

## ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, Ружинської Людмили Іванівни на дисертаційну роботу Сидоренка Віталія Володимировича «Особливості аерації і тепломасопереносу в культуральних середовищах методом дискретно-імпульсного введення енергії», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.14.06 "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика"

### 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

#### 1.1. Структура та обсяг дисертації.

Роботу виконано в Інституті технічної теплофізики НАН України, м. Київ. Дисертація складається зі списку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, основних результатів і висновків по роботі, трьох додатків і списку використаних джерел. Обсяг основного тексту дисертації становить 123 сторінки, рисунків - 34, таблиць - 7. Список літератури містить 93 найменування. У додатках наведено патентну документацію, акти впровадження, інструкцію по одержанню кормових дріжджів.

**1.2. Оформлення дисертації.** Дисертацію оформлено згідно зі стандартом ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення». Матеріал дисертації викладені у логічній послідовності відповідно до поставленої мети і сформульованих задач досліджень. Їх рішення розкрито повністю, матеріал викладено грамотною технічною мовою. Обсяг і структура рецензованої роботи відповідає вимогам, які встановлено ДАК МОН України. Зміст автореферату дисертації ідентичний до змісту дисертації і відображає основні положення роботи.

Автореферат дисертації обсягом 1 авторський аркуш, написаний українською мовою, розісланий 5 жовтня 2014 року.

**1.3. Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження** відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» як за формулою спеціальності, так і за напрямком досліджень.

#### 1.4. Зміст роботи.

У вступі обґрунтовано наукову та практичну актуальність дисертаційної роботи; визначено зв'язок з науковими програмами; сформульовано мету роботи та задачі досліджень для її досягнення, визначені об'єкт, предмет та методи досліджень; наведено загальну характеристику роботи, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів дисертації і повноту викладення у публікаціях.

У першому розділі проведений аналіз літературних джерел щодо явища масопереносу в системах газ-рідина, проаналізовано роль кисню в життєдіяльності дріжджових клітин та визначені ефективні умови аерації для їх росту. Розглянуті основні фактори, що впливають на масоперенос кисню в культуральних середовищах, визначені шляхи інтенсифікації процесу масопереносу, визначена залежність між потребою в кисні і кількістю дріжджових клітин, встановлений зв'язок між максимальним приростом біомаси в період культивування,

ефективністю абсорбції кисню в культуральному середовищі та мірою ефективності аеруючого пристрою. Докладно проаналізовані типи та принципи дії масообмінного обладнання, що використовується в виробництві хлібопекарських дріжджів. Автор провів порівняльний аналіз швидкості масопереносу кисню в культуральному середовищі для різних конструкцій аеруючих пристроїв. Проаналізовані можливості використання дискретно-імпульсного методу введення енергії (ДІВЕ) для інтенсифікації масообмінних процесів та досвід використання цього методу і обладнання для його реалізації в біотехнологіях.

В результаті аналізу літературних джерел автор пропонує використання дискретно-імпульсного методу введення енергії (ДІВЕ) для інтенсифікації процесів масопереносу кисню в культуральних середовищах.

**В другому розділі роботи** розглядається експериментальне обладнання для дослідження процесів абсорбції в культуральних середовищах. Наведені характеристики об'єктів дослідження, зокрема, живильних середовищ та культур мікроорганізмів. Представлена дослідно-промислова масообмінна установка, яка складається з ємності накопичувача з внутрішнім циліндром та сорочкою охолодження; роторно-пульсаційного апарату (РПА), електродвигуна, рециркуляційного трубопроводу з арматурою, контрольно-вимірювальних приладів, що дозволяють вивчати характер протікання процесу аерації культуральної рідини, гідравлічні та теплові показники. Наведена апаратурно-технологічна схема дослідно-промислової установки, розглянуті технічні характеристики вузлів, що входять в установку, наведений порядок роботи установки. Аерація культуральної рідини відбувається під час її рециркуляції атмосферним повітрям, що надходить через фільтр у всмоктувальний трубопровід. Далі газорідинна суміш направляється в робочу камеру РПА. РПА призначений для трансформації електричної енергії методом ДІВЕ в фізичні, гідродинамічні, акустичні діяння на культуральну рідину. РПА складається з робочого колеса відцентрового насоса, що представляє собою встановлений на валу диск з лопатками та роторно-пульсаційного вузла, що розміщені у корпусі. Роторно-пульсаційний вузол, в свою чергу, складається із з'єднаних між собою двох роторів та статора. Ротори мають прорізи прямокутного перерізу.

В розділі описані методики проведення досліджень енергетичних і гідродинамічних характеристик, визначення концентрації розчиненого кисню, вихідних даних для визначення швидкості масопереносу, кількості клітин, в'язкості культуральної рідини, біомаси дріжджів.

Створене експериментальне обладнання дозволяє провести дослідження масопереносу кисню в культуральних рідинах при культивуванні дріжджів, визначити фізико-хімічні властивості культуральних середовищ, визначити технологічні характеристики процесу культивування. Методики проведення експериментальних досліджень забезпечують достатню точність визначення гідродинамічних, енергетичних і масообмінних характеристик процесів культивування.

**Третій розділ** присвячений аналітичному дослідженню залежності величин поверхневого і об'ємного коефіцієнтів масовіддачі, питомої поверхні контакту фаз і



об'ємного газовмісту від розміру бульбашок, а також вивчення впливу цих параметрів на кінетику процесів культивування аеробних мікроорганізмів.

Оцінка необхідної подачі кисню до клітин визначалась виходячи з рівності швидкості переходу кисню із газової фази в рідину і швидкості споживання кисню клітинами. Запропоновано рівняння для визначення швидкості зміни концентрації розчиненого кисню за рахунок його абсорбції з бульбашок повітря, запропоновані рівняння для визначення об'ємного коефіцієнту масовіддачі в залежності від об'ємного газовмісту та від розміру бульбашок повітря. На основі запропонованих рівнянь виконані розрахунки швидкості спливання бульбашки, поверхневого та об'ємного коефіцієнтів масовіддачі, питомої поверхні контакту фаз, швидкості розчинення кисню в одиниці об'єму культуральної рідини в залежності від діаметру бульбашки.

**В четвертому розділі** представлені результати експериментальних досліджень щодо визначення гідродинамічних та енергетичних характеристик роботи тепломасообмінної установки з РПА, визначення оптимального режиму формування водно-повітряної суміші. На другому етапі досліджень були визначені масообмінні характеристики установки при абсорбції кисню в процесі культивування дріжджів різних видів в середовищах різної природи та концентрації сухих речовин. Експериментально доведена залежність швидкості масопереносу кисню в культуральних середовищах, а також питомої швидкості росту дріжджів від параметрів обробки середовища (частоти пульсацій потоку, швидкості зсуву потоку). В основу визначення даного параметру покладено принцип рівності кількості розчиненого кисню та кисню, споживаного дріжджовими клітинами за час культивування. Знайдено граничні умови обробки культурального середовища в РПА, підвищення яких призводить до збільшення кількості пошкоджених клітин та зменшення кількості накопиченої біомаси.

Складений тепловий баланс тепломасообмінної установки з РПА, з якого визначена кількість біологічної теплоти, що виділяється за період культивування. Експериментально визначено кількість теплоти, яка виділяється при обробці в установці живильних середовищ. Визначені взаємозалежності кількості біологічного тепла та параметрів холодоагенту, що подається в охолоджувальну сорочку.

**В п'ятому розділі** описані технологія та обладнання для отримання біомаси кормових дріжджів в тепломасообмінній установці з ДІВЕ. Представлена технологія дозволяє скоротити процес накопичення біомаси дріжджів в 3 рази порівняно із традиційною. В розділі наведена порівняльна характеристика установок для проведення процесу накопичення біомаси кормових дріжджів. В якості аераційних пристроїв використовувались РПА та абсорбер. В кінці п'ятого розділу наведено економічне обґрунтування доцільності впровадження створеної технології в фермерські господарства.

**У висновках** наведені основні результати дисертаційної роботи, які вирішують важливу науково-прикладну задачу обґрунтування створення тепломасообмінної установки (ферментеру) з РПА в якості аератора та змішувача для обробки культуральних середовищ для виробництва дріжджової біомаси.

## 2. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота є актуальною по суті, оскільки в ній пропонуються шляхи інтенсифікації процесу масопереносу в системі газ – рідина, що є невід’ємною частиною біотехнологій. Відомо, що аерація рідких середовищ відбувається найбільш ефективно за рахунок пристроїв з механічним введенням енергії. Проте, стосовно культуральних середовищ, введення енергії таким чином має певні обмеження. Внаслідок дії міжмолекулярних зв’язків між різними рухомими шарами рідини виникають сили в’язкості або внутрішнього тертя. Ці сили визначають рівень зрізових зусиль (зусилля зрізу) що можуть стати причиною ушкодження клітин. Ще одним джерелом негативного впливу на клітини вважається явище кавітації, осередком виникнення якої можуть бути будь-які елементи, що обертаються з великою швидкістю.

Таким чином виникає технологічна дилема – з одного боку ефективна аерація та перемішування і, як наслідок, енергозощадження, з другого – необхідність витримування певних умов культивування, які б забезпечували кінцевий продукт належної якості. Зважаючи на це, актуальним є саме визначення граничних умов обробки культурального середовища в роторно-пульсаційному апараті (РПА) і визначення оптимальних режимів такої обробки.

## 3. СТУПІНЬ ОБГРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ

### 3.1. Методологія і фізична основа досліджень.

За результатами огляду теоретичних та експериментальних робіт з дослідження явища масопереносу в системах газ-рідина, ролі кисню в життєдіяльності дріжджових клітин та ефективних умов аерації, можливостей використання дискретно-імпульсного методу введення енергії (ДІВЕ) для інтенсифікації масообмінних процесів та досвіду використання цього методу і обладнання для його реалізації в біотехнологіях, автор сформулював мету дослідження, а також завдання, вирішення яких забезпечує досягнення поставленої мети.

Автором запропоновані технології та обладнання з використанням дискретно-імпульсного методу введення енергії для інтенсифікації процесів масо переносу кисню в культуральних середовищах при виробництві біомаси дріжджів. Достовірність обраного методу досліджень забезпечується коректними фізичною та математичною постановкою завдання, а також достатнім рівнем обґрунтованості наукових результатів і зроблених на їх основі висновків.

**Фізичну модель дослідження** становлять взаємопов’язані тепломасообмінні та гідродинамічні процеси в тепломасообмінній установці з використанням роторно-пульсаційного апарату.

### 3.2. Математичний апарат дисертації.

Математичне моделювання ґрунтується на відомих на закономірностях масопереносу та гідродинаміки в газорідинних системах. Розроблено математичну модель масопереносу при обробці культуральних середовищ, що дозволяє проводити моделювання швидкості спливання бульбашки, поверхневого та



об'ємного коефіцієнтів масовіддачі, питомої поверхні контакту фаз, швидкості розчинення кисню в одиниці об'єму культуральної рідини в залежності від діаметру бульбашки.

#### **4. ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ**

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується коректністю, повнотою та адекватністю фізичних припущень в постановці задач, застосуванням сучасних засобів вимірювального комплексу, а також методів статистичної обробки експериментальних даних та підтверджується задовільною відповідністю при зіставленні результатів розрахунків з отриманими експериментальними даними.

#### **5. НОВИЗНА НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ**

У роботі **вперше** отримані такі наукові результати:

- проаналізовано характер перебігу теплових процесів масообмінній установці та розроблена методика визначення кількості виділеної біологічної теплоти в процесі вирощування дріжджів в установці з ДІВЕ;
- обґрунтовано застосування РПА в якості аеруючого і перемішуючого пристрою при обробці культуральних рідин;
- розроблено математичну модель масопереносу при обробці культуральних середовищ;
- розроблено методику для експериментального визначення коефіцієнту масовіддачі кисню при обробці культуральних середовищ методом ДІВЕ;
- визначено граничні параметри обробки культуральних середовищ в РПА;
- отримано рівняння для розрахунку об'ємного коефіцієнтів масовіддачі.

#### **6. ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ, ЯКІ ОТРИМАНО В РОБОТІ, ДЛЯ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ**

**Значення для теорії** мають такі результати дослідження:

- розроблено узагальнену математичну модель масопереносу кисню через поверхню газ – рідина;
- отримані аналітичні залежності основних параметрів масопереносу для культуральних середовищ;
- визначені критичні значення параметрів роботи РПА, вище яких вплив інтенсивності обробки призводить до руйнування клітин та зниження виходу кінцевого продукту,
- запропоновано методику визначення біологічного тепла в процесі накопичення біомаси та його частки в загальних тепловиділеннях в ході процесу обробки культуральних середовищ.

**Практична цінність** роботи полягає у створенні енергозберігаючої інноваційної технології та обладнання з використанням дискретно-імпульсного методу введення енергії для інтенсифікації процесів масопереносу кисню в культуральних середовищах при виробництві біомаси дріжджів. Новизна отриманих автором наукових результатів підтверджується трьома деклараційними патентами України на корисну модель.

Впровадження результатів у двох фермерських господарствах свідчать про відповідність потребам сучасного ринку.

## **7. ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Результати досліджень і запропоновані математичні моделі можливо використовувати на етапах проектування і розробки промислового обладнання з використанням дискретно-імпульсного методу введення енергії для інтенсифікації процесів масопереносу кисню в культуральних середовищах різноманітної продуктивності і типорозмірів.

## **8. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Зміст дисертації відповідає напрямку дослідження за спеціальністю 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» і відображає отримані автором теоретичні та прикладні результати, які в сукупності вирішують поставлену науково-прикладну задачу, що свідчить про завершеність наукового дослідження. Подання матеріалу в логічній послідовності з обґрунтуванням і узагальненням результатів у вигляді висновків за розділами і загальних висновків за роботою сприяє її сприйняттю, як цілісного дослідження.

Результати, які наведено в роботі, отримано автором особисто.

## **9. ПОВНОТА ВИКЛАДУ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ**

Зміст дисертаційної роботи відображено в 21 науковій праці: у тому числі у 9 статтях у фахових наукових виданнях (одне з яких входить до міжнародних науково-метричних баз), у 9 тезах доповідей на конференціях, в 3 деклараційних патентах на корисну модель.

У наведених вище роботах, які опубліковано у відкритій пресі, повністю розкрито основні наукові результати, що становлять наукову цінність дисертації.

## **10. ЗАУВАЖЕННЯ ДО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

1. При аналізі літературних джерел слід було б більш докладніше зупинитися на найбільш поширених системах аерації, їх конструкціях, принципі дії, перевагах та недоліках;
2. Опис дріжджового виробництва наведений в п 1.3. з огляду на можливу область застосування запропонованої технології не виглядає доцільним;
3. Наведені в п 1.4. посилання на попередні дослідження в цій сфері обмежуються роботами вчених ІТТФ.
4. Відсутні посилання на джерела при оцінці динамічної в'язкості (п. 2.3.6.) та рівноважної концентрації;
5. Не зрозуміло, до якого середовища та до якого процесу культивування відносяться дані з таблиці 2.1.

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист дисертантом, і не впливають на

загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

## 11. ВІДПОВІДНІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИМОГАМ ДАК УКРАЇНИ

В результаті вивчення представленої дисертації, автореферату і наукових робіт можна зробити наступні висновки:

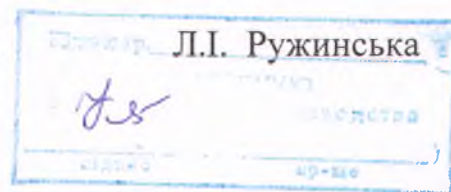
1. Дисертація **Сидоренка Віталія Володимировича** на тему «**Особливості аерації і тепломасопереносу в культуральних середовищах методом дискретно – імпульсного введення енергії**» є завершеною науковою працею, що характеризується єдністю змісту і в якій одержані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в цілому є суттєвими для розвитку такої галузі хімічної технології, як абсорбція слаблорозчинних газів в рідких середовищах.

Автореферат дисертації за своєю структурою і змістом відповідає дисертації. У тексті дисертації та автореферату використано сучасну науково-технічну термінологію, а сам текст відрізняється цілісністю та логічним зв'язком його елементів. Мова і стиль викладення матеріалу доступні для його сприйняття. Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог ДАК МОН України.

2. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» за напрямком досліджень.

3. Згідно з пунктами 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» робота відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор, **Сидоренко Віталій Володимирович**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент, доцент  
кафедри біотехніки та інженерії  
Національного технічного  
університету України  
«Київський політехнічний інститут»  
МОН України  
к.т.н., доцент



Підпис доцента Ружинської Л. І. засвідчую  
Вчений секретар НТУУ «КПІ»  
кандидат філософських наук, доцент



А.А. Мельниченко