

UDC 663.18; 573.6.086.835

MODELING HYDRODYNAMIC MIXING PNEUMATIC DEVICE FOR AEROBIC MICROORGANISMS CULTIVATION

A. Kopylenko

National University of Food Technologies

V. Povodzinskiy, S. Kostyk, O. Revtov

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Key words:

Biotechnology

Fermenter

Hydrodynamics

Fluid turbulence

Pneumatic mixing device

Article history:

Received 18.03.2017

Received in revised form
03.04.2017

Accepted 24.04.2017

Corresponding author:

A. Kopylenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Based on the literature review of existing modern designs of mixing devices used in biotechnological equipment, we proposed a design that is based on the Sehner's wheel principle, which can simultaneously serve as a homogenizer and an aerator. To date, the information on similar design of hydrodynamic of mixing devices is not available in the open literature; thus, in this article we present the results of computer modeling in the environment of ANSYS. Hydrodynamics simulations were held in the machine with pneumatic mixing device of a patented design, which resulted in full compliance of the requirements that are applied to mechanical and pneumatic mixing devices.

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ПНЕВМАТИЧНОГО ПЕРЕМІШУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КУЛЬТИВУВАННЯ АЕРОБНИХ МІКРООРГАНІЗІВ

А.В. Копиленко

Національний університет харчових технологій

В.М. Поводзинський, С.І. Костик, О.О. Ревтов

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

За результатами проведеного літературного огляду існуючих сучасних конструкцій перемішувальних пристроїв біотехнологічного обладнання у статті запропоновано конструкцію, в основу якої покладено принцип колеса Сегнера, що дає змогу одночасно виконувати роль гомогенізатора й аератора. Наведено результати комп'ютерного моделювання в середовищі ANSYS, оскільки інформація стосовно гідродинаміки перемішувальних пристроїв подібних конструкцій у літературі відсутня. Проведене моделювання гідродинаміки в апараті з пневматичним перемішувальним пристроєм запатентованої кон-

струкції дає змогу стверджувати, що він цілком задовольняє вимоги, які висуваються до механічних і пневматичних перемішувальних пристроїв.

Ключові слова: біотехнологія, ферментер, гідродинаміка, турбулентні потоки рідини, пневматичний перемішувальний пристрій.

Постановка проблеми. Проектування і конструювання ефективних промислових ферментерів є обов'язковою умовою прогресу в біотехнології, що зумовлює забезпечення біологічних агентів (БА) оптимальними умовами зовнішнього оточення. Сучасні конструкції ферментерів мають ряд специфічних недоліків [1—5]:

- порушення асептики в місцях входу валу в апарат через ущільнення;
- під час перемішування утворюються високотурбулентні зони та зони застою, що є причиною нерівномірного підводу поживних речовин до клітин і відводу метаболітів;
- пошкодження клітини пов'язане з виникненням потоків рідини великої енергії (гідравлічні удари, напруження зсуву);
- виникнення градієнтів температур в об'ємі апарата внаслідок нерівномірного перемішування, що згубно впливає на мікроорганізми.

Мінімізація впливу вищенаведених недоліків – основне завдання, що постає перед інженерами, які проектують біотехнологічні виробництва. Вибір оптимальних робочих параметрів безпосередньо залежить не тільки від особливостей технологічного процесу, а й від апаратного оформлення стадій культивування. На даному етапі інформація стосовно досліджень явищ переносу в біотехнологічній промисловості у відкритій літературі майже відсутня, тому необхідно ретельно розглянути апаратне забезпечення процесу перемішування та механізм гідромеханічних потоків, що сприяють швидкості гомогенізації. У зв'язку з цим проведено комп'ютерне моделювання в середовищі ANSYS перемішувального пристрою запропонованої конструкції.

Перемішувальні пристрої, які використовуються в сучасній біотехнології, поділяються на декілька типів: з підведенням енергії компресованим газом (пневматичні), механічним перемішувальним пристроєм і струменем рідини [1—7]. Кожен вид перемішувального пристрою володіє певними перевагами та недоліками, однак особливої уваги, на нашу думку, заслуговують перемішувальні пристрої з підведенням енергії стисненим газом, тому нами була запропонована і запатентована конструкція на основі колеса Сегнера, дослідження гідродинаміки якої і представлено у даній статті.

Виходячи з вищенаведеної класифікації, пневматичні мішалки володіють рядом переваг і потребують подальшого вивчення, тому необхідно вдосконалювати конструкції перемішувальних пристроїв, які працюють за даним принципом, для одержання оптимальних показників гомогенізації.

Мета дослідження: на основі існуючих конструкцій розробити принципово нову конструкцію перемішувального пристрою з комбінованими функціями аератора і гомогенізатора та з'ясувати можливості його використання в реальному ферментаційному обладнанні.

Викладення основних результатів дослідження. В основу запропонованого пневматичного перемішувального пристрою покладено принцип

колеса Сегнера, тобто двигуна, який працює за рахунок реактивної сили витікаючої води із сопла. Однак основною відмінністю конструкції є пустотілий вал з пустотілою мішалкою, в яку подається стиснене повітря для аерації.

Завдання полягає в тому, щоб удосконалити ферментер, у якому його нове конструктивне виконання дасть змогу уникнути необхідності використання електродвигуна для забезпечення руху перемішувального пристрою, та дискретного барботера.

Замість звичайного валу з механічним перемішувальним пристроєм встановлюється пневматичний перемішувальний пристрій (рис. 1), через який подається повітря під тиском. Така конструкція надає можливість уникнути необхідності використання електродвигуна для забезпечення руху перемішувального пристрою та встановлення дискретного барботера, тому що пневматичний перемішувальний пристрій приводиться в обертовий рух за рахунок реактивної сили, яка виникає внаслідок подачі повітря під тиском (рис. 2) в сопла пневматичного перемішувального пристрою. Виходячи з сопла, газ володіє певною енергією, яка викликає рух мішалки. Таким чином одночасно здійснюється аерація і перемішування середовища, що дає змогу значно спростити конструкцію, знизити її собівартість та підвищити ефективність використання енергії.

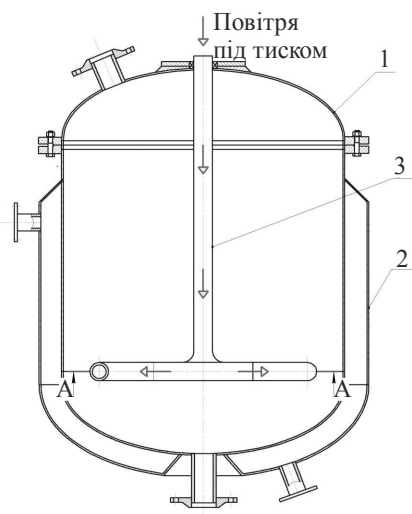


Рис. 1. Схема реактора з пневматичним перемішувальним пристроєм:

- 1 — корпус ферментера;
- 2 — теплова сорочка; 3 — пневматичний перемішувальний пристрій

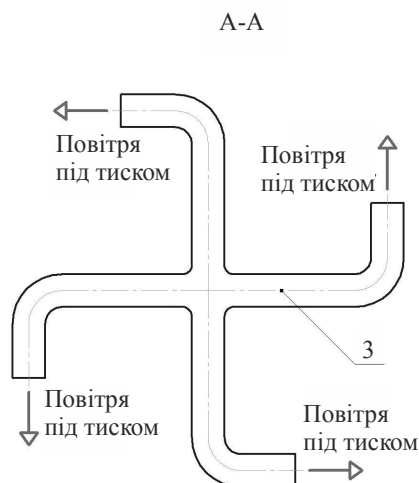


Рис. 2. Схема руху повітря через сопла пневматичного перемішувального пристрою

На нашу думку, оптимальне співвідношення діаметра мішалки до внутрішнього діаметра ферментера повинне бути в межах використання перемішувальних пристроїв подібних конструкцій, тому за орієнтир було вибрано пропелерну і турбінну мішалку, відповідно співвідношення $d_m = 0,25 \div 0,3D$ [8].

На рис. 3 зображено 3D модель запропонованого перемішувального пристрою, створеного в пакеті SolidWorks, для якого проводилось моделювання фізичних процесів.

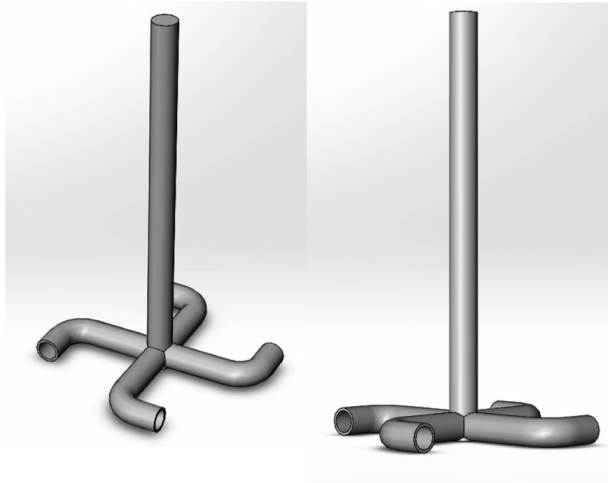


Рис. 3. 3D модель запропонованого пневматичного перемішувального пристрою

Використовуючи сучасні методи моделювання в пакеті ANSYS, задавши параметри модельної рідини та газу (швидкість обертання перемішувального пристрою $n = 10$ об./с, внутрішній діаметр обичайки ферментера $d = 0,28$ м), початкові і граничні умови, нами була отримана картина, яка адекватно описує картину фізичних процесів, що відбуваються в об'ємі ферментера.

На рис. 4а, 4б представлено поле векторів швидкості рідини в проекції вала та мішалки відповідно. Аналіз отриманих результатів надає можливість стверджувати, що величина і напрям векторів швидкості рідини (від 0,9 до 3,77 м/с) суттєво змінюється по об'єму ферментера, що, у свою чергу свідчить про турбулізацію потоків і нестационарність процесу.

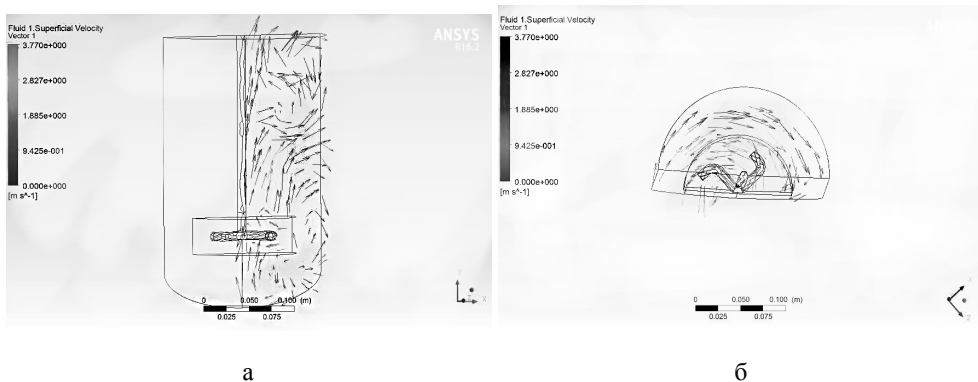


Рис. 4. Поле вектора швидкості рідини: а — в проекції вала, б — в проекції мішалки

На рис. 5а, 5б представлено поле векторів швидкості газової фази в проекції валу та мішалки відповідно. Аналіз отриманих результатів надає можливість стверджувати, що величина і напрям векторів швидкості газу несуттєво змінюється по об'єму ферментера і направлено, в основному тангенціально, в напрямку обертання мішалки та вздовж валу знизу догори, що, у свою чергу, свідчить про стаціонарну швидкість (від 4,5 до 9,7 м/с) розподілу газової фази в об'ємі рідини.

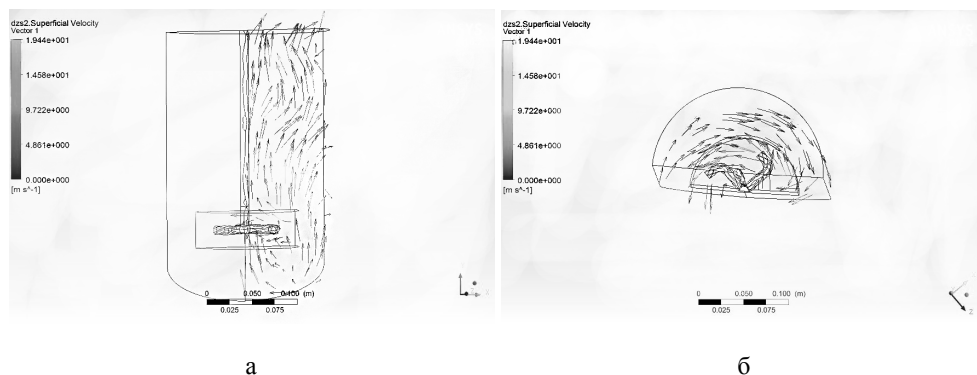


Рис. 5. Поле вектора швидкості газової фази: а — в проекції валу, б — в проекції мішалки

На рис. 6 зображено траєкторію точок рідкої фази та їх швидкість. Траєкторія руху вказує на відсутність центральної вортєксної воронки, але при цьому в об'ємі рідини з'являються завихрення, що вказує на нестационарність процесу. Як і очікувалося, найбільше значення величини швидкості спостерігається біля лопатей мішалки.



Рис. 6. Траєкторія і швидкість руху рідкої фази

Траєкторію точок газової фази та їх швидкість зображено на рис. 7. Для випадку з повітрям можна стверджувати, що бульбашки газу, входячи в порожнину апарата, достатньо довгий час знаходяться в області перемішування. Це, з одного боку, турбулізує потік, а з іншого — забезпечує необхідний період контакту фаз для переходу кисню з газової фази в рідку.



Рис. 7. Траєкторія і швидкість руху газової фази

На рис. 8 відображено об'ємне розподілення газової фази в рідкій (сірим кольором відображена рідина, а білим — повітря). Найбільше скупчення бульбашок повітря спостерігається в зоні їх виходу з мішалки (рис. 8б). Після чого бульбашки починають спливати і скупчуються навколо валу мішалки (рис. 8в). Також зображено градієнт концентрації газу по об'єму ферментера (рис. 8а).

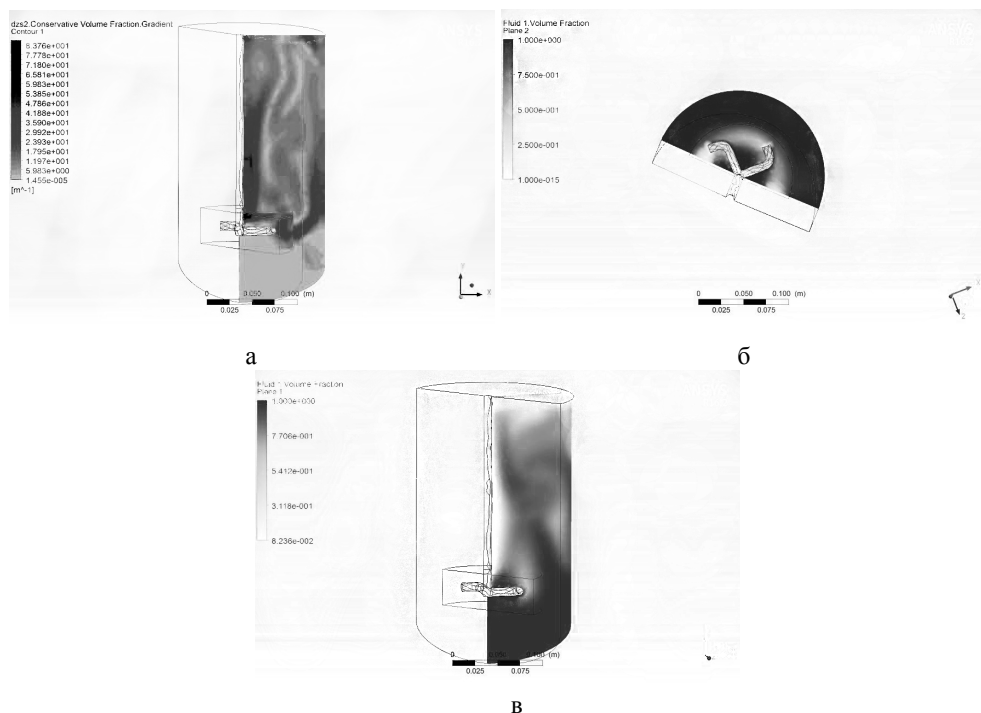


Рис. 8. Об'ємне розподілення газової фази в рідкій: а — градієнт концентрації газу по об'єму ферментера; б — в перерізі Y-X; в — в перерізі X-Z

Наявність у потоці бульбашок повітря призводить до зменшення густини рідини від значення густини води до величини 83 кг/м^3 в зоні найбільшого скупчення газової фази (рис. 9).

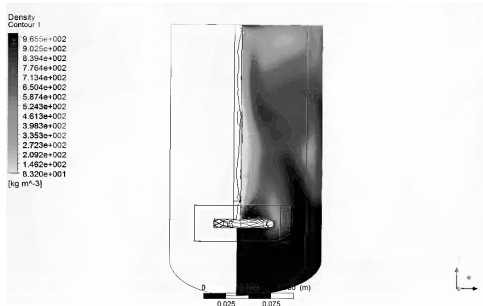


Рис. 9. Зміна густини рідини залежно від насичення бульбашками повітря

При виборі конструкції пневматичних перемішувальних пристроїв необхідно звертати увагу на такі лімітуючі фактори:

- швидкість гомогенізації;
- оцінка зон застою по об'єму (зони з малою інтенсивністю руху рідини);
- швидкість розчинення кисню (пряма залежність від площі поверхні масообміну);
- напруження зсуву.

Висновки

1. Запропонована конструкція пневматичного перемішувального пристрою дає змогу одночасно виконувати роль механічного гомогенізатора і аератора (барботера). Дана конструкція є найбільш спрощеною та ергономічною за рахунок заміни електроприводу на пневмопривід.

2. Проведене моделювання гідродинаміки в апараті з пневматичним перемішувальним пристроєм запатентованої конструкції дає змогу стверджувати, що запропонована конструкція цілком задовольняє вимоги, які висувуються до механічних і пневматичних перемішувальних пристроїв (швидкість гомогенізації, відсутність зон застою, невисокі енергозатрати).

3. Отримані комп'ютерні моделі можуть бути застосовані при подальших дослідженнях з використанням реального лабораторного обладнання і при проектуванні подібних конструкцій пневматичних перемішувальних пристроїв різноманітних типорозмірів і продуктивності.

Література

1. Виестур У.Э. Системы ферментации. [Текст] / У.Э. Виестур, А.М. Кузнецов, В.В. Савенков. — Рига : Зинатне, 1988. — 368 с.
2. Кафаров В.В. Моделирование биохимических реакторов. [Текст] / В.В. Кафаров, А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев. — Москва : Лесная промышленность, 1979. — 344 с.
3. Андреев А.А. Производство кормовых дрожжей. 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] / А.А. Андреев, Л.И. Брызгалов. — Москва : Лесная промышленность, 1986. — 248 с.
4. Schuger K. Neue Bioreaktoren für aerobe Prozesse // Chem-Ing.-Techn. — 1980. — 52, # 12, — P. 951—965.
5. Стабников В.Н. Особенности расчета ферментаторов с виброперемешиванием / В.Н. Стабников, П.П. Лобода, В.Н. Поводзинский // Хим. и нефтян. машиностроение. — 1984. — № 5. — С. 26—28.

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

7. Резенчук О.Є. Класифікація та аналіз роботи ферментерів з пневматичним перемішуванням [Текст] / О.Є.Резенчук, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2011. № 3. — С. 79—84.

8. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности [Текст] / З. Штербачек, П. Тауск. Пер. с чешского под ред. И.С. Павлушенко. — Л.: ГХИ, 1963. — 416 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ АЭРОБНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

А.В. Копыленко

Национальный университет пищевых технологий

В.М. Поводзинский, С.И. Костик, А.А. Ревтов

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

По результатам проведенного литературного обзора существующих современных конструкций перемешивающих устройств биотехнологического оборудования в статье предложена конструкция, в основу которой положен принцип колеса Сегнера, что позволяет сочетать гомогенизатор и аэратор в одном устройстве. Продемонстрированы результаты компьютерного моделирования в среде ANSYS, поскольку информация о гидродинамике перемешивающих устройств подобных конструкций в открытой литературе отсутствует. Результаты моделирования гидродинамики в аппарате с пневматическим перемешивающим устройством запатентованной конструкции позволяют утверждать, что оно вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к механическим и пневматическим перемешивающим устройствам.

Ключевые слова: *биотехнология, ферментер, гидродинамика, турбулентные потоки жидкости, пневматическое перемешивающее устройство.*