймаємо $S=6 \text{ мм}$.

Знайдемо напруження на стінки сорочки при гідравлічному випробуванні. Пробний гідравлічний тиск для апарату, що працює під надлишковим тиском до $0,49 \text{ МПа}$, $p_{г} = 1,25 \cdot p_p$, але не менше $0,1962 \text{ МПа}$.

З врахуванням стовпця рідини розрахунковий тиск буде дорівнювати:

$$p_u = p_{г} + p_{ж} = 0,1962 + 0,32 = 0,2282 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск стовпця рідини визначається:

$$p_{\text{ж}} = 0,1 \cdot H_{\text{ж}} = 0,1 \cdot 3,3 = 0,33 \text{ кгс/см}^2 = 0,032 \text{ МПа},$$

де $H_{\text{ж}} = 3,3 \text{ м}$ - висота стовпця рідини.

Допустиме напруження при гідравлічному випробовуванні має задовільняти умові:

$$\sigma = \frac{[D_{\text{вн}} + (S - C)] \cdot p_u}{2(S - C) \cdot \phi} \leq \frac{\sigma_T}{1,2}$$

де $S = 0,6 \text{ см}$ – товщина стінки; $\sigma_T = 235,44 \text{ МПа}$ - межа текучості сталі.

Підставивши числові значення одержимо:

$$\sigma = \frac{[4,61 + (0,006 - 0,003)] \cdot 0,2282}{2(0,006 - 0,003) \cdot 0,9} = 194,94 \text{ МПа}$$

$$\text{Таким чином} \quad \sigma < \frac{235,44}{1,2} = 196,2 > 194,94 \text{ МПа}$$

Можна зробити висновок, що гідравлічне випробування не призведе до пошкоджень механічної стійкості стінок ферментатора.

Розрахунок механічної мішалки ферментатора

Для перемішування середовищ в ферментаторах рекомендують застосовувати мішалки, діаметр якої згідно нормалі $d_M = (0,3 - 0,33) \cdot D_{\text{вн}} = 0,3 \cdot 4560 = 1368 \text{ мм}$. Приймаємо $d_M = 1370 \text{ мм}$. Для більш ефективного перемішування приймаємо шестилопатеву турбінну мішалку діаметром $d_M = 1370 \text{ мм}$.

Для перемішування середовища в'язкістю $\mu = 0,00133 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$ з рекомендованою коловою швидкістю мішалки $\omega = 7 \text{ м/с}$.

Кількість обертів мішалки визначається:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_M} = \frac{7}{3,14 \cdot 1,22} = 1,83 \text{ об/с}$$

$$\text{Приймаємо } n = 2 \text{ об/с} = 120 \text{ об/хв}$$

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

$$N_M = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5 = 2,53 \cdot 1065 \cdot 2^3 \cdot 1,22^5 = 58,258 \cdot 10^3 Bm$$

де $\rho_c = 1065 \text{ кг/м}^3$ - щільність середовища; n і d_M - кількість обертів та діаметр мішалки.

Критерій потужності K_N залежить від інтенсивності перемішування, що характеризується критерієм Рейнольдса: $K_N = f(Re_{II})$.

Критерій Рейнольдса дорівнює:

$$Re_{II} = \frac{\rho_c n d_M^2}{\mu_c} = \frac{108,5 \cdot 2 \cdot 1,22^2}{0,000156} = 2070402,564$$

З графіку нормалі:

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

$$K_N = \frac{1}{\left(\frac{g}{n^2 \cdot d_M} \right)^m} = \frac{1}{\left(\frac{9,81}{2^2 \cdot 1,22} \right)^{-0,133}} = 2,53$$

Визначаємо показник m :

$$m = \frac{a - \lg Re_{II}}{b} = \frac{1 - \lg 2070402,564}{40} = -0,133$$

де коефіцієнти $a=1$ та $b=40$ (рис 71).

Розрахункова потужність на валу мішалки:

$$N_p = K_1 \cdot K_2 \left(\sum K + 1 \right) N_M = 1,02 \cdot 1,1 \cdot (2,15 + 1) \cdot 58,258 = 205,9 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення апарату середовищем:

$$K_1 = \frac{H_{Ж}}{D_{вн}} = \frac{4,65}{4,56} = 1,02$$

де $H_{\text{ж}}$ - висота шару рідини, яка перемішується. Для турбінних мішалок висота дорівнює $H_{\text{ж}} = 0,75 H_{\text{АП}} = 0,75 \cdot 6,2 = 4,65 \text{ м}$ ($H_{\text{АП}} = 6,2 \text{ м}$ - висота апарата).

Для запобігання викиду піни приймаємо $H_{\text{ж}} = 4 \text{ м}$.

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

Чотири відбиваючі перегородки шириною $0,08d_{\text{ен}}$ розміщені біля стінок апарату до напрямку радіусів, враховують коефіцієнтом $K_{\Pi} = 1,5$. Додаткова мішалка з таким розміром, що і основна, враховується коефіцієнтом $K_M = 0,35$. Труба для підводу повітря $K_{TP} = 0,2$; гільза для термометра $K_{Г} = 0,1$. Таким чином суму коефіцієнтів $\sum K$, які враховують збільшення потужності, що використовується, визначаємо:

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

Розраховуємо потужність, яка потрібна на подолання тертя в сальнику вала:

$$N_C = 2n \cdot d_{\text{в}}^2 \cdot S_C \cdot p \cdot \left(e^{0,1 \frac{h_C}{S_C}} - 1 \right) = 2 \cdot 2 \cdot 0,08^2 \cdot 0,012 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \left(e^{0,1 \frac{0,072}{0,012}} - 1 \right) = 100,12 \text{ KBm}$$

де n і $d_{\text{в}}$ - число обертів і діаметр вала: $n = 206/\text{с}$ та $d_{\text{в}} = 0,08 \text{ м}$; p - робочий тиск повітря в апараті над рівнем рідини: $p = 0,4 \text{ МПа}$; S_C - товщина набивки

сальника: $S_C = 0,012 \text{ м}$; h_C - висота набивки сальника: $h_C = (6 - 7)S_C$

При визначенні N_C рекомендується приймати $p \leq 0,00981 \text{ МПа}$ через можливе підвищення тиску поверх прийнятого при нормальних умовах експлуатації. Для визначення N_C приймаємо $p \leq 0,0981 \text{ МПа}$

Діаметр привідного валу мішалки визначаємо, виходячи з умови міцності на кручення:

$$d_{\text{в}} = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{KP}}{\tau'_{\text{дон}}}} + C = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{8159,78}{70 \cdot 10^6}} + 0,003 = 0,084 \text{ м}$$

де $\tau'_{\text{дон}}$ - допустиме напруження на кручення для матеріалу вала: $\tau'_{\text{дон}} = 70 \text{ МН/м}^2$; C - прибавка на корозію, ерозію і зношення: $C = 3 \text{ мм}$.

Крутний момент на валу мішалки визначається:

$$M_{KP} = 0,163 \cdot \frac{N_p}{n} = 0,163 \cdot \frac{100120}{2} = 8159,78 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де N_p - розрахункова потужність на валу: $N_p = 100,12 \cdot 10^3 \text{ Вт}$.

Для забезпечення жорсткості приймаємо $d_6 = 85 \text{ мм}$. Частина валу, яка розміщена вище нижньої турбінки матиме діаметр $d'_6 = 90 \text{ мм}$; частина валу, що розташована вище верхньої турбінки: $d''_6 = 95 \text{ мм}$ при виході через сальник.

Матеріал валу приймаємо Ст. 45. Для цього матеріалу межа міцності на розтяг (ГОСТ 1050-60) $\sigma_B = 610 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$. Приймаємо запас міцності $n_6 = 2,6$.

Допустиме напруження на розтяг розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{дон}} = \frac{610}{2,6} = 234 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження на кручення визначається:

$$\tau_{\text{дон}} = 0,6 \sigma_{\text{дон}} = 0,6 \cdot 234 = 140 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для валу пристрою для перемішування визначається:

$$\tau'_{\text{дон}} = 0,6 \cdot \tau_{\text{дон}} = 0,6 \cdot 140 = 70 \text{ МПа}$$
 Товщина сальникової набивки:

$$S_C = 0,044 \sqrt{d''_6} = 0,044 \sqrt{0,095} = 0,0136 \text{ м} = 14 \text{ мм}$$

де $d''_6 = 95 \text{ мм}$ - діаметр вала.

Розрахункову силу F_N з якою повинна бути стиснена набивка сальника:

$$P'_C = \pi \cdot (d''_6 + S_C) S_C p e^{0,04 \frac{h_C}{S_C}} = 3,14 (0,095 + 0,014) \cdot 0,014 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot e^{0,04 \cdot \frac{0,072}{0,012}} = 2432,6 \text{ Н}$$

де p - допустимий тиск в апараті при стерилізації: $p = 0,4 \text{ МПа}$.

Остаточно необхідна потужність приводного електродвигуна мішалки:

$$N_{\text{заг}} = 1,15 \cdot \frac{(N_p + N_c)}{\eta} = 1,15 \cdot \frac{(100,12 + 205,9)}{0,95} = 370,45 \text{ кВт}$$

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

Тепловий розрахунок ферментатора

Здійснимо тепловий розрахунок апарату для культивування продукту - плісняві гриби. Наближений склад продуктів, які надходять в робочий об'єм ферментатора наведемо в таблиці.

Назва	Кількість в кг	
	На 1 м ³ об'єму	На 100 м ³ об'єму
Борошно кукурудзяне	60	6000
Може бути замінена		
а) крохмалем	60	6000
б) солодовими ростками	10	1000
Азотнокислий натрій	9,1	910
Хлористий калій	0,5	50
Сірчаноокислий магній	0,5	50
Фосфорно кислий калій	1,0	100

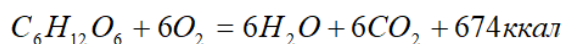
В перерахунку на цукор живильне середовище, яке поступає в ферментатор, при крохмалемісності борошна $K_{кр} = 68\%$ отримаємо:

а) крохмалю $6000 \cdot 0,68 = 4080 \text{ кг}$

б) цукру $1,11 \cdot 4080 = 4528 \text{ кг}$

де 1,11 – перевідний коефіцієнт крохмалю в глюкозу.

Під час розвитку пліснявих грибів відбувається дисиміляція цукрів з виділенням надлишкового тепла:



Дозатор для піногасіння

Введення рідких піногасників у ферментатори є важливим етапом у керуванні утворенням піни під час перемішування середовища в період розвитку мікроорганізмів. Орієнтовно, рекомендується додавати 0,8-1 кг піногасника на 1 одиницю середовища. Процедура теплової стерилізації піногасників перед введенням їх у ферментатор має на меті запобігання можливій інфекції середовища.

Окремий апарат використовується для стерилізації та охолодження піногасників, після чого вони направляються в збірник-дозатор перед введенням у ферментатор. Цей підхід сприяє забезпеченню безпеки та чистоти у культуральному середовищі.

Крім того, для ефективного контролю за піноутворенням в ферментаторах також використовують прилади для механічного гасіння піни. Ці пристрої можуть допомагати у нейтралізації піни та уникненні її негативних впливів на процеси в ферментаторі.

При експлуатації установки для вирощування культур в роботі одночасно знаходяться два ферментатора об'ємом 100 м^3 ; витрати піногасника $b = 1 \frac{\text{л}}{(\text{м}^3 \cdot \text{ч})}$. Піногасник готують один раз на добу.

Погодинні витрати масла на піногасіння при одночасній роботі двох ферментаторів

$$V_{\text{М.ч}} = \frac{2 \cdot V_p \cdot b}{24} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 1}{24} = 8,3 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$$

Добові витрати масла для піногасіння визначаються:

$$V_{\text{М.сут}} = 24 V_{\text{М.ч}} = 24 \cdot 8,3 = 200 \text{ л} = 0,2 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}$$

Повний об'єм дозатора для піногасника приймаємо з розрахунку вмісту в ньому добової необхідності при коефіцієнті заповнення 0,7:

$$V_{\text{Д}} = \frac{V_{\text{М.сут}}}{0,7} = \frac{200}{0,7} = 285,7 \text{ л}$$

Для стерилізації масла приймаємо мірник сталевий зі змійовиком об'ємом 429 л (ГОСТ 8932-58).

Внутрішній діаметр дозатора $D_{\text{вн}} = 600 \text{ мм}$. Висота його $H = 670 \text{ мм}$. Днище сферичне. Кришка знімна.

Стерилізація масла виконується шляхом нагріву його від $t'_M = 15$ до $t''_M = 130^\circ \text{С}$ паром ($p = 0,4 \text{ МПа}$) через змійовик з трубок діаметром 55/51 мм.

Кількість тепла, яка витрачається на стерилізацію добової необхідності піногасника (масла)

$$Q_M = 1,03 [V_{\text{М.сут}} \cdot \rho \cdot c (t''_M - t'_M)] = 1,03 [0,3 \cdot 910 \cdot 2,093 \cdot (130 - 15)] = 67,681 \text{ КДж}$$

де c – теплоємність масла $c = 2093 \frac{\text{дж}}{(\text{кг} \cdot \text{град})}$, ρ – щільність $\rho = 910 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; 1,03 – коефіцієнт, що враховує втрати тепла стерилізатором в зовнішнє простір.

Витрати пари на стерилізацію масла:

$$G_{II} = \frac{Q_M}{(I_{II} - I_K)} = \frac{67681}{654,9 - 142,9} = 132,19_{\text{кг}}$$

де I_{II} - ентальпія насиченої пари; при $p = 0,4 \text{ МПа}$ ($I_{II} = 654,9 \text{ ккал/кг}$),

I_K - ентальпія конденсату пари; при $p = 0,4 \text{ МПа}$ ($I_K = 142,9 \text{ ккал/кг}$).

Об'ємні витрати пари на стерилізацію дорівнюють:

$$V_{II} = G_{II} V' = 132,19 \cdot 0,4718 = 62,37 \text{ м}^3$$

де V' - питомий об'єм пари: $p = 0,4 \text{ МПа}$ $V' = 0,4718 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується до стінки сталевого змійовика визначимо:

$$\alpha_1 = 0,725 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho \cdot r \cdot g}{\nu \cdot d \cdot \Delta t_{cp}}} = 0,725 \cdot \sqrt[4]{\frac{2140 \cdot 10^3 \cdot 927,7 \cdot 0,685^3 \cdot 9,81}{0,215 \cdot 10^{-6} \cdot 0,051 \cdot 7,9}} = 11886,93 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$$

де $\lambda = 0,685 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$ - коефіцієнт теплопровідності конденсату пари.

При середній температурі плівки конденсату в змійовику розраховується за формулою:

$$t_{nl} = \frac{t_{cm} + t_{nac}}{2} = \frac{135 + 142,9}{2} \approx 138^\circ \text{C}$$

де ρ - щільність плівки конденсату; при $t_{i\bar{e}} = 138^\circ \text{C}$ $\rho = 927,7 \text{ кг/м}^3$; t_{nac} -

температура конденсату граючої пари; при $p = 0,4 \text{ МПа}$ ($t_{nac} = 142,9^\circ \text{C}$); t_{cm} -

температура стінки змійовика, на якій конденсується пари ($t_{cm} = 135^\circ \text{C}$); μ -

коефіцієнт динамічної в'язкості конденсату при $t_{i\bar{e}} = 138^\circ \text{C}$

($\mu = 0,00002035 \text{ кг} \cdot \text{с/м}^2 = 0,2035 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 = 0,1995 \cdot 10^{-3} \text{ (Н} \cdot \text{с/м}^2)$); r - теплота

конденсації пари; при $p = 0,4 \text{ МПа}$ $r = 2140 \text{ КДж/кг}$; d - внутрішній діаметр

трубки змійовика, в якому конденсується пари ($d = 0,051 \text{ м}$); Δt - різниця

температур конденсату і стінки, на якій конденсується пара
($\Delta t = 142,9 - 135 = 7,9 \text{ град}$)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,1995 \cdot 10^{-3}}{927,7} = 0,215 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки змійовика до масла:

$$\alpha_2 = C \cdot \text{Re}^n \text{Pr}^{0,4} = 0,715 \cdot 1471,71^{0,46} \cdot 30,6^{0,4} = 80,5 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} =$$

$$= 80,5 \cdot 1,163 = 93,62 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$$

де C і n – константи, які залежать от значення Re . c

Критерій Рейнольдса дорівнює:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d \cdot \gamma}{\mu \cdot g} = \frac{0,075 \cdot 0,055 \cdot 910}{0,00026 \cdot 9,81} = 1471,71$$

де ω - швидкість руху нагріваємо масла в апараті; орієнтовно приймаємо

$$\omega = 0,075 \text{ м/с};$$

$$\rho - \text{щільність } \rho = 910 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

d – зовнішній діаметр трубок змійовика; $d = 0,055 \text{ м}$

$$\gamma - \text{питома вага масла; при } t_{cp} = \frac{130 + 15}{2} = 72,5^\circ \text{C}; \gamma = 910 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

μ - коефіцієнт динамічної в'язкості масла при середній температурі $72,5^\circ \text{C}$

$$\mu = 0,00026 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 0,00255 \frac{(\text{Н} \cdot \text{с})}{\text{м}^2}$$

Критерій Прандтля визначається за формулою:

$$\text{Pr} = \frac{3600 \cdot \mu \cdot c \cdot g}{\lambda} = \frac{3600 \cdot 0,00026 \cdot 0,5 \cdot 9,81}{0,15} = 30,6$$

$$\text{де } c - \text{теплоємність масла; при } t_{cp} = 72,5^\circ \text{C} \left(c = 0,5 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} = 2098 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \right)$$

$$\lambda - \text{коефіцієнт теплопровідності масла} \left(\lambda = 0,1745 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}} \right).$$

Коефіцієнт теплопередача от пара к маслу визначаємо:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{11886,93} + \frac{0,002}{58,15} + \frac{1}{93,62}} = 92,59 \frac{Вт}{(м^2 \cdot град)}$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності стінки змійовика (сталі) $\left(\lambda_{cm} = 58,15 \frac{Вт}{м \cdot град} \right)$.

Розраховуємо поверхню нагрівання змійовика за формулою:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{37600}{55,9 \cdot 50} = 13,45 м^2$$

де Q - кількість теплоти, яка передається маслу від стінки змійовики за умови, що нагрівання здійснюється протягом 0,5 год.

$$Q = \frac{67681}{0,5 \cdot 3600} = 37600 КВт$$

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{нас} - t'_m) - (t_{нас} - t''_m)}{2,31 \lg \left(\frac{t_{нас} - t'_m}{t_{нас} - t''_m} \right)} = \frac{(142,9 - 15) - (142,9 - 130)}{2,31 \lg \left(\frac{142,9 - 15}{142,9 - 130} \right)} = 50^0$$

При діаметрі змійовика $d = 0,055$ довжина труб змійовика буде дорівнювати:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d} = \frac{13,45}{3,14 \cdot 0,055} = 77,88 м$$

При діаметрі змійовика $D = 0,55$ число витків змійовика

$$n = \frac{L}{\pi \cdot D} = \frac{77,88}{3,14 \cdot 0,55} = 45 \text{ витка}$$

Приймаємо $n = 45$ витка. Тоді поверхня нагрівання змійовика

$$F_3 = \pi^2 d D n = 3,14 \cdot 0,055 \cdot 3,14 \cdot 0,55 \cdot 32 = 9,54 м^2$$

Простерилізоване масло охолоджують протягом 30 хв в стерилізаторі до температури 35^0C шляхом подачі води в змійовик. Кількість теплоти, яка відводиться водою, з урахуванням 3% витрат на тепловипромінювання, буде дорівнювати:

$$Q' = \frac{100-3}{100} \cdot V_{M.cym} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_M^* - t_2) = 0,97 \cdot 0,05 \cdot 910 \cdot 2,093(130 - 35) = 8776 \text{ КДж}$$

Витрати води на охолодження масла розраховується за формулою:

$$G_B = \frac{Q'}{(t_2 - t_1)c} = \frac{8776}{(25 - 15) \cdot 4,186} = 210 \text{ кг}$$

де t_1 і t_2 - температура води при вході в змійовик і при виході із змійовика відповідно ($t_1 = 15$, $t_2 = 25^\circ \text{C}$).

Коефіцієнт тепловіддачі від масла до стінки змійовики α_1 , що визначається за тією ж формулою, що і коефіцієнт тепловіддачі від стінки змійовика до масла α_2 розраховується за формулою:

$$\alpha_1 = C Re^n Pr^{0.4} = 0,715 \cdot 1471,71^{0.46} \cdot 30,6^{0.4} \cdot 1,163 = 93,62 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

Значення констант C і n приймаємо залежно від величини критерію Re :

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \gamma}{\mu \cdot g} = \frac{0,075 \cdot 0,055 \cdot 910}{0,00026 \cdot 9,81} = 1471,71$$

де μ - коефіцієнт динамічної в'язкості масла; при середній температурі

$$72,5^\circ \text{C} \quad \mu = 0,00026 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{м}^2$$

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{3600 \cdot \mu \cdot c \cdot g}{\lambda} = \frac{3600 \cdot 0,00026 \cdot 0,5 \cdot 9,81}{0,15} = 30,6$$

Розрахуємо значення Re при русі охолоджувальної води в змійовику:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \gamma}{\mu \cdot g} = \frac{0,57 \cdot 0,051 \cdot 998}{0,000102 \cdot 9,81} = 29148,59$$

$2300 < Re < 10000$ згідно. Режим руху води в змійовику – турбулентний.

Швидкість руху води в змійовику дорівнює:

$$\omega = \frac{G_B}{\rho \cdot f \cdot 3600} = \frac{420}{998 \cdot 0,000204 \cdot 3600} = 0,57 \text{ м}/\text{с}$$

де G_B - годинна витрата води для охолодження води: $G_B = 210 \cdot 2 = 420 \text{ кг}/\text{год}$

μ - динамічна в'язкість охолоджувальної води при середній температурі

$$20^\circ \text{C}; \quad \mu = 0,000102 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{м}^2$$

ρ - щільність води; при середній температурі $t_{cp} = \frac{25+15}{2} = 20^{\circ}C$ $\rho = 998 \frac{кг}{м^3}$;

Поперечний переріз трубок зміювика при внутрішньому діаметрі трубки $d = 0,051 м$

$$f = \frac{3,14 \cdot 0,051^2}{4} = 0,00204 м^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки зміювика до охолоджувальної води для перехідного режиму руху:

$$Nu = K_0 \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CY}} \right)^{0,25} \left(\frac{7,07}{2,38} \right)^{0,25}$$

де K_0 - коефіцієнт який враховує вплив на коефіцієнт тепловіддачі комплексу факторів; $K_0 = f(Re)$; приймаємо при $Re=29148,6$; $K_0 = 23,25$.

Критерій Прандтля охолоджувальної води при середній температурі $20^{\circ}C$

$$Pr = \frac{3600 \cdot \mu \cdot c \cdot g}{\lambda} = \frac{3600 \cdot 0,000102 \cdot 1,004 \cdot 9,81}{0,515} = 7,07$$

де μ - динамічна в'язкість охолоджувальної води при середній температурі $20^{\circ}C$; $\mu = 0,000102 \frac{кг \cdot c}{м^2}$

c – теплоємність води; при $t_{cp} = 20^{\circ}C$

λ - коефіцієнт теплопровідності води; при температурі $t_{cp} = 20^{\circ}C$

$$\lambda = 0,515 \frac{ккал}{м \cdot ч \cdot град}$$

Середня температура охолоджувального мастила визначається:

$$t_{м.ср} = \frac{130 + 35}{2} = 82,5^{\circ}C$$

Середня температура стінки зміювика зі сторони мастила $75^{\circ}C$.

Температура стінки зміювика зі сторони охолоджувальної води:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{55}{51} < 2$$

де d_1 і d_2 - зовнішній і внутрішній діаметр трубки зміювика; $d_1 = 55$ і $d_2 = 51 \text{ мм}$.

За цих умов кривизна стінки має незначний вплив на тепловий потік і їм можна знехтувати.

Питомий тепловий потік через стінку зміювика визначається:

$$q = \frac{2Q}{F} = \frac{2 \cdot 8776}{13,45} = 1305 \text{ Вт/м}^2$$

де Q – кількість тепла, що передається через поверхню; F – поверхня зміювика, через яку передається теплота.

Так як питомий тепловий потік через стінку зміювика визначається за формулою:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2)$$

то температура стінки зі сторони води буде дорівнювати:

$$t_2 = t_1 - \frac{q\delta}{\lambda} = 75 - \frac{1305 \cdot 0,002}{58,15} = 45^\circ \text{C}$$

де t_1 - температура стінки зміювика зі сторони масла; δ - товщина стінки зміювика.

Значення критерія Прандтля для води при $t_2 = 45^\circ \text{C}$

$$Pr = \frac{3600 \cdot \mu \cdot c \cdot g}{\lambda} = \frac{3600 \cdot 0,0000389 \cdot 1,0065 \cdot 9,81}{0,577} = 2,38$$

З отриманого значення Nu визначимо коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджувальної води:

$$Nu = \frac{\alpha_2 d}{\lambda}$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{70,6 \cdot 0,598}{0,051} = 827,82 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$$

Поправочний коефіцієнт, що уточнює вплив кривизни труби, по якій протікає вода для охолодження:

$$\varepsilon = 1 + 1,77 \cdot \frac{d}{R} = 1 + 1,77 \cdot \frac{0,055}{0,55} = 1,177$$

де d та R – зовнішній діаметр трубки зміювика та радіус зміювика по осьовій лінії.

З врахуванням поправки коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha'_2 = \varepsilon \cdot \alpha_2 = 1,177 \cdot 827,82 = 974,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

Потрібна поверхня для охолодження піногасника на протязі 0,5 год

$$F = \frac{2Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2 \cdot 2100}{54,5 \cdot 51} = 1,51 \text{ м}^2$$

Розрахункова поверхня зміювика, що забезпечує нагрівання масла, $2,05 \text{ м}^2$ забезпечує також охолодження його на протязі 30 хв.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{93,62} + \frac{0,002}{50} + \frac{1}{827,82}} = 83,83 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$$

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(130 - 25) - (35 - 15)}{2,3 \lg \frac{130 - 25}{35 - 15}} = 51^\circ$$

РОЗДІЛ 7. ПІДБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Специфічні умови фармацевтичного виробництва, такі як корозійно-активні харчові середовища, мийні та дезінфікуючі розчини, висока швидкість протікання робочих середовищ, підвищена температура, значні перепади тиску й

інші, накладають особливі вимоги до вибору матеріалів при конструюванні технологічного обладнання.

Однією з ключових вимог є висока корозійна стійкість матеріалів, використовуваних для виробництва технологічного обладнання. Це особливо важливо, оскільки корозія може виникнути внаслідок взаємодії з агресивними хімічними речовинами, що зустрічаються в харчових середовищах та миючих розчинах.

Також важливо, щоб матеріали були стійкими до руйнування під дією органічних середовищ. Це може включати в себе стійкість до органічних розчинників та інших хімічних речовин, які можуть бути присутні в процесах виробництва фармацевтичних продуктів.

Врахування цих факторів дозволяє підтримувати високий стандарт безпеки та ефективності в фармацевтичному виробництві.

При виборі конструкційного матеріалу, який контактує з середовищем, важливо враховувати його токсичність і отримати дозвіл від органів охорони здоров'я на його застосування у конкретних умовах фармацевтичного виробництва. Також слід враховувати корозійну стійкість під впливом мікробіологічних середовищ, високих температур і тисків, а також мийних і дезінфікуючих розчинів. Механічна міцність матеріалу також важлива при виконанні робочих циклів машини, а економічна доцільність грає значущу роль.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Підбір конструкційних матеріалів		221905.MP.11.007.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Арку2 ш

З урахуванням цих факторів та зважаючи на те, що термін служби апарату визначається властивостями обраних матеріалів та їх стійкістю до зносу, правильний вибір конструкційних матеріалів є одним із ключових аспектів збільшення терміну служби та надійності роботи апарату.

До конструкцій ферментаторів встановлені високі вимоги до герметичності. Виробництво апаратів здійснюється відповідно до встановлених стандартів та вимог Держгортехнагляду.

Зварювання швів повинно бути виконане щільно і міцно для забезпечення надійності конструкції. Особлива увага повинна бути приділена уникненню впливу вологи на зварені шви під час гідравлічних випробувань, оскільки це може призвести до потрапляння інфекції в культуральне середовище.

Для забезпечення щільності та запобігання витокам потрібно вдосконалено здійснювати контроль якості зварювання. Деталізована перевірка виконання зварних робіт під час гідравлічних випробувань допомагає у виявленні та усуненні можливих дефектів.

Забезпечення щільності сальників робочого вала, прокладок, люків і фланцевих з'єднань також є критично важливим для уникнення витоків та забезпечення безпеки процесу культивування. Застосування матеріалів, які володіють високою корозійною стійкістю, таких як нержавіюча або двошарова сталь, сприяє тривалому терміну служби та забезпечує ефективність ферментатора в умовах фармацевтичного виробництва.

РОЗДІЛ 8. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Вибір вузла та аналіз характеристик виробу

У кваліфікаційній роботі проведено удосконалення конструкції ферментатора з механічним перемішуванням, який використовується для вирощування пліснявих грибів, об'ємом 100м³.

На рисунку 8.1 представлена конструкція ферментатора з променевим аератором. Корпус ферментатора є вертикальним циліндричним з еліптичним днищем, відповідно до ГОСТ 6533-53. Усередині корпусу (позначеного як 1) розташований вал, що обертається, (позначений як 4) із двоступеневою турбінною мішалкою, який обертається зі швидкістю 180 обертів за хвилину. Цей вал приводиться в рух за допомогою електродвигуна типу АО72-6.

Виріб в цілому має просту компоновку і конструктивне рішення, що не ускладнює процесу збирання. Його конструкція передбачає можливість складання з вже зібраних вузлів.

Базова деталь виробу обладнана технологічною базою, яка гарантує його достатню стійкість під час складання. Уніфікація кріпильних та інших деталей спрощує номенклатуру складальних інструментів і сприяє більш ефективному використанню механізації при складальних роботах. При конструюванні виробу передбачена можливість вільного підведення високопродуктивних механізованих складальних інструментів до місць з'єднання деталей.

Так, з опису конструкції виробу слідує, що вона відповідає вимогам технологічності. Наявність технологічної бази, уніфікація деталей і можливість застосування механізованих складальних інструментів свідчать про те, що виріб розроблений з урахуванням зручності виробництва та монтажу.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Технологія машинобудування	221905.MP.11.008.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/6	

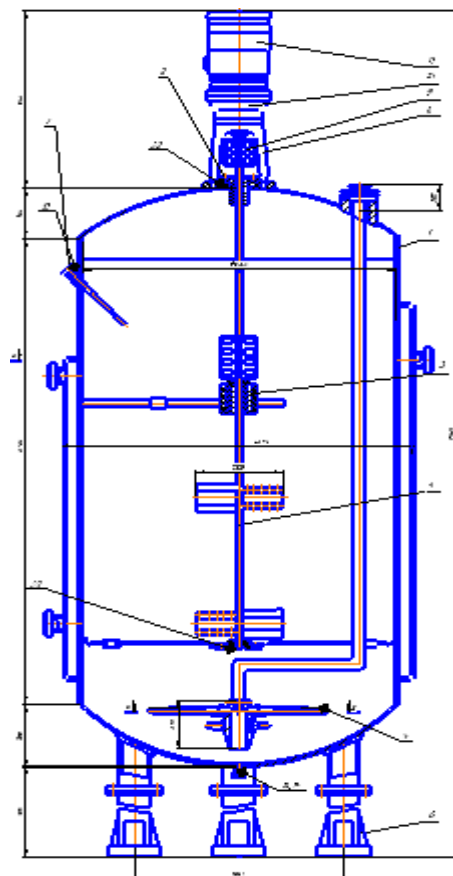


Рис. 8,1 Ферментатор

На валу розташований корпус 1 аератора (рис. 8.2), до якого кріплять на болтах два ряди променів (по 4 в кожному ряду), які відповідають за аерацію. Кожен промінь має порожню лопать завдовжки 400 мм. Лобова частина променю має закруглення, тоді як протилежна має щілину, через яку повітря під тиском подається в рідину, що переміщується. Подача повітря в аератор відбувається під тиском.

Контроль і регулювання температури середовища здійснюється за допомогою датчика температури, який встановлений на гільзі №14. Конструкційне виконання валу з мішалкою представлено на рисунку 8.2.

Перемішуючий пристрій являє собою диск, закріплений на валу, що обертається. До диска болтами прикріплено 6 лопастей з профілем, що забезпечують розподілення рідини з невеликим лобовим опором та відкидає її по складній гвинтовій траєкторії.

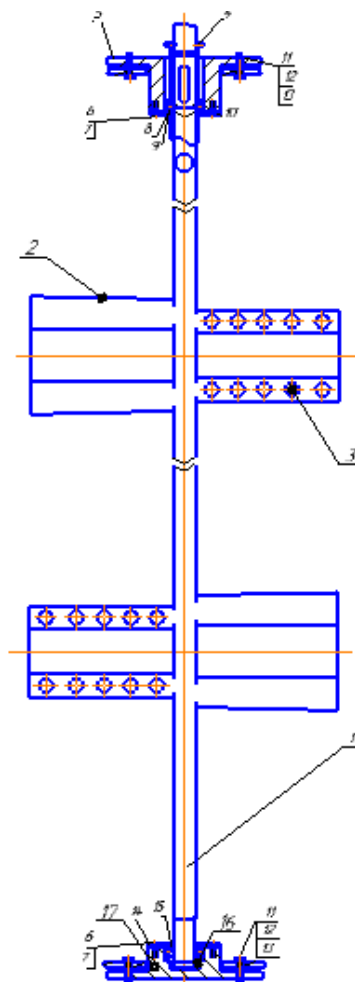


Рис. 8,2 Перемішуючий пристрій

Зовнішня сторона корпусу обладнана сорочкою, до якої подається вода для відведення тепла, що виділяється культурою, що розвивається.

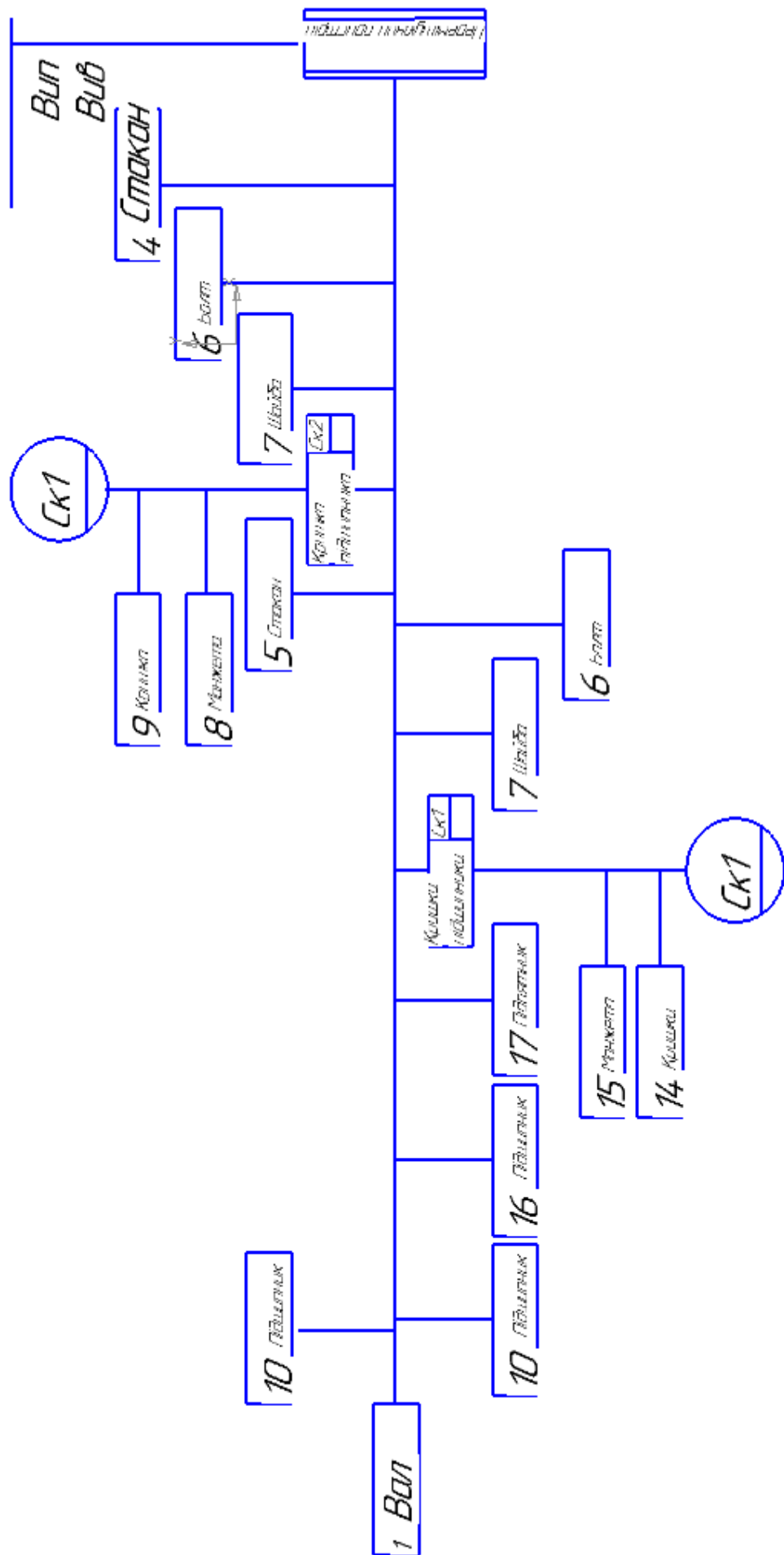
При аналізі конструкції засобу перемішування (рис. 8.2), слід виділити складові одиниці 1-го порядку, а саме: Ск1 - верхня кришка підшипника, Ск2 - нижня кришка підшипника, а також окремі деталі - вал 1, підшипники 10 і 16, підп'ятник 17, стаканчики 5 і 4, болти 6, та шайби 7.

Таблиця 8.1 - Подетальний склад опорного ролик

<u>№ Позиції</u>	<u>Назва деталі</u>	<u>Кількість</u>
1	Вал	1
2	Лопаті	4
3	Повітропровід	1
4	Стакан	1
5	Стакан	1
6	Болт М16х70 ГОСТ 15589-70	8
7	Шайба 16 ГОСТ 6402-70	8
8	Манжета 1-130х70 ГОСТ 8752-79	1
9	Кришка	1
10	Підшипник 111220 ГОСТ 28428-90	2
11	Болт М24х105 ГОСТ 15589-70	8
12	Шайба 24 ГОСТ 11371-78	8
13	Гайка М24 ГОСТ 15526-70	8
14	Кришка	1
15	Манжета 1-100х70 ГОСТ 8752-79	1
16	Підшипник 51118 ГОСТ 7872-89	1

Схема складання перемішуючого пристрою наведена у вигляді діаграми на рис.8.3

Вертикальні лінії зі стрілками наочно показують послідовність збирання окремих складальних одиниць, а горизонтальна лінія в центрі вказує на порядок з'єднання складальних одиниць 1-го порядку за допомогою стандартних виробів. Прямокутники можуть вказувати найменування деталей та їх позиції на кресленні, а також найменування складальних одиниць 1-го порядку. Використані умовні позначення, які містять технологічні вказівки: Вив. – вивірка; Вип. – випробування. Технологічний маршрут збирання перемішуючого пристрою описує короткий зміст операцій з переходами (див. таблицю 8.2).



Таблиця 8.2

Технологічний маршрут складання перемішуючого пристрою

№ операції	№ переходу, зміст переходу
10.Збирання нижньої кришки підшипника (Ск.1)	10.1. Встановити нижню кришку підшипника на складальному стенді 10.2. Встановити манжету в кришку
20.Збирання верхньої кришки підшипника (Ск.2)	20.1. Встановити верхню кришку підшипника на складальному стенді 20.2.Встановити манжету в кришку
30.Збирання перемішуючого пристрою	30. Встановити вал на складальному стенді і закріпити його 30.(1-2) Запресувати підшипник 114220 на вал 30.3 Запресувати підшипник 51118 на вал 30.4 Запресувати вал з підшипниками в підп'ятник 30.5 Встановити кришку підшипника в підп'ятник 30(6-10) Встановити шайби 16 на болт M16*70 30(10-14) Закрутити болти M16*70 30.15 Встановити стакан 30.16 Встановити верхню кришку підшипника в стакан 30.(17-21) Встановити шайби 16 на болти M16*70 30(22-26) Закрутити болти M16*70 30.27 Встановити стакан
40.Контрольна	40.1 Проконтролювати роботу перемішуючого пристрою при великій частоті обертання

РОЗДІЛ 9. МОНТАЖ, РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Монтаж ферментаторів

Процес монтажу апаратів на монтажну площадку включає в себе кілька важливих етапів:

Стропування: здійснюється за допомогою спеціальних загарбних пристосувань або монтажних штуцерів, які передбачені проектом. Це забезпечує безпечний підйом і транспортування апаратів.

Підготовка фундаменту: до установки апаратів на фундамент укладають підкладки або інші пристосування, що може включати ґрунтову підготовку або застосування анкерних елементів.

Вивірка: після установки апаратів важливо перевірити їхнє положення за допомогою рівня або вискометра, щоб гарантувати правильне розташування і рівномірний розподіл навантаження.

Ці етапи спрямовані на забезпечення безпечного та ефективного монтажу обладнання.

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

Попередню вивірку апаратів на фундаменті або іншій підставі здійснюють при вільному обпиранні на підкладки або клини, остаточну - при затягнутих гайках фундаментних болтів. При цьому щуп товщиною 0,1мм не має проходити між підкладками в пакетах, а також між верхньою підкладкою та лапою або опорною конструкцією апарата на глибину більше ніж 3 - 5мм. Після остаточної вивірки апарата сталеві підкладки або клини прихоплюють електрозварюванням.

Відхилення від проектних осей, що допускаються, при монтажі корпусів апаратів з мішалками:

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Ремонт, монтаж та експлуатація		221905.МР.11.009.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/10

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

Ремонт колонних апаратів з мішалками

Колонний апарат - це вертикально розташований пристрій, у якого висота значно переважає поперечний розмір. Такі апарати зазвичай встановлюють на відкритій площадці на різних опорах, таких як фундаменти, залізобетонні постаменти або металеві етажерки.

Основні види зношування колонних апаратів включають забивання і корозію їхніх елементів. Корпуси та внутрішні пристрої колонних апаратів можуть витратити свою якість через корозію, ерозію та термічний вплив середовища.

Ремонт колонних апаратів проводиться під час планово-попереджувальних ремонтів технологічної установки. Це важливий етап обслуговування, спрямований на збереження і підтримання ефективності обладнання, а також запобігання можливим поломкам та збоїв. Ремонт включає в себе перевірку, очищення, відновлення та обслуговування різних частин та елементів колонного апарату.

Підготовка колонних апаратів до ремонту включає такі етапи:

- доведення тиску до атмосферного: зниження тиску в колоні до атмосферного рівня.
- видалення робочого середовища: евакуація робітничого середовища із колони.
- пропарювання водяною парою: застосування водяної пари для пропарювання колони. водяна пара витісняє залишкові гази та пари з колони.

– промивання водою: промивання колони водою з метою видалення залишкових забруднень та відновлення чистоти поверхонь. у деяких випадках, пропарювання та промивання можуть повторюватися декілька разів.

– температурний контроль промивної води: забезпечення того, що температура води під час промивання не перевищує 50 градусів.

Важливо виконувати ці етапи обережно та дотримуватися технічних вимог, оскільки правильна підготовка колонних апаратів до ремонту впливає на ефективність та безпеку наступних робіт. Регулярна технічна діагностика та обслуговування також грають важливу роль у забезпеченні надійності та тривалості експлуатації колонних апаратів.

Після пропарювання і промивання колону, вона від'єднується від всіх комунікацій за допомогою глухих заглушок. Ці заглушки встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Кожне встановлення та подальше зняття заглушок реєструється в спеціальному журналі. Цей підхід дозволяє вести контроль над процесом та забезпечувати безпеку під час проведення ремонтних робіт.

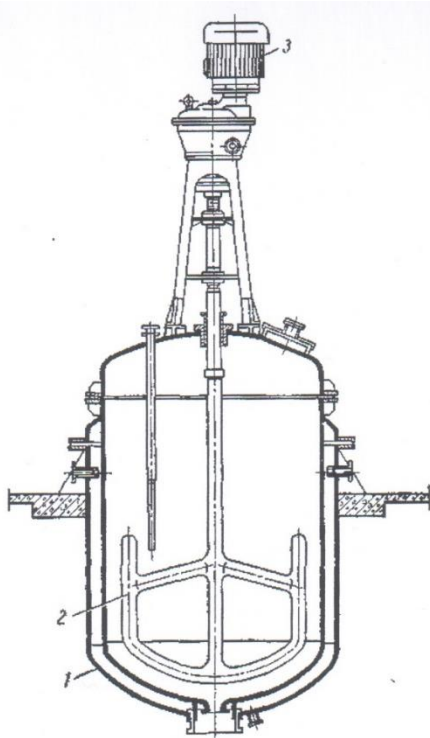


Рис.9.1 Апарат з мішалкою: 1 - корпус апарата із сорочкою; 2 - мішалка; 3 - привод

Щодо апаратів з мішалкою, вони складаються з корпусу, оснащеного сорочкою, мішалки і привода. Ці апарати використовуються для змішування та перемішування різних речовин у технологічному процесі. Їх будова дозволяє ефективно проводити різноманітні процеси в хімічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості.

Розбирання апарата з мішалкою виконується в наступному порядку для забезпечення безпечності та ефективності процедури:

- маркування фланців, кришки та прокладок: на фланці корпусу, кришці апарата і прокладці робляться мітки, щоб забезпечити правильне положення при подальшому збиранні.
- зняття болтів: болти, що утримують апарат, знімаються.
- підняття кришки: кришка апарата піднімається за допомогою вантажопідйомного механізму і встановлюється на козла так, щоб мішалка була в піднятому стані.
- розбирання приводу, муфти і мішалки: розбираються привід, муфта і мішалка для подальшого доступу та обслуговування.
- чищення та промивання: апарат очищається м'якими щітками або дерев'яними шкребками та промивається гарячою водою.
- зовнішній огляд і контроль: проводиться зовнішній огляд для виявлення видимих дефектів та ушкоджень.
- результати огляду фіксуються в протоколі та схемі розташування дефектів.
- магнітний і ультразвуковий контроль: проводиться магнітний і ультразвуковий контроль для виявлення можливих внутрішніх дефектів.

Результати цих процедур дозволяють точно визначити стан апарата та визначити, які саме ремонтні заходи потрібно провести для відновлення його працездатності.

Виявлені пошкодження (вм'ятини) на корпусі та сорочці можна виправити за допомогою ударів кувалди, застосовуючи мідну підкладку. У випадках, коли виправлення ударами не є ефективним методом, застосовується техніка ремонту зварюванням для відновлення ушкоджених частин.

Технологія ремонту зварюванням включає наступні кроки:

1. Місця, які потребують зварювання, піддаються ретельній обробці шліфувальним каменем для повного видалення всіх дефектів і надання їм форми з плавними переходами. У випадку, якщо існують наскрізні ушкодження, вони розточуються для забезпечення правильного з'єднання та міцності під час зварювання.

2. Після обробки місць, їх перевіряють за допомогою магнітного й ультразвукового контролю для виявлення можливих дефектів. У випадку необхідності також проводяться металографічні дослідження для більш детального аналізу.

3. Пошкоджені ділянки піддаються процесу заплавлення з попереднім підігрівом до температури 300-350⁰С. При наскрізних пошкодженнях вони піддаються заплавленню на підкладках. Процес заплавлення виконується при постійному струмі, забезпечуючи ефективне з'єднання та відновлення міцності матеріалу.

4. Після завершення зварювання проводиться термооброблення в режимі високої температури. Цей процес включає нагрівання до температури 650-680⁰С та утримання при цій температурі, розраховане на 7 хв на 1 мм товщини наплавлення.

Ремонт пошкоджень емалевого покриття апарата виявляється особливо складним завданням. У випадках невеликих пошкоджень, що займають площу до 10 см², проводиться ремонт емалі. При цьому на дно апарата укладають листову гуму, щоб уникнути можливого пошкодження покриття

днища в результаті падіння використовуваних предметів під час ремонтних робіт.

Підготовка ділянки з дефектом до ремонту включає видалення пошкодженої емалі до ґрунтового шару або металу за допомогою абразивного інструмента з тонкого корунду, промивання дефекту 10% розчином соди, сушіння та наступне промивання спиртом.

Замазки використовуються у різноманітних композиціях. Силікатна замазка, призначена для кислотостійких емалей, складається з таких компонентів: діабазового борошна (100 г), кремнійфтористого натрію (5 г) та рідкого скла (26 мл). Наноситься вона гумовою пластинкою шляхом ретельного втирання в нерівності поверхні у кілька шарів. Кожен шар сушиться гарячим повітрям. Прошарок замазки обробляється двічі 50%-ним розчином сірчаної кислоти протягом 6 хвилин з наступним промиванням і сушінням після кожної обробки.

Силікатне покриття володіє високою зчепленістю з металом і емаллю, однак виявляє недостатню стійкість у лужних середовищах і гарячій воді.

Бакелітова замазка формується за допомогою бакелітового лаку та наповнювача - меленого та прожареного кварцового піску, що додається для отримання густої рухливої консистенції. Ця замазка наноситься у три шари, кожен з яких відвертається протягом 6 годин при 40 °С та 1 години при 160 °С для затвердіння.

Найбільш універсальним та надійним методом відновлення невеликих дефектів емалевого покриття є встановлення танталових грибоподібних пломб з ущільненням із фторопласта. Установка танталової пломби зображена на рисунку.

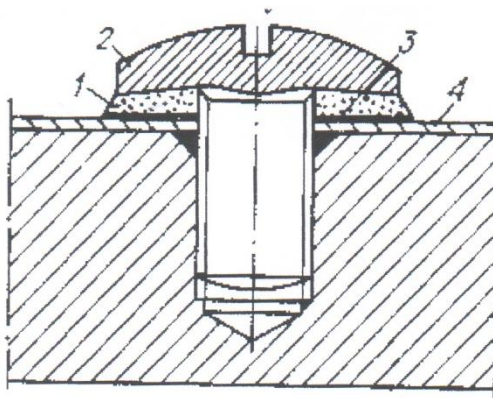


Рис. 9.2 Танталова плomba: 1 - диск із фторопласта; 2 - танталовий гвинт;
3 - цемент-мастика; 4 - емаль

Діаметр різблення пломби становить М5. Діаметр головки визначається розміром ушкодження. Під час різання різблення в корпусі пристрою видалення стружки з отвору проводиться за допомогою стиснутого повітря або магнітних стрижнів. Фторопластову прокладку змащують замазкою, яка використовується для кріплення пломби та вирівнювання дефектів поверхні. Надмір замазки, яка виступає під головкою пломби під час її закручування, видаляється, а пломбу слід прогріти при відповідній температурі для затвердіння замазки.

У випадках, коли хімічна стійкість танталу виявляється недостатньою, застосовуються гвинтові пломби з танталу з фторопластовим покриттям. Перед закручуванням гвинта гайка заповнюється замазкою. Така конструкція пломби дозволяє відновлювати дефекти, які мають більші розміри. При великих пошкодженнях або у випадках, коли ці ушкодження розташовані всередині штуцерів, відновлення здійснюється за допомогою танталових накладок, які закріплюються кількома гвинтами.

Ремонт штуцерів апаратів з перемішувачами пристроями можливий за допомогою установки титанового патрубку. Патрубок із відбортованим краєм вводиться з внутрішньої сторони апарата і затискається із зовнішньої сторони титановою гайкою, що має гумову прокладку. В зазор навколо патрубку попередньо заливається епоксидною смолою.

Мішалки піддаються ремонту через зношування або поломки деталей і вузлів. Для виконання ремонту застосовують зварювання, наплавлення, заміну шпонок і кріпильних деталей і т.д. Якщо здійснюється наплавлення поверхонь, що з'єднуються з валом (маточина, пази під шпонки), ці поверхні піддаються механічній обробці перед збиранням.

Приводи мішалок піддають ревізії при кожному ремонті, в процесі якого перевіряють люфти в зачепленнях і підшипниках, а також центрування мотора з редуктором. Особливу увагу приділяють перевірці справності системи подачі змащення. Виявлені дефекти виправляють.

Вали ремонтують у зв'язку зі зношуванням посадкових місць шийок валів, шпонкових канавок та появою вигину валу.

Спосіб ремонту зношеного валу обирається залежно від характеру та розмірів дефекту, а також технічної оснащеності ремонтної бази.

Шийки валів, які мають невеликі подряпини, ризики та овальність до 0,1 мм, можна ремонтувати шліфуванням. У випадках, коли зношування значне, шийки валів піддають проточуванню та шліфуванню до наступного розміру під час чергового ремонту. Якщо потрібно відновити первісні розміри шийок, вони ремонтуються нарощуванням металу, металізацією, хромуванням, наплавленням та іншими методами.

Тріщини на валах зашпаровуються за допомогою зварювання. Для цього ділянка, охоплена тріщиною, на всю глибину обробляють під зварювання (знімають фаски, зачищають зварюються поверхні).

Зламані вали зазвичай замінюються новими.

Погнуті вали можна виправити механічним способом в холодному стані або при нагріванні. Виправлення здійснюється у центрах за допомогою преса або домкрата.

Зношені шпонкові пази ремонтують:

- обробленням пазів обох деталей до наступного за стандартом більшого розміру шпонкового з'єднання (крім пазів у відповідальних деталях);

- заварюванням шпонкових пазів електронаплавленням з обробленням нових в іншому місці;

- заварюванням стінок зношених пазів більших розмірів з наступним фрезеруванням до стандартного розміру.

Підшипники кочення зазвичай не ремонтують. Якщо виявлені ознаки зношення на бігових доріжках і тілах кочення, викрашування бортів, деформація сепаратора або іржа на робочих поверхнях, то підшипник зазвичай піддають заміні.

Зубчасті колеса можна ремонтувати наплавленням на зношені зуби. У випадках поломки зубів зубчасте колесо зазвичай замінюють.

При ремонті апаратів з мішалками велику увагу приділяють ущільненню для запобігання витoku середовища в місці виходу валу із кришки апарата. Для ущільнення застосовують чепцеве або торцеве ущільнення. При ремонті у чепцевих ущільненнях може проводитися перенабивання сальника.

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

Після закінчення ремонту ферментатора проводять випробовування.

Випробування ферментаторів

Пристрої випробовують індивідуально холостою ходою, а потім під навантаженням. Проводять перевірку правильності складання рухомих частин, приробітку тертьових поверхонь і регулюють роботу всіх вузлів та систем ферментатора. Перед початком обкатування в приміщенні повинні

бути завершені опоряджувальні роботи, а також монтаж трубопроводів і конструкцій, пов'язаних з апаратом.

Перед пуском апарата потрібно:

- промити мастилопроводи, системи рідкого мастила, прокачуванням мастила, мінаючи підшипники;
- перевірити наявність змащення у всіх точках апарата, які змащують;
- перевірити температуру і тиск води й мастила в трубопроводах систем охолодження й змащення;
- переконатися у відсутності в апараті людей та сторонніх предметів.

Електродвигун варто обкатати протягом 1 год холостою ходою без перемішуючого механізму, визначивши також правильність напрямку обертання мішалки. Апарати випробовують холостою ходою й під навантаженням. Пристрої, що перемішують, мають працювати спокійно, без різких стукотів, ударів й надмірного шуму. Мастило не має вибиватися з корпусів підшипників і редукторів, а вода або повітря - просочуватися через сальник.

Обмеження температури нагрівання підшипників, корпусів електродвигунів і редукторів до 65⁰С (якщо інше не передбачено заводом-виготовлювачем) є стандартними заходами для забезпечення нормальної роботи обладнання. Перевищення цього значення може призвести до перегрівання, зношування деталей та скорочення терміну служби обладнання.

Випробування вважають закінченими, коли апарат досягнув нормальної і усталеної роботи, і це сталося протягом установленого часу. Це дозволяє визначити, чи апарат (ферментатор) може ефективно працювати в реальних умовах експлуатації і як добре він витримує навантаження протягом тривалого періоду часу.

РОЗДІЛ 10. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

Основною етапом виробництва, на якому утворюється цільовий продукт, є бродіння. Бродіння проводиться в батареї інокуляторів, ферментаторів (бродильних апаратів), які з'єднані послідовно. Перед початком процесу в інокуляторі I вводять культуру посівних дріжджів-сахароміцетів, які вирощені в посівних ферментаторах, і подають потік оцукреного сусла.

Після заповнення інокулятора, надлишок культуральної рідини по переливній трубці направляється у ферментатор II і так далі, поки всі апарати батареї не будуть заповнені. З останнього ферментатора III культуральна рідина (брага) з об'ємним вмістом спирту 8-9% подається у відділення брагоректифікації.

У посівних ферментаторах IV і перших трьох головних бродильних апаратах мікробіологічні процеси протікають особливо інтенсивно і супроводжуються значним тепловиділенням. Тому вони оснащені теплообмінниками і охолоджуються водою.

Основною метою автоматизації на етапах дріжджування та бродіння є підтримання оптимальної температури в посівних та головних бродильних ферментаторах. Як об'єкти регулювання, вони характеризуються значною інерційністю та великим запізнюванням. Температура в кожному апараті вимірюється термопередавачами опору 1-1, 1-2, 1-3, які підключені до багатоточкового регулюючого електронного моста, що поєднаний з блоком завдання та блоком реле (1-4, 1-6). Вихідні сигнали, через електропневмопосередники 1-7, керують подачею охолоджувальної води у відповідні ферментатори за допомогою регулюючих клапанів 1-8 - 1-10.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Система управління	221905.MP.11.010.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

Під час роботи системи перемикальний пристрій моста послідовно підключає до його вимірювальної схеми один із датчиків температури, а до регулятора - один із задатчиків, на якому встановлено задане значення температури для відповідного ферментатора (інокулятора).

У випадку відхилення температури від заданого значення позиційний регулятор видає електричний сигнал, який конвертується в командний пневматичний сигнал і відкриває або закриває подачу охолоджувальної води в теплообмінник даного ферментатора.

З метою запобігання інфікуванню культуральною рідиною ферментатори періодично піддають стерилізації гострою парою. Під час стерилізації температура в апараті значно перевищує верхню межу вимірювань моста 1-4, що може негативно впливати на його роботу. З метою запобігання "зашкалюванню" приладу передбачено можливість шунтування термоперетворювачів додатковим опором під час стерилізації.

Переливи в ферментаторах можливо уникнути завдяки електронним сигналізаторам рівня 2-1 - 5-1, які включені в електричну схему світлової та звукової сигналізації. Під час бродіння виділяються гази, переважно містять CO₂ та пари спирту. Гази, що виходять, направляються у спиртовловлювач V, яка зрошується водою. Пари спирту розчиняються у воді, утворюючи водно-спиртову суміш, яка подається в брагоректифікаційну установку, тоді як CO₂ направляється на переробку в цех вуглекислоти.

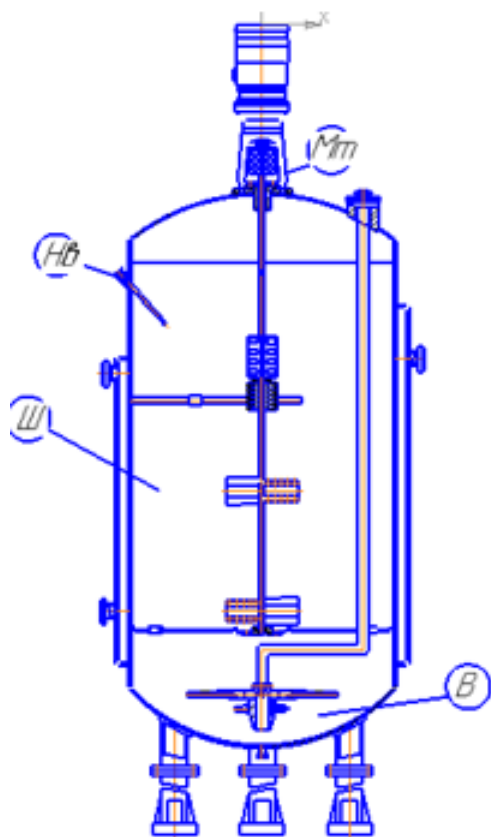
У схемі автоматизації передбачено регулювання витрати води, яка подається у спиртовловлювач. Витрата вимірюється ротаметром-6-1, пневматичний вихідний сигнал якого подається на вторинний прилад 6-2 з підручним регулятором 6-3 та клапаном, що управляє 6-4 подачею води.

Для забезпечення безпечних умов роботи у відділенні ферментування передбачено автоматичне контролювання та регулювання концентрації CO₂ в повітрі виробничого приміщення. Проба повітря постійно просмоктується через приймач газоаналізатора 7-3, в комплект якого також входить

вторинний прилад з регуляторами 7-4, 7-5. Якщо концентрація CO_2 в приміщенні перевищує гранично допустимий рівень, то включаються електродвигун приводу вентилятора VI, а також світлова і звукова сигналізація (7-4).

РОЗДІЛ 11. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

11.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації Ферментатора для вирощування цвілевих грибів



Ферментатор з механічним
перемішуванням

В – вібрація

Ш – шум

HB – небезпека вибуху

Мт – механічні травми

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу в апаратах, враховуючи їх призначення й умови експлуатації, потрібно передбачити захист від наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

1. Підвищений тиск робочого середовища в апаратах: застосування відповідних захисних систем та пристроїв для зменшення ризику викиду та контролю тиску.
2. Вибухи і загоряння: застосування вибухозахисного обладнання, безпечних технологічних процесів та відповідних заходів безпеки.
3. Підвищений зміст шкідливих речовин в повітрі: застосування систем вентиляції та витяжки, а також захисних засобів для запобігання вдиханню шкідливих речовин.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Заходи з охорони праці та техніки безпеки		221905.MP.11.011.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/13

5. Зіткнення з гарячими частинами апаратів: встановлення ефективних бар'єрів, захисних кожухів та обмежень доступу.

6. Підвищений шум і вібрації: застосування засобів колективного та індивідуального захисту, впровадження технічних рішень для зменшення шуму та вібрацій.

Забезпечення високого ступеня захисту працівників від цих факторів є важливим аспектом забезпечення безпеки та здоров'я на робочому місці.

Вібрація - це механічні коливання, що призводять до розладу життєвих функцій людини, шкідливо впливають на роботу обладнання та руйнують будівельні конструкції.

Джерелами вібрації є механічні, пневматичні та електричні інструменти з ударною або обертальною дією. Також, обладнання, яке встановлено без достатньої амортизації та віброізоляції, може стати джерелом вібрацій.

Електродвигун і редуктор ферментатора можуть виступати як потенційні джерела вібрацій. Через обертальний рух і значні швидкості обертання, які характерні для електродвигуна та редуктора, може виникати вібрація, яка впливає на всю систему ферментатора. Важливо враховувати ці фактори при проектуванні та експлуатації для забезпечення стабільної та безпечної роботи обладнання.

Виробничий шум представляє собою сукупність різноманітних за силою і частотою звуків, які виникають у повітряному середовищі під час виробничих процесів. Ці звуки можуть мати різний характер і походження, такі як машини, обладнання, робочі операції, транспорт та інші джерела.

Виробничий шум може впливати на працездатність працівників та їхнє здоров'я, створюючи негативний вплив на слух, комфорт та загальний стан працівників. Тому контроль за рівнями шуму та впровадження заходів зменшення шуму є важливими аспектами організації безпеки та гігієни праці в промислових об'єктах.

Потрібно зазначити, що джерелами шуму є: транспорт, насоси, двигуни, пневматичні та електричні інструменти, верстати тощо.

Основним джерелом механічного шуму ферментатора є електродвигун. Шум виникає внаслідок відцентрових сил, що викликаються статичним і динамічним дисбалансом роторів.

Електробезпе́ка — система заходів та засобів, спрямованих на захист людей від потенційно небезпечних впливів електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики. Ця система охоплює організаційні та технічні заходи, які регулюються правовими і технічними документами та нормативно-технічною базою.

У випадку ферментатора джерелом електробезпеки є електродвигун, який підключений до електромережі. Неналежне застосування чи несправність може призвести до електричних травм. Забезпечення безпеки використання електроустаткування включає в себе дотримання правил експлуатації, регулярне технічне обслуговування, використання сертифікованого обладнання та дотримання вимог електробезпеки. Знання основ електробезпеки є обов'язковим для персоналу, який обслуговує та експлуатує електроустаткування.

Механічна травма. Механічні травми можуть виникати внаслідок удару людини предметом, який рухається. У результаті механічних травм можуть виникати садна, синці, переломи, розриви органів, вивихи.

При роботі з ферментатором відкрита зубчата передача та відсутність захисних кожухів на опірних та упорних роликах можуть створювати потенційно небезпечні умови для обслуговуючого персоналу та навколишнього середовища. Механічні пошкодження можуть виникати внаслідок контакту з рухомими частинами обладнання, що може призвести до травм, саден, синців, переломів та інших травматичних ушкоджень.

Засоби пожежогашіння

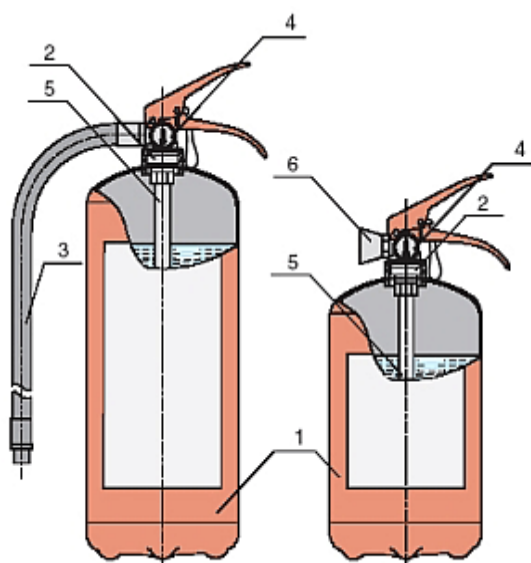
Вогнегасник - це технічний пристрій, спеціально створений для тушіння вогню шляхом викидання вогнегасної речовини під дією надмірного тиску. Він призначений для переносу та використання однією людиною.

Вогнегасники — один з найефективніших первинних засобів пожежогасіння.

Встановлено чотири класи пожежі, а також їх символи:

- клас А — горіння твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);
- клас В — горіння рідин або твердих речовин, які розтоплюються;
- клас С — горіння газоподібних речовин;
- клас D — горіння металів та їх сплавів.
- Порошкові вогнегасники мають широкий спектр застосування і робочий діапазон температур, особливо з зарядом типу АВСЕ. З ними можна успішно гасити різні класи пожеж, включаючи електроустаткування під напругою 1000 В.
- Вогнегасники не призначені для гасіння загорянь лужних і лужноземельних металів та інших матеріалів, які горять без доступу повітря.
- Вогнегасні порошки складаються з мінеральних солей з різними добавками, які перешкоджають їхньому злежуванню і комкуванню. Основні компоненти включають фосфорноамонійні солі, карбонат і бікарбонат натрію та калію, хлориди натрію та калію тощо. До складу також можуть входити кремнеорганічні сполуки, аеросил, біла сажа, стеарати металів, нефелін, тальк та інші добавки.
- Додатковий п'ятий клас (Е) в Правилах пожежної безпеки в Україні введено для позначення пожеж, пов'язаних з горінням електроустановок.

Конструкція порошкових вогнегасників типу ОП-2, ОП-3, ОП-4, ОП-5, ОП-8



- 1 - Корпус
- 2 - Зап'яно-пусковий пристрій
- 3 - Рукав
- 4 - Манометр
- 5 - Сифонна трубка
- 6 - Сопло

11.2. Мікроклімат

створення стабільних метеорологічних умов у робочих зонах важливо для забезпечення високої працездатності та збереження здоров'я робітників. ГОСТ 12.0.005-84 "ССБТ: Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони" надає стандартизовані вимоги для забезпечення комфортних та безпечних умов у промислових середовищах. Поняття метеорологічних умов повітряного середовища включає в себе наступні параметри, а саме: температура та швидкість руху повітря, відносна вологість й інтенсивність теплового опромінення.

Досягнення нормального самопочуття людини під час виконання будь-якої роботи залежить від певної комбінації цих параметрів. Урахування і підтримання оптимальних метеорологічних умов сприяє підвищенню продуктивності та зниженню ризиків для здоров'я працівників.

Значення параметрів, що забезпечують оптимальне самопочуття і найвищу працездатність людини, визнаються оптимальними нормами мікроклімату. Ці норми встановлюються залежно від періоду року й категорії робіт. Періоди року поділяються на теплий та холодний, де теплий

період характеризується середньодобовою температурою вище +10 °С, а холодний - нижче -10 °С, відповідно до сезону.

В приміщенні, де встановлений ферментатор, допускаються наступні оптимальні параметри:

- відносна вологість 40...60 %;
- температура повітря 17...19 °С;
- швидкість руху повітря 0,2 м/с.

Заходи по нормалізації параметрів мікроклімату

Раціональна вентиляція, опалення та кондиціювання повітря є найбільш поширеними методами для нормалізації мікроклімату у виробничих приміщеннях. Повітряне та водоповітряне душення широко використовується для боротьби з перегріванням робітників у гарячих цехах.

На виробництві також використовують захисні екрани для відгородження джерел теплового випромінювання від робочих місць. За принципом захисту від дії тепла екрани можуть бути відбиваючими, поглинаючими, відводними та комбінованими.

Використання засобів індивідуального захисту також має велике значення для профілактики перегрівання. Спецодяг повинен бути повітро- та вологопроникним (бавовняний, лляний, грубововняний), мати зручний крій. Для роботи в екстремальних умовах використовуються спеціальні костюми з підвищеною теплосвітловіддачею. Для захисту голови від випромінювання використовують дюралеві, фіброві каски, повстяні капелюхи; для захисту очей використовують окуляри — темні або з прозорим шаром металу, а також маски з відкидним екраном. Захист від дії

зниженої температури досягається за допомогою теплового спецодягу, а під час опадів — плащів та гумових чобіт.

11.3. Освітлення

У приміщеннях використовується бокове природне та штучне освітлення, яке відповідає вимогам ДБН 0.2.5.10-2006 "Природне і штучне освітлення".

Все технологічне обладнання знаходиться в одному приміщенні, де освітлення складає 200 лк.

У виробничому приміщенні передбачено два види освітлення: робоче та аварійне.

Для аварійного освітлення використовують частину світильників робочого освітлення. В світлий час доби у виробничих приміщеннях освітлення здійснюється крізь вікна та штучне освітлення.

Рациональне освітлення виробничих приміщень визнається важливим показником для забезпечення ефективності та безпеки праці. Ефективне освітлення має безпосередній вплив на робочий процес, здоров'я працівників та загальний стан виробничого середовища.

11.4. Загазованість

Загазованість відбувається під час відбирання проб цвілевих грибів, а також при завантаженні або розвантаженні посівної культури. В повітря поступає пара з класом небезпеки 2 і рівень їх концентрації повинен періодично контролюватись.

Важливо дотримуватись нормативних вимог, зокрема, ГДК (гранично допустимий рівень концентрації) парів, щоб забезпечити безпеку працівників та інших осіб, які можуть перебувати в зоні ризику. Регулярний моніторинг загазованості є ключовим аспектом процесу управління безпекою та здоров'ям працівників відповідно до встановлених нормативів та стандартів.

11.5. Вентиляція

При проектуванні вентиляційних виробничих та допоміжних приміщень основними нормативними документами являються СНіП 1134-82 "Опалення, вентиляція та кондиціювання" та СНіП 247-92 "Санітарні норми проектування промислових підприємств".

Завданням проекту виробничої вентиляції є забезпечення санітарними та технологічними вимогами метеорологічних умов й чистоти повітря у приміщеннях для виробництва ферментних препаратів.

Виробниче приміщення має ефективну систему припливної та витяжної вентиляції з контролюючим повітряним потоком, устаткуванням і приладами для вимірювання вологості, температури, ефективності фільтрації та продуктивність системи витяжної вентиляції складає 80-90% від продуктивності системи припливної вентиляції для забезпечення підпору повітря у "чистому приміщенні".

11.6. Шум

ГОСТ 12.1.003-86 "Шум. Загальні вимоги безпеки" встановлює загальні вимоги безпеки щодо експозиції працівників до шуму на промислових підприємствах. Одним з параметрів, які регулюються, є рівень звукового тиску (шуму) на робочих місцях.

Заходи по боротьбі з шумом і вібраціями можна поділити на дві основні групи: організаційні і технічні.

До організаційних заходів відносяться:

- мінімальні динамічні навантаження, правильний монтаж обладнання;
- правильна експлуатація обладнання, своєчасне проведення ремонтів;
- проведення санітарно-профілактичних заходів (раціональні режими праці і відпочинку, профогляди та ін.) для працюючих.

До основних технічних заходів відносять:

- використання основ і фундаментів, що відповідають динамічному навантаженню обладнання;

- ізоляція фундаментів від несучих конструкцій і технологічних комунікацій;
- теплоізоляція трубопроводів.

Основний напрям боротьби з шумом – послаблення або його ліквідація безпосередньо в джерелі утворення.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот вимірюються за ДСТ 12.1.028.

Рівень звуку й еквівалентний рівень звуку на робочих місцях вимірюється по шкалі *A* шумоміра, відповідно до вимог ДСТУ 12.1.003 та не повинен перевищувати 80 дБ.

11.7. Вимоги до безпеки та охорона праці при експлуатації апаратів колонного типу

1. Апарати для забезпечення безпечної експлуатації мають відповідати вимогам ДСТУ 12.2.003, ДСТУ 12.2.007 та конструкторської документації на апарат конкретного типу.

2. Апарати, що працюють з пожежонебезпечними продуктами, мають бути оснащені пристроями для підключення ліній інертного газу, засобів контролю за тиском інертного газу. Замовником має передбачити автоматичне блокування, яке не допускає роботу апарата при відсутності подачі інертного газу.

3. Апарати мають бути герметичні. Ступінь їх герметичності, а також методи й засоби їхнього випробування на герметичність, варто визначати за ГОСТ 26-11-14.

4. Вали перемішуючих пристроїв, апаратів, що містять вибухонебезпечні й шкідливі речовини, віднесені до 1-го, 2-го й 3-го класів небезпеки за ДСТУ 12.1.007, повинні мати подвійні торцеві ущільнення або ущільнення інших типів, що дасть можливість забезпечити рівноцінну герметичність. На

апаратах, які містять невибухонебезпечні середовища й середовища, віднесені до 4-го класу небезпеки, допускається застосування одинарних торцевих, чепцевих ущільнень і гідрозатворів. Допускається застосування ущільнень для апаратів з вибухонебезпечними, легкогорючими й шкідливими речовинами.

5. Корпуса апаратів та їхні складальні одиниці, які працюють під надлишковим тиском мають бути захищені від неприпустимого підвищення тиску запобіжними пристроями - пружинними клапанами прямої дії або запобіжними мембранами, що встановлюються безпосередньо на апараті або трубопроводах, які примикають до нього.

6. Конструкція апаратів має забезпечувати повне звільнення від залишків робочого середовища перед їхнім розбиранням.

7. Апарати мають бути оснащені штуцерами для їхнього промивання й продування, для установки запобіжних пристроїв, контрольно-вимірювальних пристроїв й арматури. У необхідних випадках для проведення гідравлічних і пневматичних випробувань (як у вертикальному, так й у горизонтальному положенні) мають бути передбачені штуцери для заповнення корпусу апарата й сорочки водою, випуску залишків повітря з верхньої частини корпусу апарата, а також отвір із пробкою й заглушкою для повного зливу води після випробувань.

8. Запірну й запірно-регулюючу арматуру слід встановлювати на штуцерах, безпосередньо приєднаних до апарату або на трубопроводах, що підводять до апарату або відводять із нього робоче середовище. Місце розміщення запірної й запірно-регулюючої арматури визначає організація - розробник технологічного процесу.

9. Порожнисті вали повинні мати технологічні отвори для перевірки на міцність пробним тиском, що зазначений у робочих кресленнях. Після перевірки технологічні отвори мають бути заварені.

10. Електроустаткування апаратів має відповідати вимогам ДСТУ 12.1.019, ДСТУ 12.2.007.0, ДСТУ 12.2.007.1, ДСТУ 14254 і ДСТУ 17494.

11. Електродвигуни апаратів мають відключатися як з робочого місця, так і із приміщення щита керування.

12. Заземлення апаратів з електроприводами мають відповідати вимогам ДСТУ 12.1.030, ДСТУ 12.1.038, ДСТУ 12.2.007.0, при цьому на опорах апарата має бути передбачене два заземлюючі затиски

13. Конструкція заземлюючих затисків, розміщення й розміри знаків заземлення - за ДСТ 21130.

14. Опір між заземлюючими затискачами й кожною доступною дотику металевою частиною ,що не проводить струм, що може виявитися під напругою, не має перевищувати 0,1 Ом.

15. Заземлюючі пристрої, призначені для захисту апаратів від статичної електрики, слід поєднувати із заземлюючими пристроями для електроустаткування.

16.Передачу руху від приводу до перемішуючого пристрою здійснюються способом, що виключає нагромадження небезпечних потенціалів статичної електрики.

17. Зовнішні елементи апаратів, що обертаються, розміщені на висоті менш 2 м від рівня підлоги або майданчика обслуговування, мають бути огорожені. Захисні огороження мають відповідати вимогам ДСТУ 12.2.062.

18. Захисні огороження апаратів слід виконувати з листового матеріалу. В обґрунтованих випадках допускається пристрій захисних огорожень із металевої сітки з комірками не більше 10 мм.

19. Захисні огороження мають бути виконані таким чином, щоб зняття або відкривання їх було можливо лише за допомогою ключів або спеціального інструмента.

20.Захисні огороження не мають обмежувати технічні можливості апаратів, викликати незручності при роботі.

21.Захисні огороження повинні мати гладку зовнішню поверхню й однакові з іншими зовнішніми елементами апаратів покриття й фарбування. Внутрішня поверхня огорожень, що відкриваються, повинна бути пофарбована відповідно до ДСТУ 12.4.026.

22. Огороження майданчиків обслуговування, розташованих на висоті більше 0,6 м, - за ДСТ 23120.

23.Температура зовнішніх поверхонь апаратів або кожухів теплоізоляційних покриттів, доступних дотику з робочих місць обслуговуючого персоналу, не повинна перевищувати 45 °С при установці апаратів усередині виробничих приміщень й 60 °С при зовнішній установці.

24. Температура недоступних дотику обслуговуючого персоналу зовнішніх частин апаратів й електроустаткування, експлуатованих у межах вибухонебезпечних зон виробничих приміщень і зовнішніх установок, не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці 1.

Група вибухонебезпечної суміші за ДСТ 12.1. 011	Температура зовнішніх частин апаратів й електродвигунів, °С, не більше
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Висновки та пропозиції

Для підтримки служби на високому професійному рівні необхідно:

- Своєчасно забезпечувати працівників необхідною літературою з питань охорони праці.

- Постійно ознайомлювати працівників з новими законодавчими документами з питань охорони праці.
- Для запобігання виникнення вібрації встановити амортизатори;
- Встановити систему механічної вентиляції, з метою очищення повітря ділянки упаковки ампул;
- Забезпечити приміщення первинними засобами пожежогасіння;
- Заземлення всіх металевих конструкцій електричного обладнання;
- Забезпечити працівників більш якісними засобами особистої гігієни;
- На видному місці розмістити план евакуації з виробничого персоналу в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 12. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Відходи виробництва включають залишки сировини, матеріалів та напівфабрикатів, які утворюються під час виробництва продукції або виконання робіт, або які втратили повністю або частково свої вихідні споживчі властивості під час процесу виробництва. Також в цю категорію входять попутні речовини, які не знаходять застосування. Відходи виробництва можуть включати побічні та попутні продукти, а також відходи сільського господарства.

Відпрацьоване повітря, що викидається в атмосферу з ферментатора, містить декілька десятків органічних сполук, таких як аміни, альдегіди, жирні кислоти, кетони, спирти, ефіри і інші. Відносна вологість цього повітря наближається до 100%, а також включає в себе культуральну рідину у вигляді дрібних бризок. Вміст кліток продуцента залежить від їх типу, тривалості ферментації і може становити від [значення] до [значення] клітин в одиниці об'єму.

Для підтримки теплового режиму у ферментаторі часто використовують артезіанську воду з температурою 12-15 градусів Цельсія або суміш артезіанської та зворотної води з температурою 15-16 градусів Цельсія. Відпрацьована вода, яка виходить з теплообмінних пристроїв, зазвичай має температуру 18-20 градусів Цельсія. У такому випадку вона направляється в лінію зворотної води і може використовуватися як агент для охолодження в теплових процесах з високими температурними режимами.

Найбільш ефективно використання так званої "охолодженої" води, отриманої для цеху ферментації на спеціальних установках, полягає у її подаванні до теплопровідних пристроїв ферментатора. Вода нагрівається до температури 15-16 градусів Цельсія, а потім через колектор повертається на станцію отримання "охолодженої" води.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Охорона довкілля	221905.MP.11.012.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4	

Мікроорганізм у вигляді суспензії заданої щільності постачається з інокуляторів в промисловий біореактор або ферментатор, в якому міститься стерильне рідке середовище. При цьому важливо уникати попадання будь-яких зовнішніх мікроорганізмів в живильне середовище разом із продуцентом. Усі з'єднання повинні бути герметично закритими.

Класифікація відходів за фізичними властивостями:

Група	Види відходів
Водяні розчини й шлами	Кислі, лужні, неорганічні, органічні нейтральні, змішані органічні і неорганічні
Неводні розчини й шлами	Органічні розчинники (що спалюються), органічні розчинники (що не спалюються), використані масла, використані смоли і жири
Тверді відходи	Дими, що відходять гази, газоподібні теплові потоки
Специфічні відходи (особливо токсичні)	Азбестові, ртуть утримуючі, хлоровані та ін.

В асептиці використовуються різні заходи, такі як вологе прибирання приміщень, обробка їх антисептичними засобами, застосування стерильних інструментів та середовищ, носіння технологічного одягу, а також забезпечення стерильного повітря, наприклад, встановлення столів із ламінарним потоком стерильного повітря у коксованих приміщеннях чи введення стерильного повітря до ферментатора через барботер та інші методи.

Комплекс заходів для забезпечення асептики біотехнологічних процесів включає механічний, фізичний і хімічний захист біооб'єкту та його оточення, включаючи місце існування та, при необхідності, кінцевий продукт. Механічний захист охоплює видалення механічних домішок, таких як частки пилу чи культиватори, герметизацію устаткування та ізоляцію вузлів і з'єднань. Фізичний захист включає обробку повітря і поверхонь

приладів і апаратів ультрафіолетовими променями, кип'ятіння, стерилізацію парою під тиском та обробку ультразвуком. Хімічний захист виявляється в обробці поверхонь хімічними антисептиками.

Повітря, яке подається у ферментатори, повинно бути чистим та стерильним. У цьому контексті використовуються матеріали для фільтрації, які заповнюють загальні та індивідуальні (для кожного ферментатора) фільтри. Після стискування в компресорах та охолодження в теплообміннику, повітря подається до ресивера, який усуває пульсації повітря. Після цього воно проходить через загальний та індивідуальний фільтри в краплеуловлювачі, і лише після цього подається через барботер в культуральну рідину.

Живильне середовище перед засівом будь-якого біооб'єкта також повинно бути стерильним. У мікробній біотехнології зазвичай використовують методи періодичної та безперервної стерилізації. Середовище охолоджують водою через зміювик або сорочку апарату і засівають тим чи іншим біооб'єктом. У ферментаторах рекомендовано утримувати невеликий надлишковий тиск повітря, щоб випадкові витoki відбувалися лише в напрямку від системи, а не навпаки.

При великому різноманітті технологічних рішень пріоритетними способами утилізації відходів повинні стати технології, що забезпечують:

- Високу екологічну безпеку запропонованого технологічного процесу;
- Утилізацію небезпечних відходів безпосередньо на місці їхнього скупчення;
- Уніфіковану технологію для утилізації широкого діапазону небезпечних відходів, що мають різних хіміко-мінералогічний склад;
- Безвідхідний технологічний процес;
- Максимально низьку енергоємність самого процесу утилізації;
- Одержання вихідних продуктів, що мають комерційну цінність.

На сучасному етапі розвитку людства однією з основних вимог стає ресурсозберігаюче відношення до природи. У зв'язку з цим утилізація відходів, які утворюються в сфері виробництва і споживання, має вирішальне значення для розв'язання екологічних проблем, а також для раціонального ресурсоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колосков С.П. Оборудование предприятий ферментной промышленности. / С.П.Колосков, К.; Харчова промисловість 1969. - 383 с.
2. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості. / Ю.І.Сидоров, В.І.Чуєшов, В.П.Новіков, Вінниця. Нова Книга, 2009. - 816 с.
3. Стабников В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. / В.Н. Стабников. К.; Вицашк.,1982. - 199 с.
4. Прохоров О.М. Процеси та обладнання фармацевтичної та мікробіологічної промисловості: / О.М. Прохоров, В.В. Шутюк, Конспект лекцій. -Ч.2.-К.:УДУХТ, 2001. - 216 с.
5. Виестур У.Э. Биотехнология. Биотехнологические агенты, технология, аппаратура./ У.Э. Виестур, И.А. Шмите, А.В. Жилевич – Рига; Зинатне, 1987. – 263 с.
6. Соколенко А.І. Особливості трансформацій енергоматеріальних потоків у замкнених циркуляційних контурах // Наукові праці НУХТ. — 2017. — Т. 23, № 3. — С. 101—106.
7. Пирог Т.П. Загальна біологія / Пирог Т.П. — Київ: НУХТ, 2010. — 632 с.
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. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратного оформления: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. / Гандзюк М.П. — Киев: КТИПП, 1984. — 49 с.
10. Піддубний В.А. Наукові основи і апаратне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.18.12./ Піддубний В.А. — Київ: НУХТ, 2008. — 47 с.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житинецький І.В.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Кузь І.Т.	Назва, додаткова назва Список використаної літератури		221905.MP.11.000.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3

11. Аппарат для выращивания микроорганизмов: а.с. 334241 СССР: МКИ С12В 1/10 / Гандзюк М.П., Соколенко А.И., Мардер А.Ц.; № 1483966/28-13; заявл. 15/10/1970; опубл. 30.03.1972, Бюл. № 12.
12. Соколенко А.І. Енергоматеріальні трансформації в харчових технологіях на основі замкнутих контурів: монографія / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Чагайда А.О. — Київ: Кондор, 2015. — 300 с.
13. Апарат для вирощування мікроорганізмів: пат. на корисну мод. 21064 Україна: МПК С12М 1/02 / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Шевченко О.Ю., Максименко І.Ф.; власник НУХТ. № u200610360; заявл. 29.09.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.
14. Апарат для вирощування мікроорганізмів: пат. на корисну мод. 25561 Україна: МПК С12М 1/02 / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Блаженко С.І., Шевченко О.Ю., Семенов О.М.; власник НУХТ. № u200704080; заявл. 13.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
15. Масообмінний апарат: пат. на корисну мод. 25649 Україна: МПК В01Д 3/18 / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Підлісний В.В., Шевченко О.Ю., Варфоломєєв А.Й.; власник НУХТ. № u200704722; заявл. 27.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
16. Апарат для вирощування мікроорганізмів: пат. на корисну мод. 33120 Україна: МПК С12М 1/02 / Піддубний В.А.; власник НУХТ. № u200801611; заявл. 07.02.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
17. Інновації в обладнанні для аеробного синтезу мікроорганізмів / К.В. Васильківський, М.І. Юхно, В.С. Костюк, В.А. Піддубний // Науковий журнал харчова промисловість НУХТ-2018 ст. 106-116
18. А.с. 1010122 ,СССР. Аппарат для выращивания микроорганизмов/ Мельников И.А., Доросинский Л.Б., Иванцов В.В., Юрьевич Ю.И., Надеждина А.В. . Заявка № 3299794 от 2.06.81, опубл. 7.04.83, кл. С 12М 1/04.
19. А. с. 1161545 СССР. Аппарат для выращивания микроорганизмов/

Мельников И.А, Доросинский Л.Б., Иванцов В.В., Юрьевич Ю.И. Заявка №3690278 от 6.01.84, опубл. 15.06.85, кл. С 12М 1/04.

20. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. - Киев: Наук. думка, 1988. - 144 с.

21. Аппарат для культивирования клеток. А. С. СССР №1233480, МПК С12М 3/00, опубл. 10.02.84

22. Аппарат для выращивания микроорганизмов. А.С. СССР №1423S83, МПК С12М 1/06, опубл. 15.09.88 Б. №34.

23. Аппарат для культивирования микроорганизмов. А.С. СССР №1349241, 6МПК С12М 1/06, опубл. 27.11.95.

24. Марчук Л.П. Біотехнології у контексті сучасних інноваційних змін / Л.П. Марчук // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2013. – Вип. 2. – С. 21 – 28.