

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПАЛАШ АНАТОЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 663.14

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І УДОСКОНАЛЕННЯ
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КУЛЬТИВУВАННЯ МІКРООРГАНІЗМІВ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання
харчових, мікробіологічних та фармацевтичних
виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
ТАРАН Віталій Михайлович,
Національний університет харчових
технологій, завідувач кафедри "Машини і
апарати харчових виробництв"

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
МИРОНЧУК Валерій Григорович,
Національний університет харчових
технологій, завідувач кафедри
«Технологічне обладнання харчових
виробництв»

кандидат технічних наук
ЛЕНЗІОН Валентин Йосипович,
Київський завод шампанських вин
«Столичний», головний інженер

Захист відбудеться “_____” _____ 2011 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий “_____” _____ 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.

Кривопляс-Володіна Л.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток процесного і апаратного підґрунтя в технологіях мікробіологічного синтезу спрямований на поглиблення рівня утилізації матеріальних потоків, зменшення витрат первинних енергоносіїв і рекуперації вторинних енергетичних потоків – це шлях до зниження собівартості продукції і підвищення її якості, підвищення ефективності економічної діяльності підприємств та їх конкурентноздатності.

Актуальність теми дисертації зростає в умовах світової економічної кризи, зростаючих обмежень у використанні первинних енергоносіїв, погіршення якісних характеристик вхідних матеріальних потоків сировини, що підлягає переробці, погіршення стану екології.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з Програмою Кабінету Міністрів України "Україна 2010" (проект 4 "Технологічне та технічне оновлення виробництва"), держбюджетною темою Національного університету харчових технологій "Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації і автоматизації", держбюджетною темою НУХТ "Розроблення новітніх способів інтенсифікації масообмінних процесів харчових технологій" (Міністерство освіти і науки України, 2008–2009 рр., державний реєстраційний № 0108U010362).

Мета і завдання досліджень. Метою і завданням дослідження є розвиток наукової бази в інтересах інтенсифікації масообміну в газорідинних культуральних середовищах для вирощування мікроорганізмів.

Об'єктом досліджень є масообмінні процеси на межі поділу фаз, пов'язані з геометрією апаратів і гідродинамічними параметрами середовищ.

Предметом досліджень є взаємозв'язки між вхідними параметрами матеріальних і енергетичних потоків, гідродинамікою, геометрією апаратів та масообміном в створюваних газорідинних потоках.

Методи дослідження включають аналітичне моделювання, аналіз рівнянь і умов масообміну в стаціонарних і перехідних режимах, лабораторні дослідження, феноменологічні міркування. В їх основі лежать класичні положення гідростатики, гідродинаміки, теорії масообміну, розчинності газів, закони збереження енергії, принципи Ле Шательє, суперпозиції тощо.

Наукова новизна одержаних результатів. Набули подальшого розвитку уявлення, що стосуються явищ масообміну в газорідинних середовищах у зв'язку з геометрією апаратів для вирощування мікроорганізмів, створення циркуляційних контурів, перерозподілу енергетичних потоків.

Встановлено взаємозв'язки між геометричними параметрами апаратів, термодинамічними параметрами процесів аерації, їх енергетичним забезпеченням та масообміном.

Одержано співвідношення між величинами міжфазних поверхонь і швидкостями розчинення газів стосовно використання замкнутих аераційних си-

стем з підвищеними тисками і рециркуляцією газових потоків.

Розроблено наукове підґрунтя в напрямку оцінки нестационарних параметрів циркуляційних контурів, що створюються в умовах масового барботажу, показано, що проявом нестационарності рідинних і газорідинних потоків є генерування потенціальних інерційних полів.

Показано, що енергія створення міжфазної поверхні за інших рівних умов залежить від гідростатичних тисків в зонах розташування барботажних елементів.

Встановлено, що за показником утримувальної здатності газової фази існує висотна нерівномірність, наслідком якої є нерівномірність поля швидкостей в циркуляційних контурах, а температурні режими культивування мікроорганізмів впливають на рушійний потенціал масоперенесення.

Практичне значення одержаних результатів. Підтверджено прогнози щодо можливості впливу на динаміку розчинення кисню в рідинній фазі за рахунок відповідного вибору співвідношення висоти і діаметра апарата.

Показано, що механічні впливи на газорідинні середовища є доцільним методом інтенсифікації масообміну, оскільки вони не викликають додаткових хімічних трансформацій.

Встановлена перспективність використання замкнутих систем аерації культуральних середовищ з підвищеними тисками і частковою рециркуляцією газових потоків у використанні апаратів зі збільшеним відношенням висоти до діаметра та можливість додаткової інтенсифікації масообміну за рахунок створення потенціальних полів сил інерції.

Розроблено методики розрахунків по оцінці впливів від трансформації енергетичних потоків на масообмін, запропоновано на рівні винаходів пропозиції щодо удосконалення технологічного обладнання і перетворення низькопотенціальних вихідних теплових потоків у високопотенціальні.

Одержано практичні рекомендації щодо інтенсифікації масообмінних процесів за рахунок організованих впливів, починаючи від вибору геометричних параметрів середовищ, апаратів та технологічних прийомів.

Особистий внесок здобувача полягає у критичному аналізі вихідних матеріалів, що стосуються апаратурного, процесного і технологічного забезпечення біологічного синтезу хлібопекарських дріжджів в аеробних умовах, розробці математичних моделей і практичних рекомендацій стосовно гідродинаміки та масообміну в газорідинних двофазних середовищах, створенні рекомендацій щодо ефективних і доцільних заходів по трансформації вхідних і вихідних енергетичних потоків, створенні лабораторного стенду і реалізації експериментальних досліджень, розробці пропозицій щодо технологій промислового рівня.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на III Міжнародній науково-технічній конференції "Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности" (приоритеты развития) (ВДТА, м. Воронеж, 2009), на міжнародній науково-практичній конференції "Новітні технології, обладнання, безпека та якість

харчових продуктів: сьогодення та перспективи" (НУХТ, м. Київ, 2010), наукових семінарах кафедри "Машини і апарати харчових виробництв" НУХТ, демонструвалися на тематичних виставках.

Робота виконувалася на кафедрі "Машини і апарати харчових виробництв".

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 6 наукових статей у фахових виданнях, 2 тези за матеріалами науково-практичних конференцій, одержано 6 патентів України.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків та списку використаних літературних джерел, який містить 127 найменувань.

Робота виконана на 134 сторінках машинописного тексту, містить 45 рисунків, 14 таблиць та додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету досліджень, показано перспективність і наукову новизну та практичну цінність роботи.

У першому розділі виконано огляд і критичний аналіз літературних джерел, які стосуються технологічного процесного і апаратного забезпечення аеробного синтезу хлібопекарних дріжджів та інших мікроорганізмів. Висвітлено основні проблеми на рівні необхідності синхронізації динаміки подавання в середовища живильних компонентів, розчинення кисню та приросту біомаси.

Визначено основні напрямки досліджень і дано оцінку їх перспективності.

Результати огляду та аналізу літературних джерел, сучасного досвіду промисловості та напрямків досліджень в паралельних галузях дозволили сформулювати наступні висновки.

1. Синтез аеробних мікроорганізмів у своїй ефективності в значній мірі залежить від рівнів концентрації розчиненого кисню в культуральних середовищах. Технологічні режими при цьому будуються на основі балансів вхідного потоку живлення, доставки в середовища кисню і динаміки приросту біомаси. Забезпечення розрахункового вхідного потоку живлення не викликає складностей, як і підтримання номінальної температури середовища. Бажання мати високий рівень приросту біомаси приводить до протиріччя з можливостями аераційних систем. Саме останнє приводить до зниження виходу цільової продукції. Наприклад, у виробництві хлібопекарських дріжджів виходи по мелясі знаходяться у діапазоні від 65 до 90 %. Практично перевірено і теоретично узгоджено положення про те, що координата у вказаному діапазоні 65–90 в значній мірі залежить від концентрації розчиненого кисню. Саме це визначає необхідність подальшого пошуку в напрямку удосконалення обладнання для вирощування мікроорганізмів, аераційних систем та інтенсифікації процесів масообміну в газорідних системах.

2. Подальший розвиток теоретичного підґрунтя стосується співвідно-

шень геометричних параметрів апаратів, особливостей енерговведення з вхідним газовим потоком та формування міжфазної поверхні. Існує необхідність в оцінці впливів співвідношень геометричних параметрів апаратів на рушійний фактор масообміну та гідродинаміку газорідинних середовищ.

3. Сучасний рівень теорії, що стосується дискретно-імпульсних тепло-технологій і кавітаційних явищ дозволяє розповсюдити її на газорідинні системи і застосувати такі методи для інтенсифікації масообміну в них.

4. З урахуванням особливостей перебігу масообмінних процесів в газорідинних середовищах значної висоти тепломасообмінні процеси, що в них відбуваються, слід віднести до нестационарних нелінійних процесів. У зв'язку з цим застосування лінійних кінетичних рівнянь стосовно них можливе лише за певних застережень.

5. В основу нових поглиблених досліджень масообмінних процесів доцільно покласти енергетичні співвідношення. У зв'язку з цим заслуговує на увагу вивчення і одержання теоретичного підґрунтя трансформації енергетичних і матеріальних вхідних і вихідних потоків та їх впливів на процеси масообміну і біосинтезу.

У зв'язку з викладеним визначено наступні задачі дослідження.

1. Здійснити поглиблене вивчення технологій і синтезу мікроорганізмів і встановити закономірності щодо впливів геометричних параметрів на масообмін в середовищах культивування мікроорганізмів.

2. Визначити доцільність і перспективи культивування мікроорганізмів за підвищених тисків в умовах рециркуляції повітряних потоків.

3. Виконати оцінку швидкоплинних змін тисків в газовому середовищі на масообмінні процеси.

4. Розробити математичний апарат взаємодії газових бульбашок з рідинним середовищем в режимі генерування масових сил і нестационарних рідинних потоків.

5. Виконати оцінку і розробити прикладний математичний опис трансформації енергетичних потоків газової, рідинної фаз та газорідинних сумішей.

6. Виконати дослідження по оцінці впливів температур на масообмін і режими культивування мікроорганізмів.

7. Виконати експериментальну перевірку окремих теоретичних положень стосовно взаємозв'язків параметрів динамічних газорідинних систем.

8. Розробити пропозиції щодо удосконалення апаратного оформлення процесів культивування аеробних мікроорганізмів, економного використання енергетичних ресурсів і рекуперації енергетичних потоків, інтенсифікації масообмінних процесів.

У другому розділі наведено методики, що стосуються теоретичних, феноменологічних і експериментальних досліджень, виконано перелік законів, принципів і припущень, покладених в основу аналітичних моделей.

Експериментальні дослідження, пов'язані з оцінкою впливу фактора β нерівномірності розподілу газової фази по поперечному перерізу апарата на

величину газотримувальної здатності мали своїм завданням оцінити масштаб таких впливів і перспективи пошуків і розробок у цьому напрямку. При цьому

$$\beta = S_{\text{б.п.}} / S_{\text{ап}}, \quad (1)$$

де $S_{\text{б.п.}}$ та $S_{\text{ап}}$ – відповідно площа барботажного елемента і поперечного перерізу апарата.

Дослідження виконувалися на лабораторному стенді (рис. 1), у складі

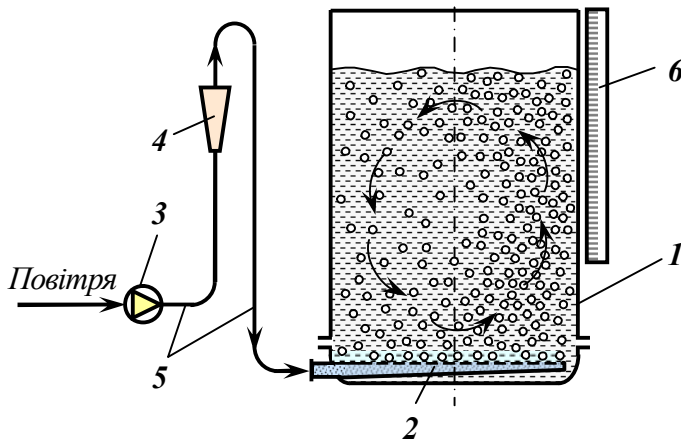


Рис. 1. Схема лабораторного стенда до оцінки впливу нерівномірності газового потоку на величину утримувальної здатності газової фази

якого є реактор 1 з внутрішнім діаметром 300 мм і виготовленим з органічного скла, з плоскою аераційною системою 2, забезпеченою можливістю довільного блокування частини барботажних отворів. Стенд також устатковано повітродувною машиною 3, ротаметром 4 РС-7, відповідними трубопроводами 5 та засобами виміру висоти рідинної та газорідинної суміші в реакторі 6.

Діаметр барботажних отворів прийнято рівним 2 мм, а крок їх розташування

– 15 мм. За прийнятої швидкості газової фази в отворах 10 м/с та їх кількості $z = 196$ штук, розрахунковий газовий потік склав $0,00615 \text{ м}^3/\text{с}$, а приведена швидкість $w_{\text{пр}} = 0,087 \text{ м/с}$.

Величина β в досліджуваннях змінювалася від 0,6 до 0,3 з кроком 0,05. Результати досліджень представлені на рис. 2 та 3, а у табл. 1 наведено експериментальні та розрахункові дані, що стосуються часу спливання газових бульбашок $\tau_{\text{спл}}$, абсолютної швидкості газової фази $w_{\text{абс}}$ та швидкості рідинної фази в циркуляційних контурах $w_{\text{рід}}$.

Таблиця 1

Залежність утримувальної здатності від величини β при $w_{\text{пр}} = 0,087 \text{ м/с}$

β	0,64	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Висота набухання шару ΔH , м	0,102	0,1	0,096	0,092	0,0865	0,0795	0,07	0,055
Утримувальна здатність u , м^3	0,00721	0,00707	0,00678	0,0065	0,0062	0,0056	0,00495	0,00389

В результаті математичної обробки одержано залежності $\lg \frac{1}{\Delta H} =$

$$= 1,52 - 0,867\beta \text{ та } \lg \frac{1}{w_{\text{рід}}} = 2,013 + 1,673\beta.$$

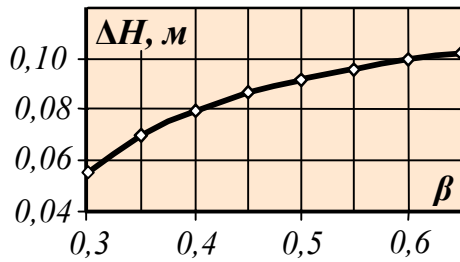


Рис. 2. Графік залежності висоти набухання ΔH від фактора нерівномірності β при $w_{\text{пр}} = 0,087$ м/с

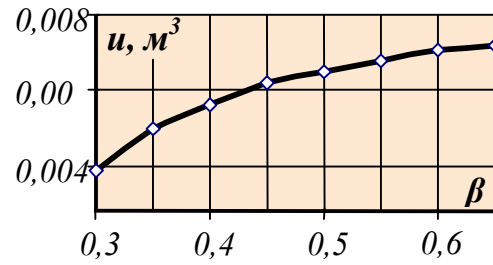


Рис. 3. Графік залежності утримувальної здатності від фактора нерівномірності β при $w_{\text{пр}} = 0,087$ м/с

Таким чином, експериментальні дослідження підтверджують помітний вплив фактора нерівномірності газового потоку на гідродинамічні параметри середовища.

Третій розділ присвячено дослідженням інтенсифікації масообмінних процесів з урахуванням особливостей мікробіологічних технологій і синтезу мікроорганізмів. Феноменологічні міркування і накопичений досвід технологічної мікробіології вказують на те, що швидкість нарощування біомаси або синтезу цільових речовин визначаються, по-перше природними властивостями мікроорганізмів і, по-друге, умовами живильного та навколишнього середовищ. Саме останні є факторами впливу, що можуть бути реалізованими.

Ілюстрація, що відображає впливи концентрацій c_{τ} розчиненого кисню на приріст біомаси dG/dt , наведена на рис. 4.

З рисунка видно, що загальний результат синтезу в значній мірі визна-

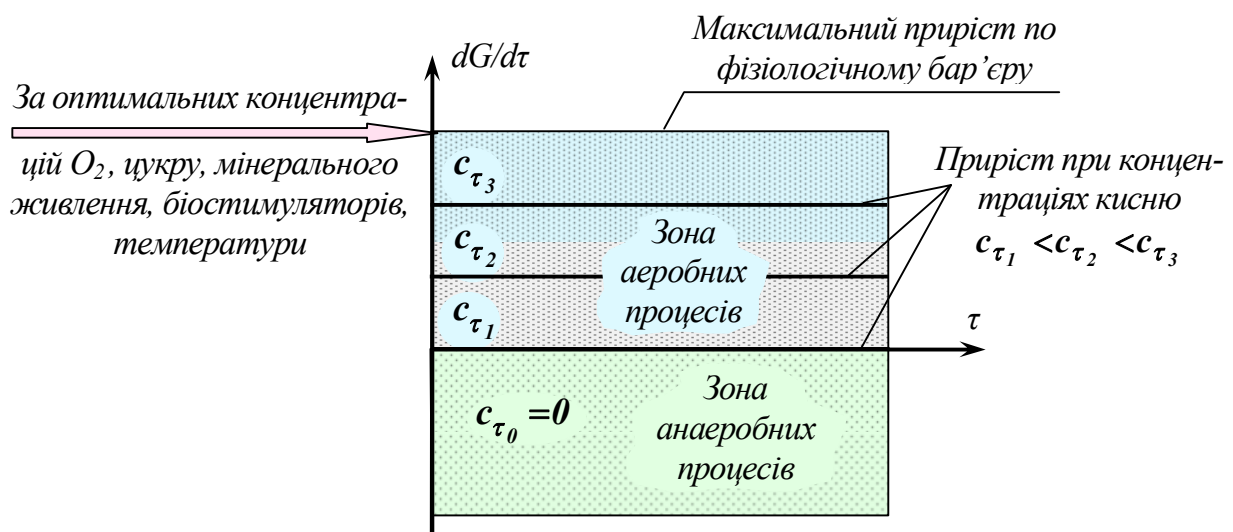


Рис. 4. Ілюстрація щодо впливу масообміну по кисню на приріст біомаси дріжджів

часться саме концентрацією розчиненого кисню. Очевидно, що при цьому має значення і однорідність середовища за його концентраційними і термодинамічними характеристиками, які забезпечуються масовим барботажем повітря, виникненням циркуляційних контурів, розширенням дискретної газової фази, по мірі спливання ансамблів газових бульбашок, явищами, наближеними до кавітації.

У зв'язку з відміченим до числа задач цього розділу віднесено поглиблений аналіз особливостей масообмінних процесів в середовищах мікробіологічного синтезу, взаємозв'язків між геометричними параметрами апаратів з гідродинамікою середовищ, їх енергетичним забезпеченням, рушійними параметрами процесів та технічною організацією їх інтенсивного виконання.

Теоретичне підґрунтя особливостей масообміну в газорідинних середовищах вказує на те, що головний опір масопередачі для кисню, як газу з обмеженою розчинністю, створюється в рідинних плівках на поверхні поділу фаз. Впливає на величину цього опору швидкість оновлення поверхні, яка є функцією відносної швидкості. Остання визначається співвідношенням Архімедових сил і сил опору середовища спливанню бульбашок. При цьому абсолютна швидкість газової фази може суттєво переважати відносну за рахунок швидкості рідинної фази в циркуляційних контурах:

$$\bar{V}_{\text{абс.}} = \bar{V}_{\text{відн.}} + \bar{V}_{\text{рід.ф.}} \quad (2)$$

Наявність швидкості рідинної фази $\bar{V}_{\text{рід.ф.}}$ на швидкість масоперенесення безпосередньо не впливає, але при цьому існує неопосередкований вплив, пов'язаний з прискореним винесенням газової фази, зменшенням газоутримувальної здатності та кількості розчиненого кисню за одиницю часу.

Важливим параметром масообміну є стала насичення середовища киснем c_n , оскільки вона разом з плинною концентрацією c_t є функцією властивостей рідинної і газової фаз та величини парціального тиску. В умовах барботажу парціальний тиск визначається через значення гідростатичних тисків, а тому співвідношення геометричних параметрів апаратів і відповідно середовищ впливають на величину c_n разом з величиною атмосферного тиску. У зв'язку з останнім визначення середніх значень сталих насичення, наприклад, у порівняльній оцінці показників середовищ висотою 8 і 4 м приводить до виду

$$\frac{c_{n8c}}{c_{n4c}} = \frac{\frac{k(P_{18} + P_{10})}{2}}{\frac{k(P_{14} + P_{10})}{2}} = 1,167, \quad (3)$$

де P_{10} , P_{14} та P_{18} – відповідно атмосферний та максимальні гідростатичні тиски у апаратах з відповідною висотою рідинної фази.

Таким чином, зростання середньої сталої насичення за вказаного переходу від висоти $H = 4$ м до $H = 8$ м становить 16,7 %. Разом з тим зростання потужності вхідного газового потоку збільшується у 2 рази, оскільки стискан-

ня повітря повітродувною машиною здійснюється від величини атмосферного тиску 10 м в.ст. Це означає, що перепад тисків зростає у 2 рази. У табл. 2 наведено дані розрахунків, які стосуються вказаних переходів, а на рис. 5 наведена графічна залежність, що відображує енергетичні параметри і сталі насичення за умови, що величина газового потоку у порівнюваних випадках залишається сталою.

Таблиця 2

Дані змін, що стосуються сталих насичення і потужностей в енергозабезпеченні процесів аерації середовищ

Висота шару рідинної фази, м	Середній абсолютний тиск газової фази, м в.ст.	Відношення $\frac{c_{nci}}{c_{nc4}}$	Відношення потужностей N_i/N_4
2	11	—	—
4	12	1,0	1,0
6	13	1,083	1,5
8	14	1,167	2,0
10	15	1,25	2,5
12	16	1,333	3,0
14	17	1,417	3,5
16	18	1,5	4,0
18	19	1,58	4,5
20	20	1,667	5,0
22	21	1,75	5,5
24	22	1,833	6,0
26	23	1,917	6,5
28	24	2,0	7,0
30	25	2,083	7,5

Однак для ізооб'ємних апаратів інтенсивність аерації при переході від чотириметрових до восьмиметрових підвищиться вдвічі, оскільки вдвічі зменшиться площа поперечного перерізу. Це означає, що приведена швидкість газового потоку зростає вдвічі і приблизно вдвічі збільшується швидкість розчинення кисню, а зростання сталої насичення на 16,7 % є помітним позитивним додатком.

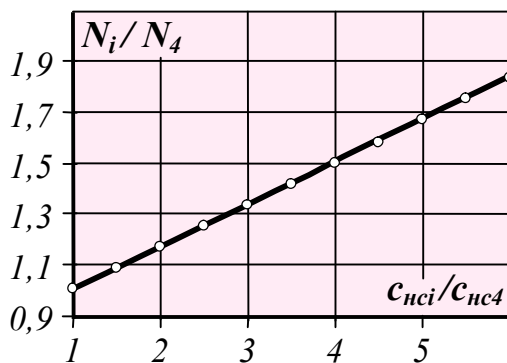


Рис. 5. Графік залежності N_i/N_4 від співвідношення параметрів c_{nci}/c_{nc4}

Наведені дані засвідчують доцільність аерації середовищ в умовах підвищених тисків в апаратах. Так за умови рідинного середовища висотою 4 м і при додатковому тиску газової фази над рідинним середовищем 0,04

МПа зростання сталої насичення c_n становитиме 33 %. Разом з тим обмеження енерговитрат при цьому можна отримати за рахунок рециркуляції

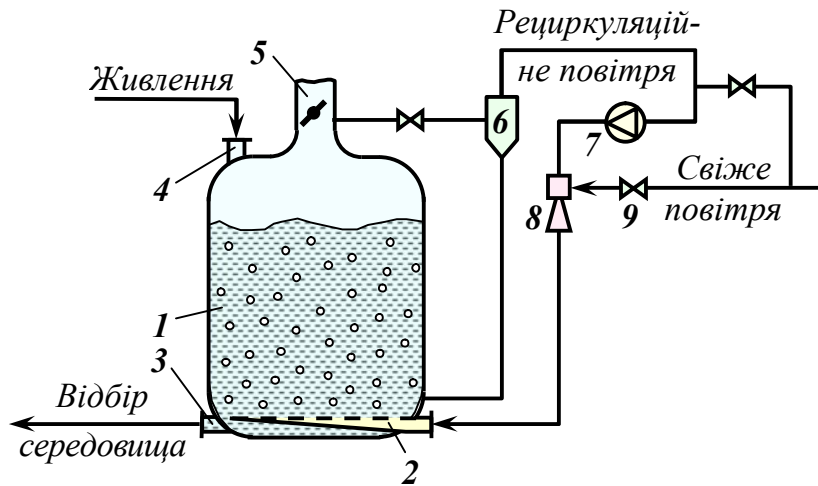


Рис. 6. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів з рециркуляційною системою постачання повітря: 1 – апарат; 2 – аераційна барботажна система; 3 – патрубок відведення середовища; 4 – патрубок підведення живлення; 5 – витяжна труба; 6 – циклон; 7 – повітродувна машина; 8 – ежектор; 9 – запірна арматура

повітря у спеціальній схемі живлення (рис. 6).

Частка свіжого повітря повинна складати 20-30%. У випадках технологій подовженого культивування мікроорганізмів в режимах з відборами відпрацьоване повітря з товарного апарату може спрямовуватися у відбірний апарат для аерації культурального середовища.

Досягнуто оцінки впливів швидкоплинних змін тисків в апаратах на величини міжфазних поверхонь і масообмін по кисню.

В ізотермічному процесі об'єми і тиски газової фази пов'язані залежністю

$$P_1/P_2 = V_2/V_1 \quad (4)$$

і при цьому відношення поверхонь за сферичної форми бульбашок становить

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\sqrt[3]{\frac{P_1}{P_2}} \right)^2 \quad (5)$$

Для адіабатного процесу відповідно маємо

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt[k]{\frac{P_1}{P_2}} \quad \text{та} \quad \frac{S_{62}}{S_{61}} = \left(\sqrt[3]{\sqrt[k]{\frac{P_1}{P_2}}} \right)^2,$$

де k – показник адіабати.

На рис. 7 представлено розрахункові співвідношення ізотермічного процесу.

Зменшенню співвідношень тисків P_2/P_1 (або збільшенню тиску в апараті) відповідає зменшення міжфазної поверхні, але разом з тим зростає стала насичення s_n , що означає подвійний характер впливу.

Інтегральний вплив у змінах тиску оцінимо на основі відомого рівняння масопередачі

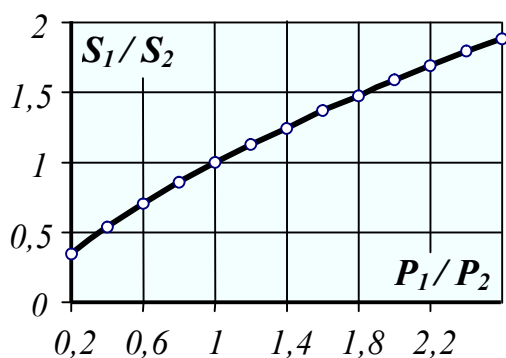


Рис. 7. Залежність співвідношень поверхонь бульбашок від спів відношень тисків в умовах ізотермічного процесу

Для одержання порівняльних характеристик прийнято значення $k_m = 1$, $S_{(п)} = 1$, $P_{(п)} = 0,12$ МПа, $c_{н(п)} = 0,01$ кг/м³ та $c_\tau = 0,002$ кг/м³. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахункові дані щодо оцінки впливів зміни тисків на швидкість розчинення кисню в умовах ізотермічного процесу

$P_{(п)}/P$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$\left(\sqrt[3]{\frac{P_{(п)}}{P}}\right)^2$	0,342	0,543	0,711	0,86	1,0	1,129	1,25	1,37	1,48	1,59	1,69	1,79	1,89	1,987	2,08
$c_{н(п)} \frac{P}{P_{(п)}}$	0,05	0,025	0,0167	0,0116	0,01	0,0089	0,00714	0,0625	0,0056	0,005	0,00455	0,00417	0,00385	0,00357	0,00333
$c_{н(п)} \frac{P}{P_{(п)}} - c_\tau$	0,048	0,023	0,0147	0,00963	0,008	0,00686	0,00514	0,00425	0,0036	0,003	0,00255	0,00217	0,00185	0,00157	0,00133
$\frac{dM_{O_2}}{d\tau}$	0,0164	0,0125	0,01	0,0085	0,0075	0,0068	0,0062	0,0057	0,00526	0,00477	0,0043	0,00388	0,00349	0,00312	0,00277

Накладена умова щодо ізотермічного перебігу процесів трансформації газової фази означає певні обмеження у швидкості змін вказаних тисків.

стосовно адіабатних процесів маємо

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_m S_{(п)} \left(\sqrt[3]{\sqrt[k]{\frac{P_{(п)}}{P}}} \right)^2 \left(c_{н(п)} \frac{P}{P_{(п)}} - c_\tau \right). \quad (8)$$

Результати розрахунків наведені у табл. 4 та на рис. 8.

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_m S (c_n - c_\tau), \quad (6)$$

де k_m – коефіцієнт масопередачі.

Тому з врахуванням визначених залежностей запишемо для ізотермічного процесу

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_m S_{(п)} \left(\sqrt[3]{\frac{P_{(п)}}{P}} \right)^2 \left(c_{н(п)} \frac{P}{P_{(п)}} - c_\tau \right) \quad (7)$$

де доданий індекс (п) означає початковий параметр впливу; P – плинне значення тиску.

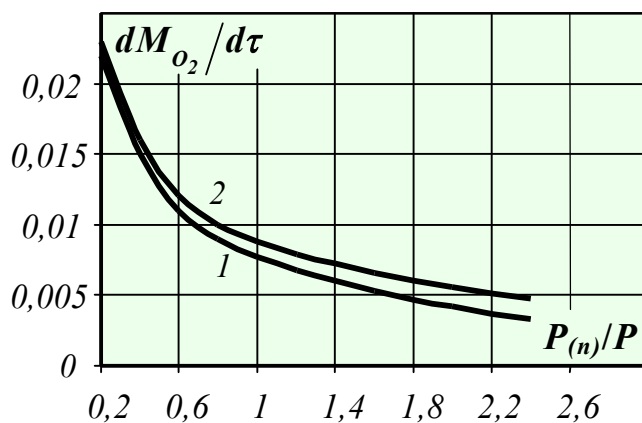


Рис. 8. Залежність швидкості розчинення кисню від співвідношення тисків: 1 – за плинної концентрації розчиненого кисню 0,002 кг/м³; 2 – за плинної концентрації 0,001 кг/м³

Наведені міркування щодо оцінки впливу і вибору діапазонів змін тисків стосуються змін поверхонь поділу фаз та величин сталих насичення c_n . Однак зміни поверхонь контактування фаз за умови пульсацій тисків несуть в собі додатковий фактор інтенсифікації, пов'язаний з k_m , оскільки пульсації бульбашок впливають на швидкість оновлення рідинних плівок.

Таблиця 4

Співвідношення даних, що характеризують інтенсивність масообміну

$P_{(n)}/P$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$\frac{dM_{O_2}}{d\tau}$	0,022	0,015	0,012	0,009	0,008	0,007	0,006	0,0053	0,0047	0,0042	0,0037	0,0033	0,0029	0,0026	0,0022
$c_\tau = 0,001$	0,023	0,016	0,012	0,01	0,009	0,008	0,0072	0,00657	0,006	0,00556	0,00516	0,0048	0,00445	0,0042	0,00394

В режимі спливання ансамблів бульбашок в рідинній фазі змінюються їх об'єми і залежність між плинним діаметром d і початковим $d_{(n)}$ має вид:

$$d = d_{(n)} \sqrt[3]{\frac{H_{(n)}}{H}}, \quad (9)$$

де $H_{(n)}$ та H – початкова і плинна висота шару рідинної фази над бульбашкою.

У відповідності до цих змін зростає відносна швидкість диспергованої газової фази відповідно до залежності

$$w_{\text{відн}} = \sqrt{\frac{32\rho g d_{(n)} \sqrt[3]{\frac{H_{(n)}}{H}}}{3\xi}}, \quad (10)$$

де ξ – коефіцієнт опору середовища.

Оскільки різниця між рушійними силами і силами опору викликана збільшенням об'єму бульбашок, то локалізований висхідний газорідинний потік (наприклад, в дифузорі) повинен збільшувати швидкість рідинної фази. Останнє означає генерацію прискорень і сил інерції, тобто наявність інерційних впливів на користь масообміну.

Разом з тим співвідношення між відносною і абсолютними швидкостями газової фази в рідинній вказують на те, що помітно переважна частка енергетичного потоку витрачається не раціонально на створення циркуляційних рідинних контурів і енергетичну дисипацію. Наявність інерційних впливів вертикального спрямування в сукупності з потенціальним полем сил тяжіння приводить до зміни результуючого вектора-градієнта і можливості впливати на Архімедову силу та через неї на відносну швидкість диспергованої газової фази. Так у разі використання дифузора з параметрами, що відповідають рис. 8, за величини газорідинного потоку $V_{\text{пот}} \approx \text{const}$ одержуємо швидкості потоку на вході і на виході з нього:

$$w_{\text{вх}} = \frac{4V_{\text{пот}}}{\pi D_{(\text{п})}^2} \quad \text{та} \quad w_{\text{вих}} = \frac{4V_{\text{пот}}}{\pi D_{(\text{к})}^2}.$$

У разі конічної форми дифузора прискорення в кожному перерізі буде сталим

$$a = \frac{8V_{\text{пот}}^2 \left(\frac{1}{D_{(\text{к})}^2} - \frac{1}{D_{(\text{п})}^2} \right)^2}{\pi^2 h}. \quad (11)$$

За вказаної на рис. 9 орієнтації дифузора результуючій Архімедової сили відповідає від'ємний знак:

$$R_{\text{Ар}} = \rho \left(g \mp \frac{8V_{\text{пот}}^2 \left(1/D_{(\text{к})}^2 - 1/D_{(\text{п})}^2 \right)^2}{\pi^2 h} \right) V_{\text{т}}, \quad (12)$$

де $V_{\text{т}}$ – об'єм газової бульбашки.

У разі ж переорієнтації дифузора на розширення потоку – додатній знак.

Відмічені особливості сукупності потенціальних полів сил інерції і сил тяжіння у впливах на результуючу рушійної сили досліджені у нестационарних і перехресних рідинних потоках та стосовно переміщень газорідинних потоків криволінійними траєкторіями.

Четвертий розділ присвячений оцінці трансформації газових і газорідинних потоків та їх енергетичного підґрунтя. Завдання цього розділу визначено як вивчення взаємодії вхідного матеріального і енергетичного потоків газової фази, що вводиться в рідинне середовище, і оцінка перспектив підви-

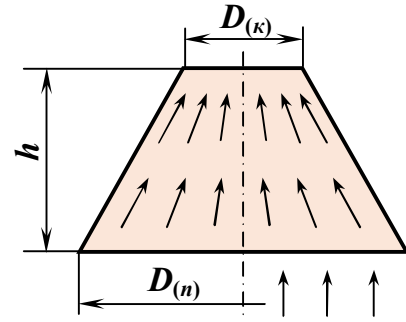


Рис. 9. Розрахункова схема до визначення прискорення руху газорідинного потоку

щення результативності зовнішнього енерговведення.

Рівень стискання повітря в повітродувних машинах відповідає величині гідростатичного тиску на рівні встановлення барботажних елементів. З врахуванням швидкоплинності стискання вважаємо цей процес адіабатним і на рис. 10 та 11 показано питомі енергетичні витрати та кінцеві температури відповідно в залежності від рівня стискання.

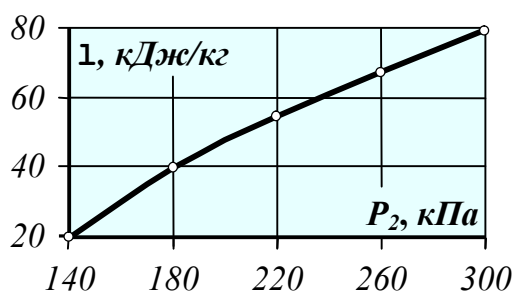


Рис. 10. Графік залежності роботи стискання 1 кг повітря від $P_1 = 100$ кПа до значення P_2

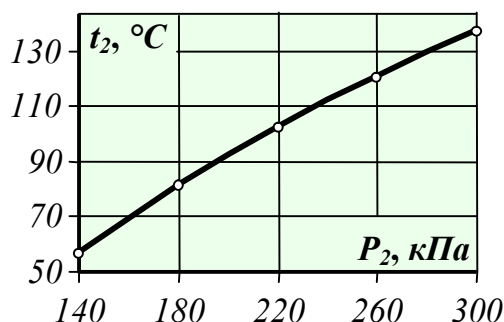


Рис. 11. Графік залежності температури стиснутого газу при $t_1 = 27$ °C і $P_1 = 100$ кПа від кінцевого тиску P_2

Кінцеві температури в залежності від початкових і рівень стискання досягають значень, за яких стає можливим термошок мікроорганізмів при введенні газової фази в рідину. У зв'язку з цим наступним є ізобаричне охолодження повітря.

Результати розрахунків щодо цих процесів представлені на рис. 12 та 13.

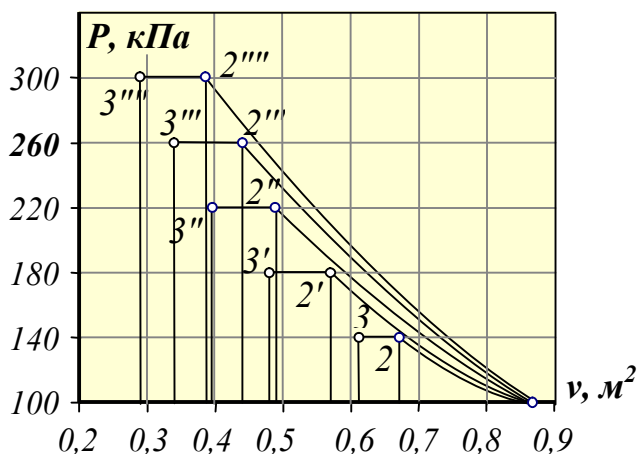


Рис. 12. Графік залежності $P = P(V)$ для етапів адіабатного стискання і ізобаричного охолодження до $t = 303$ K

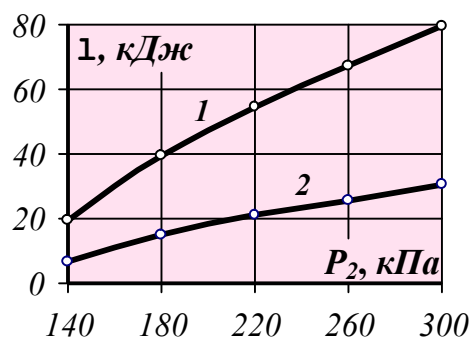


Рис. 13. Графік роботи адіабатного стискання повітря (1) та роботи на підтримання тиску за ізобаричного охолодження (2)

Наступним є процес створення міжфазної поверхні, питомі енергетичні витрати якого відображені на рис. 14. Зменшення енергії утворення міжфазної поверхні, що визначається за виразом $E = \sigma S$, де σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідинної фази, пов'язано зі зростанням тиску і загальним зменшенням

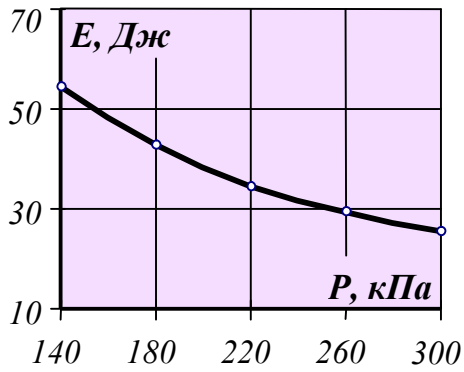


Рис. 14. Графік залежності енергії створення міжфазної поверхні від тисків

де індекси при параметрах p та v відповідають діаграмі $p-v$ (рис. 15).

Дослідження щодо параметрів бульбашок привели до співвідношень:

$$\frac{V_{\delta}}{V_{\delta(n)}} = \frac{d^3}{d_{(n)}^3}; \quad d = d_1 \sqrt[3]{\frac{V_{\delta}}{V_{\delta(n)}}}; \quad (14)$$

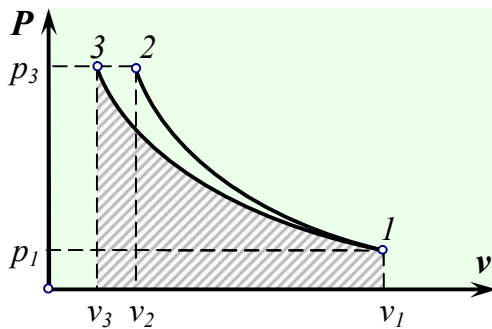


Рис. 15. Залежність $p = p(v)$ повного циклу стискання ізобаричного охолодження і ізотермічного розширення газової фази в процесах аерації рідинних середовищ

об'єму газу, що приймає участь у процесі.

Враховуючи, що утворення дисперсної газової фази відбувається на відносно обмеженій висоті (від 50 до 100 мм), в роботі рахувалося, що воно є одночасно ізотермічним та ізобаричним процесом.

Спливання газових бульбашок пов'язане з їх ізотермічним розширенням і відповідною роботою розширення

$$\ell = p_3 v_3 \ln \frac{v_1}{v_3}, \quad (13)$$

$$S = S_{(n)} \frac{d^2}{d_{(n)}^2}. \quad (15)$$

Оскільки об'єми бульбашок визначаються через тиски і вони пропорційні ним, то і повисотна зміна об'єму газової фази в цілому пропорційна відношенням тисків. Це означає, що утримувальна здатність по газовій фазі буде змінною по висоті:

$$u = \frac{p_1 v_{1\text{пит}}}{\rho g w_{\delta}} \ln H, \quad (16)$$

де w_{δ} – швидкість спливання бульбашки.

$$w_{\delta} = \sqrt{\frac{2\rho g v_{(n)\delta} \frac{\rho g H + P_0}{\rho g (H - x) + P_0}}{\xi \pi \left(\frac{3}{4\pi} v_{(n)\delta} \frac{\rho g H + P_0}{\rho g (H - x) + P_0} \right)^{2/3}}}. \quad (17)$$

Виконана оцінка впливів температур на масообмін і режими культивування мікроорганізмів, розроблено рекомендації щодо стабілізації температур, у тому числі і з трансформацією низькотемпературних вихідних тепло-

вих потоків, що створюються за рахунок синтезу біомаси.

ВИСНОВКИ

Виконаний аналіз літературних джерел, досягнень сучасних технологій в галузі синтезу мікроорганізмів, загального стану промисловості, напрямків наукових пошуків по оптимізації процесів, а також виконані теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють відмітити наступні результати і висновки.

1. Показано, що результативність процесів аеробного синтезу мікроорганізмів у значній мірі визначається концентрацією розчиненого кисню в культуральних середовищах при забезпеченні інших номінальних умов. Відсутність повноцінних балансів у динаміці споживання мікроорганізмами кисню та інших компонентів живлення є причиною значень виходів, які на 20–35 % не досягають можливих максимальних.

2. Визначено, що до числа екологічно ощадливих відносно мікроорганізмів і кінцевого цільового продукту відносяться механічні впливи на газорідні середовища, завданням яких є інтенсифікація масообміну і підвищення концентрації розчиненого кисню. До числа таких механічних впливів відносяться змінні тиски над газорідними середовищами, обмежувальні заходи щодо швидкості винесення газової фази в утворюваних циркуляційних контурах, наближення термодинамічних параметрів систем до умов виникнення кавітаційних явищ.

3. Показано існування взаємозв'язків між геометричними параметрами ізооб'ємних апаратів та інтенсивністю масообміну в газорідних культуральних середовищах.

4. Визначено доцільність виконання процесів вирощування мікроорганізмів за підвищених тисків. Для реалізації таких процесів без підвищення енергетичних витрат можливо використати рециркуляцію частини відпрацьованого повітря або застосувати компресор-детандер.

5. Запропоновано гіпотезу щодо можливості створення інерційних потенціальних полів, параметри яких визначаються організацією гідродинамічних потоків з метою впливу на масообмін.

6. Встановлено взаємозв'язки, пов'язані з трансформацією енергетичних потоків і показано доцільність обмеження енергетичного потенціалу циркуляційних контурів.

7. Визначено вплив температурних режимів вирощування мікроорганізмів на динаміку розчинення кисню в умовах масового барботажу.

8. Показано кількісні співвідношення щодо динаміки приросту біомаси і вихідних енергетичних потоків.

9. Розроблено рекомендації щодо удосконалення апаратурних схем, які стосуються інтенсифікації масообміну, поглибленого використання вхідних енергетичних потоків, піногасіння, реалізації процесів вирощування дріжджів в умовах підвищених тисків, трансформації вихідного низькопотенціального теплового потоку від біосинтезу у високопотенціальний.

10. За результатами розробок одержано 6 патентів України, основні рекомендації передано для використання у промисловість.

ПЕРЕЛІК РОБІТ, ЩО ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Палаш А.А., Бут С.А. Інтенсифікація тепло- і масообмінних процесів // Харчова промисловість, № 7. – 2008. – С. 53–56.

Особистий внесок здобувача – сформулював теоретичні положення.

2. Палаш А.А., Бут С.А., Таран В.М. Термодинаміка і масообмін в процесах аерації рідинних середовищ // Харчова промисловість. – 2009. – № 8. – С. 45–47.

Особистий внесок здобувача – розробив математичну модель оцінки впливу окремих факторів на масообмін.

3. Палаш А.А., Шевченко О.Ю., Соколенко А.І. Особливості масо обміну в газорідинних культуральних середовищах // Харчова промисловість. – 2009. – № 8. – С. 79–81.

Особистий внесок здобувача – визначив вплив комбінованих факторів на масообмін.

4. Піддубний В.А., Палаш А.А., Бут С.А. Пневмо- і гідротранспорт у виробництві солоду // Хранение и переработка зерна. – 2009. – № 3. – С. 39–41.

Особистий внесок здобувача – розробив методику оцінювання впливів гідравлічних ударів.

5. Піддубний В.А., Палаш А.А. Моделювання динаміки газорідинних середовищ // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2009. – №28. – С. 51–53.

Особистий внесок здобувача – розробив математичну модель оцінки динаміки газорідинних середовищ.

6. Піддубний В.А., Палаш А.А., Шевченко О.Ю. Інтенсифікація масообміну в газорідинних середовищах за рахунок дискретно-імпульсних впливів // Вібрації в техніці і технологіях. – 2009. – №2. – С. 47–49.

Особистий внесок здобувача – розробив методику оцінювання інтенсифікації масообміну на міжфазній поверхні за рахунок дискретно-імпульсних впливів.

7. Палаш А.А., Таран В.М. Исследование влияния неравномерности газового потока на величину способности удерживания газовой среды // Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (материалы III Международной научно-технической конференции) в 3 т. Т. 2 / Воронеж. – 2009. – С 304-307.

Особистий внесок здобувача – дослідив залежність утримувальної здатності рідини від фактора нерівномірності розподілу газової фази.

8. Палаш А.А., Шевченко О.Ю., Бондар О.А. Масообмін в системах аерації стічних вод // Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи (матеріали міжнародної науково-практичної конференції). Ч. 1. К.: НУХТ. – 27–28 вересня 2010 р. – С. 65.

Особистий внесок здобувача – обґрунтував особливості масообміну в

системах аерації.

9. Патент України на корисну модель № 41918, МПК С12М 1/02. Апарат для вирощування мікроорганізмів / Палаш А.А., Бут С.А., Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А., Таран В.М. Опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.

Особистий внесок здобувача – запропонував схему використання безперервного циркуляційного контуру у апараті.

10. Патент України на корисну модель № 42251, МПК С12М 1/02. Апарат для вирощування хлібопекарських дріжджів / Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А., Палаш А.А., Бут С.А. Опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

Особистий внесок здобувача – запропонував оригінальну систему піногасіння.

11. Патент України на корисну модель № 42252, МПК С12М 1/02. Апарат для вирощування мікроорганізмів / Палаш А.А., Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А., Бут С.А., Блаженко С.І. Опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

Особистий внесок здобувача – розробив апаратурне оформлення рециркуляційної системи забезпечення повітрям.

12. Патент України на корисну модель № 42257, МПК В01Д 3/18. Масообмінний апарат / Палаш А.А., Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А., Бут С.А., Лензійон С.В. Опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

Особистий внесок здобувача – запропонував систему додаткової аерації культурального середовища за рахунок його переливання через перегородку.

13. Патент України на корисну модель № 43009, МПК С12М 1/02. Апарат для вирощування мікроорганізмів / Палаш А.А., Таран В.М., Піддубний В.А., Шевченко О.Ю., Соколенко А.І. Опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.

Особистий внесок здобувача – запропонував використання клапанів-регуляторів на ділянках введення повітряного потоку в газову та рідинну фази.

14. Патент України на корисну модель № 44143, МПК С12М 1/02. Апарат для вирощування мікроорганізмів / Бут С.А., Палаш А.А., Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А. Опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.

Особистий внесок здобувача – запропонував конструкцію барботажної аераційної системи.

АНОТАЦІЯ

Палаш А.А. Підвищення ефективності і удосконалення обладнання для культивування мікроорганізмів: – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Київ, 2011.

В дисертаційній роботі на основі аналізу наукових публікацій та вивчення сучасного стану в промисловості зроблено висновок про доцільність подальшого поглибленого вивчення процесів синтезу біомаси мікроорганізмів.

мів з встановленням впливів геометрії апаратів для їх культивування, особливостей енерговведення і формування міжфазної поверхні, оцінкою впливів рушійних факторів, використання дискретно-імпульсних технологій тощо.

У зв'язку з відміченим в роботі виконано наступні задачі дослідження.

Здійснено поглиблене вивчення технологій і синтезу мікроорганізмів і встановлено закономірності, що стосуються рівнів концентрації розчиненого кисню в культуральних середовищах. Технологічні режими при цьому будуються на основі балансів вхідного потоку живлення, доставки в середовища кисню і динаміки приросту біомаси. Забезпечення розрахункового вхідного потоку живлення не викликає складностей, як і підтримання номінальної температури середовища. Бажання мати високий рівень приросту біомаси приводить до протиріччя з можливостями аераційних систем. Саме останнє приводить до зниження виходу цільової продукції. Це і визначає необхідність подальшого пошуку в напрямку удосконалення обладнання для вирощування мікроорганізмів, аераційних систем та інтенсифікації процесів масообміну в газорідних системах.

Розроблено рекомендації щодо удосконалення апаратурних схем, які стосуються інтенсифікації масообміну, поглибленого використання вхідних енергетичних потоків, піногасіння, реалізації процесів вирощування дріжджів в умовах підвищених тисків, трансформації вихідного низькопотенціального теплового потоку від біосинтезу у високопотенціальний.

За результатами розробок одержано 6 патентів України, основні рекомендації передано для використання у промисловість.

Ключові слова: мікроорганізми, масообмін, аерація, розчинність, циркуляційні контури, енергообмін.

АННОТАЦИЯ

Палаш А.А. Повышение эффективности и усовершенствование оборудования для культивирования микроорганизмов: – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Киев, 2010.

В диссертационной работе на основе анализа научных публикаций и изучения современного состояния промышленности сделан вывод о целесообразности дальнейшего углубленного изучения процессов синтеза биомассы микроорганизмов с определением влияния геометрии аппаратов для ее культивирования, особенностей энергоподвода и формирования межфазной поверхности, влияния движущих факторов, использования дискретно-импульсных технологий и т.п. В связи с отмеченным в работе достигнуты следующие результаты.

Углубленно изучены технологии синтеза микроорганизмов с установлением закономерностей, которые касаются уровней концентрации растворенного

кислорода в культуральных средах. При этом технологические режимы строятся на основе балансов входящих потоков питания, доставки в среду кислорода и с учетом динамики прироста биомассы. Для обеспечения высокого уровня прироста биомассы необходимо обеспечить соответствующие возможности аэрационных систем. Невыполнение этого условия приводит к снижению выхода биомассы и соответствующий показатель по мелассе в промышленных технологиях составляет 70–80 % при теоретическом значении этой величины 110 %.

Во вступлении диссертации обоснована актуальность темы, определены цели исследований, показана перспективность и научная новизна и практическая ценность работы.

В разделе 1 выполнен обзор и критический анализ литературы, определены основные направления исследований, дана оценка их перспективности и сформулированы задачи исследований.

В разделе 2 приведены методики, которые касаются теоретических, феноменологических и экспериментальных исследований, представлен перечень законов, принципов и допущений, положенных в основу аналитических моделей.

Экспериментальные исследования связаны с оценкой влияния фактора неравномерности распределения газового потока по поперечному сечению аппарата на величину газодерживающей способности.

В результате математической обработки получены аналитические зависимости, позволяющие оценить влияние указанного параметра.

Раздел 3 представлен исследованиями интенсификации массообменных процессов с учетом особенностей микробиологических технологий и закономерностей синтеза биомассы.

Указанные закономерности устанавливались с учетом геометрических параметров аппаратов, гидродинамики сред, их энергетического обеспечения, движущих параметров.

Показано влияние соотношений Архимедовых сил и сил сопротивления сред перемещению диспергированной газовой фазы, показана роль и значимость скорости относительного движения как определяющей величины скорости обновления межфазной поверхности, а равно и скорости массообмена.

Установлена возможность интенсификации процессов массообмена за счет повышения общего давления в системе и организации в связи с этим режимов рециркуляционной подачи воздуха на процесс.

Установлены аналитические зависимости по определению скорости растворения кислорода, влияния искусственного создания потенциальных полей сил инерции за счет энергии циркуляционных контуров.

4 раздел диссертации посвящен трансформации газовых и газожидкостных потоков и их энергетическому обеспечению. Задание этого раздела определено как изучение взаимодействия входящего материального и энергетического потоков газовой фазы, которые вводятся в жидкостную среду и оценка перспектив повышения результативности внешнего энергоснабжения.

Приведены соотношения, касающиеся термодинамики подготовки газовых потоков и их взаимодействие с культуральной средой.

Результаты работы отражены в 14 публикациях, в том числе 6 патентах Украины. Экономический эффект от внедрения разработки составил 85 тыс. грн.

Ключевые слова: микроорганизмы, аэрация, растворимость, циркуляционные контуры, энергообмен.

ANNOTATION

Palash A.A. Strengthening and improving equipment for cultivation of microorganisms: – Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. National university of food technologies of Department of education and science of Ukraine, Kiev, 2010.

In a thesis on the basis of scientific publications and study the current state of the industry conclusion on whether further in-depth study of the synthesis of biomass of microorganisms with the installation effects of geometry devices for their cultivation, and introduction energy features of the interfacial surface, exposure assessment factors driving the use of discrete-pulse technologies.

Due to the marked in the work the following objectives of the study.

An intensive study of microorganisms and synthesis technologies and established laws regarding the concentration levels of dissolved oxygen in the culture medium. Technological regimes thus are based on the balance of input power, oxygen delivery to the environment and the dynamic growth of biomass. Ensuring settlement of input power does not cause difficulties as maintaining nominal temperature environment. The desire to have high rates of biomass leads to a contradiction with the possibilities of aeration systems. The most recent results in reduction of production output target. This determines the need for further search in improving the equipment for growing microorganisms, aeration systems and the intensification of mass transfer processes in gas-liquid systems.

The recommendations for improving hardware schemes relating to the intensification of mass transfer, advanced input energy flows, foam breaking, conducting a yeast cultivation under elevated pressure, the transformation of low potential source of heat flow from biosynthesis in high potential source.

As a result of developments obtained 6 patents of Ukraine, the main recipes submitted for use in industry.

Key words: microorganisms, mass transfer, aeration, solubility, circulation paths, energy.