УДК 663.14. 033, 663.143.2

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ З ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНИМ ВВЕДЕННЯМ ЕНЕРГІЇ ПРИ КУЛЬТИВУВАННІ КОРМОВИХ ДРІЖДЖІВ

Б. Х. Драганов, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, доктори технічних наук
В. В. Сидоренко, інженер
Інститут технічної теплофізики НАН України
e-mail:tdsittf@ukr.net

Анотація. *Розглянуто роботу ферментаційної установки із застосуванням абсорбера як аеруючого пристрою в процесі культивування кормових дріжджів. Подано масообмінні характеристики з абсорбції кисню. Проведено порівняльний аналіз даної установки з ферментаційної установкою із використанням роторно-пульсаційного апарата.*

Ключові слова: ***кормові дріжджі, післяспиртова барда, метод дискретно-імпульсного введення енергії, абсорбер, роторно-імпульсний апарат, швидкість масопереносу кисню***

Метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) зарекомендував себе як один із найефективніших методів введення енергії в гетерогенні системи, основною фазою яких є рідка фаза [1].

Одним з напрямів застосування методу ДІВЕ є інтенсифікація процесу масообміну в системі газ-рідина. Так, в біотехнологіях, пов'язаних із розчиненням важкорозчинних газів в рідинах, метод ДІВЕ реалізувався шляхом різкого скидання тиску в Ферментер [2], шляхом застосування імпульсного пульсатора [3] і т. д. З метою аерації водойм було створено установку з ДІВЕ з використанням аератора-диспергатора, основним робочим органом якого є роторно-дисковий апарат [4].

Мета досліджень – порівняння ефективності абсорбера і роторно-пульсаційного апарата в технології виробництва кормових дріжджів.

Матеріали та методика досліджень. Для виробництва кормових дріжджів було створено ферментаційну установку із застосуванням методу ДІВЕ на базі роторно-пульсаційного апарата (РПА) [5]. Застосування РПА в даної технології дозволило поєднати в собі кілька процесів одночасно. РПА виступає як насос, що качає культуральну рідину по робочому контуру. За рахунок локального розрядження у всмоктуючому трубопроводі, в робочу зону апарату подається повітря на аерацію. У робочій зоні апарата культуральна рідина зазнає впливу

© Б. Х. Драганов, О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, В. В. Сидоренко, 2016

високочастотних пульсацій тиску, сильної турбулізації, розриву суцільності потоку, зсувних напруг і т. д., що призводить до інтенсифікації процесу розчинення кисню, а також до диспергування повітряних бульбашок до мікронних розмірів, за рахунок чого різко зростає площа контакту фаз. Обробка в РПА також запобігає аглютації дріжджів та сприяє інтенсивному перемішуванню середовища і сприяє розчиненню поживних речовин [6].

З апаратів, що реалізують метод ДІВЕ найбільш близьким до РПА по спектру виконуваних завдань є аератор-диспергатор [7]. Диспергатор складався з трьох перфорованих співвісних дисків (двох нерухомих і одного рухомого). Середній диск приводився в рух електродвигуном. Установка для аерації являла собою ємність, у днищі якої розташовувався диспергатор, з'єднаний з компресором. У результаті проведених експериментів виявилося, що при подачі повітря під тиском від компресора на виході диспергатора утворювалося поле розподілених в рідині дрібних повітряних бульбашок. Дане дроблення відбувалося за рахунок порціонної подачі газу за рахунок періодично співпадаючих отворів ротора-статора. Розміри бульбашок залежали як від витрат газу, так і від розміру отворів в дисках, однак, основний вплив даний параметр надавав частоті обертання рухомого диска (ротора). Таким чином, вирішувалася основна проблема барботажних апаратів – створення ізольованих один від одного бульбашок повітря субміліметрових розмірів. Подібний прийом дозволив створювати значну поверхню розділу фаз.

Подібна задача вирішувалася диспергатором в процесі насичення рідких середовищ вуглекислим газом (сатурації) у технології отримання газованих напоїв [8]. Технологію та установку синхронно-змішувального типу було розроблено на основі абсорбера СА-100, що діє за принципом, описаним вище. Основна відмінність даної установки від раніше описаної в тому, що стиснене повітря подавалося в потік газованої рідини через роторно-статорний вузол, розташований перпендикулярно руху потоку. Таке рішення дало змогу розширити діапазон регулювань. Зміна швидкості руху потоку рідини, зміна частоти обертання ротора, зміна об'ємної витрати повітря, а також зміна кількості та діаметра отворів ротора-статорів дали змогу створювати оптимальні умови для розчинення вуглекислого газу.

У результаті проведених досліджень авторами [9] встановлено, що при збігу частоти природних коливань обсягів газу в отворах ротора з частотою пульсацій тиску спостерігається явище резонансу, завдяки чому різко збільшується амплітуда коливань поверхні розділу фаз з втратою її стійкості і, як наслідок, дроблення газу на мікробульбашки. Коефіцієнт масопередачі при цьому збільшується на порядок.

На підставі проведеного літературного огляду ми дійшли висновку, що застосування диспергатора (абсорбера) роторно-дискового типу дозволяє вирішувати завдання того самого характеру, що й РПА а саме: аерування культуральних рідин у ферментаційній установці методом ДІВЕ в процесі культивування дріжджів.

Результати досліджень. Апаратурно-технологічну схему ферментаційної установки із застосуванням абсорбера подано на рис. 1. Установка включає в себе бункер 1, корисним об'ємом 60 л, забезпечений охолоджуючої сорочкою 6. Усередині бункера розташовується внутрішній циліндричний стакан. Нижня частина бункера за допомогою трубопроводу з'єднана зі всмоктуючим патрубком відцентрового насоса 4. Напірний трубопровід з'єднаний з вхідним патрубком корпусу абсорбера. Патрубок з протилежного боку абсорбера з'єднаний з трубопроводом, яким газорідинна суміш повертається в бункер. Сам абсорбер 2 являє собою циліндричну камеру, в донній частині якої розташовується пульсаційний вузол, що представляє собою три диски діаметром 210 мм і завтовшки 5 мм, двох нерухомих статорів і рухомого ротора. Кожен з дисків має по три ряди наскрізних отворів діаметром 3 мм, розташованих уздовж умовних концентричних кіл. Загальна кількість отворів – 160 шт.

Повітря на аерацію надходить у газову камеру, розташовану під пульсаційним вузлом. Ротор обертається електродвигуном. Частота обертів ротора регулюється зміною частоти обертання ведучого вала. Повітря подається а абсорбер від компресора. Установка забезпечена контрольно-вимірювальною апаратурою.

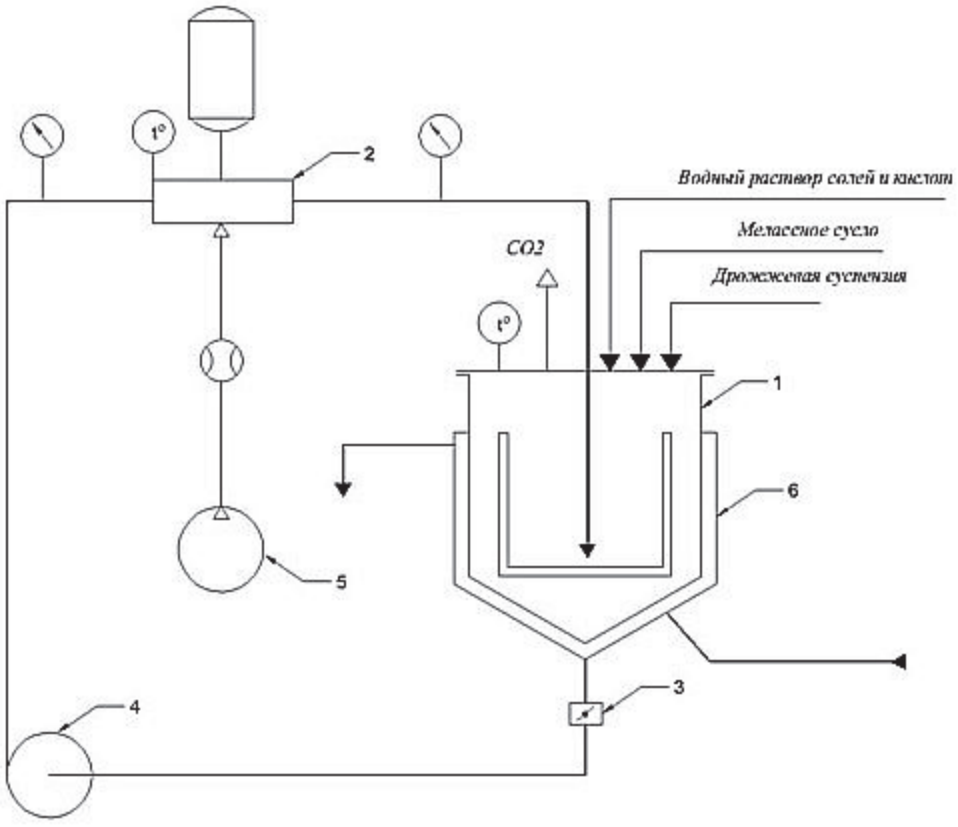

Рис. 1. Апаратурно-технологічна схема ферментаційної установки для культивування мікроорганізмів з викристанням абсорбера:
1 – бункер; 2 – абсорбер; 3 – заслінка; 4 – відцентровий насос;
5 – компресорна установка; 6 – сорочка охолодження

Порівняння ефективності установок з абсорбером і РПА в процесі аерації культуральних рідин базується на двох складових – кількості накопиченої біомаси за час культивування, а отже, швидкості масопереносу кисню, і спожитою при цьому потужністю. Параметри роботи обладнання підбиралися таким чином, щоб забезпечити рівність швидкості потоку рідини у вхідному патрубку РПА (абсорбера) і рівність обсягу подається в робочу зону повітря.

У ферментаційній установці з РПА роторно-пульсаційний апарат поєднує в собі функцію аератора і функцію насоса, що забезпечує рух культуральної рідини по контуру. В установці з абсорбером ці завдання виконуються різними пристроями. Для перекачування рідини був обраний насос КМ 50-32-125, який має подібні РПА технічні характеристики, наведені в табл. 1.

1. Технічні характеристики перекачувальних пристроїв ферментаційних установок на базі абсорбера й на базі РПА

	КМ 50 – 32 - 125	РПА
Об'ємна витрата, $м^3/с$	12,5	9
Напір, м в. ст.	20	10
Споживана потужність, кВт	2,2	3,0

Обертальний рух ротора абсорбера забезпечується електродвигуном потужністю 1,5 кВт.

Подача повітря в абсорбер здійснюється за допомогою компресорної установки УК-40-2М (компресор Безмасляний) із номінальним робочим тиском 2 кгс / $см^2$ (196 кПа), продуктивністю 34 л / хв (0,6 л / с) . Максимальний тиск 3,5 кгс / $см^2$ (343 кПа), Продуктивність 75 л / хв (1,25 л / с). Споживана потужність за номінальної напруги (220 В, 50 Гц) і номінального тиску 550 ВА (0,33 кВт).

Дослідження з визначення швидкості масопереносу кисню проводилися на дріжджах *Candida Tropicalis*. Живильним середовищем була післяспиртова зернова барда.

Залежність концентрації розчиненого кисню від кількості циклів обробки визначалася на післяспиртовій зерновій барді з концентрацією сухих речовин 4% і 8%. Обсяг рідини становив 60 л (10 л, 30 л). Час одного циклу обробки становив 22 с (10 л – 6 с, 30 л – 15 с). Частота обертання роторного вузла в РПА і ротора в абсорбері 47,75 об / с. Отримані результати наведено на рис. 2.

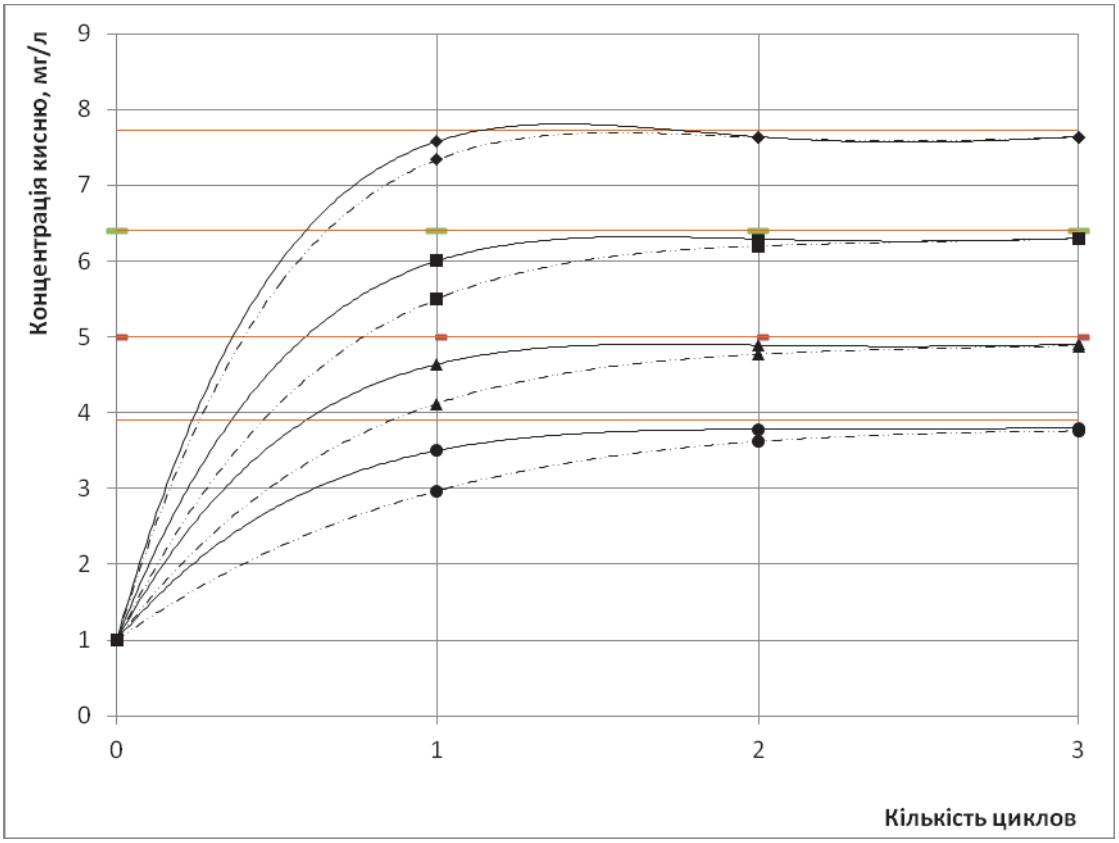

Рис. 2. Залежність концентрації розчиненого кисню від кількості циклів обробки при концентрації СВ: ♦ – вода; ■ – 3%; ▲ – 5%; ● – 10%; суцільна лінія – установка з РПА, пунктирна – з абсорбером

Отримані дані свідчать про те, що при використанні абсорбера, кисень розчиняється в середовищі на 20% повільніше, ніж у РПА. Таким чином, насичення середовища відбувається не за два, а за три цикли обробки, що стає особливо важливим при обробці більших обсягів рідини.

Важливим питанням при обробці культуральних середовищ є фізіологічний стан дріжджів і кількість загиблих в процесі обробки клітин. Результати порівняння числа мертвих клітин за час культивування в ферментаційних установках з абсорбером і РПА в якості аеруючих пристроїв, подано в табл. 2.

2. Кількість мертвих клітин за час культивування у ферментаційних установках з абсорбером і РПА

Тип аеруючого пристрою ферментаційної установки	Час культивирования, год								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Абсорбер	2	2	2	2	2	2	2	2	2
РПА	2	2	2	3	3	4	4	5	6

Отримані дані свідчать про те, що обробка в абсорбері в досліджуваному нами діапазоні кутових швидкостей обертання ротора не чинить негативного впливу на дріжджі, що є безумовною перевагою даного апарата, обробка ж в апараті з РПА призводить до появи мертвих клітин.

Подальші дослідження полягали у визначенні швидкості масопереносу кисню при культивуванні дріжджів *Candida Tropicalis*. Дослідження відбувалися при зміні частоти обертання ротора при різній концентрації сухих речовин в барді, витрата повітря на аерацію – 10 л / л годину. Результати досліджень наведено на рис. 3, як залежність максимальної швидкості масопереносу кисню, що досягається за проміжок від другої до четвертої години культивування. Швидкість масопереносу для розбавленої барди (4%) визначалася в перерахунку на концентровану барду.

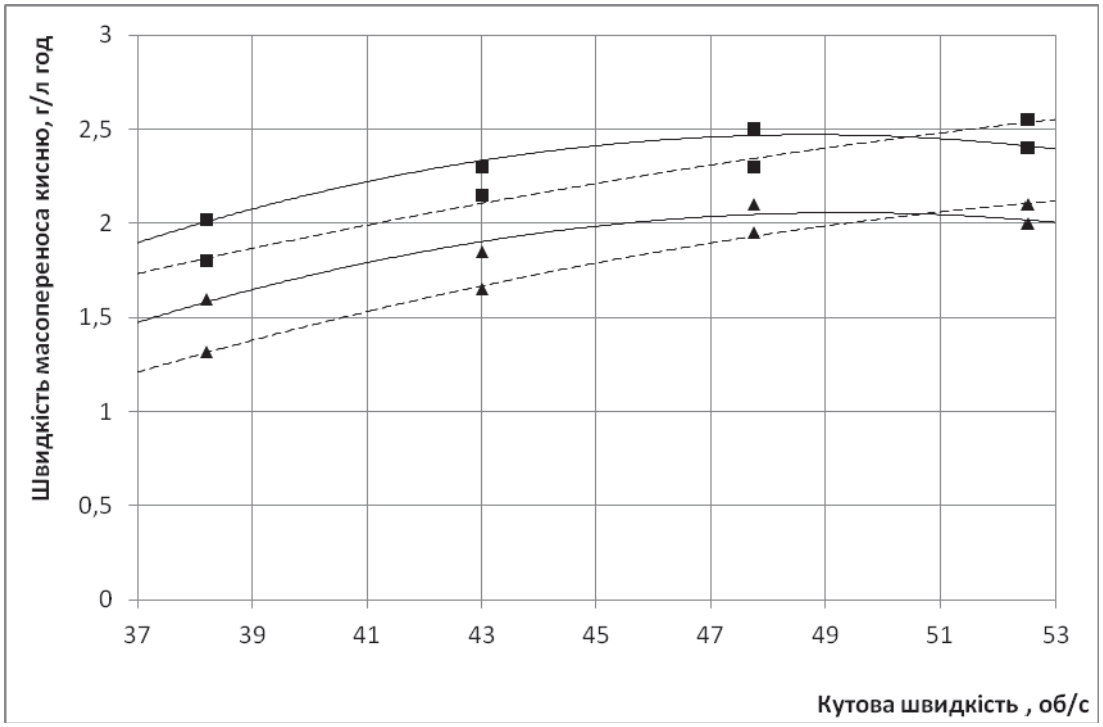

Рис. 3. Залежність швидкості масопереносу кисню від кутової швидкості вала при концентрації СВ: ■ – 4%; ▲ – 8%, суцільна лінія РПА, пунктирна – абсорбер

Отримані дані свідчать про те, що швидкість розчинення кисню в установці з абсорбером нижча, ніж в РПА. Однак, якщо в РПА при кутових швидкостях обертання валу, більших, ніж 47,75 об / с швидкість масопереносу умовно зменшується, що пояснюється збільшенням числа мертвих клітин, то в установці з абсорбером ріст клітин триває, а отже, триває споживання кисню.

Порівняння енергозатрат на проведення процесу культивування кормових дріжджів у ферментаційних установках з абсорбером та РПА свідчить, що установка з абсорбером споживає на 25% електроенергії більше, ніж установка з РПА.

Висновки

- порівняно роботу ферментаційних установок з дискретно-імпульсним введенням енергії, що реалізується в абсорбері та роторно-пульсаційному апараті в процесі вирощування кормових дріжджів на післяспиртовій барді;
- визначено, що в установці з РПА кисень розчиняється на 20% швидше, ніж в установці з абсорбером;
- встановлено, що швидкість масопереносу кисню в установці з РПА при витраті повітря 10г/л год становить 2,1 г/л год, тоді як в установці з абсорбером – 1,95 г/л год, але при більш жорсткому режимі обробки в установці з РПА збільшується кількість мервих клітин;
- встановлено, що енергозатрати на аерацію культуральної рідини, при культивуванні кормових дріжджів в установці з абсорбером, на 25% вищі, ніж в установці з РПА.

Список літератури

1. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ : тематический сборник статей / под общ. ред. А. А. Долинского – К. : Академпериодика, 2015. – 464 с.
2. А.с. 787457 (СССР). Способ аэрирования жидкости при выращивании микроорганизмов / О. А. Кремнев, А. А. Долинский, А. А. Корчинский и др. – Опубл. в Б. И., 1980, № 46.
3. А.с. 672155 (СССР). Способ насыщения жидкости газом / О. А. Кремнев, А. А. Долинский, А. А. Корчинский, Я. И. Коренберг. – Опубл. в Б. И., 1979, № 25.
4. А. с. 735290 (СССР). Устройство для импульсной аэрации жидкости / О. А. Кремнев, А. А. Долинский, А. А. Корчинский и др. – Опубл. в Б. И., 1980, № 19.
5. Ободович О. М. Аерація і масообмін при культивуванні кормових дріжджів / О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, Ю. О. Борхаленко, В. В. Сидоренко // III Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК” : тези доповідей, 17–18.12.2015., м. Київ. – К. : НУБіП України, 2015. – С. 43–44.
6. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. : монография. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
7. Долинский А. А. Исследование влияния импульсно-дискетной подачи газа с частотой 1000–5000 Гц на процессы абсорбции / А. А. Долинский, А. А. Корчинский, В. В. Панчишин // Промышленная теплотехника. – 1983. – Т. 5. – № 3. – С. 30–33.
8. Долинский А. А. Энергосберегающие абсорбционные технологии в производстве газированных напитков / А. А. Долинский, Б. И. Басок, О. К. Шетанков, А. И. Чайка // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23. – № 4–5. – С. 137–140.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОМАССООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ВВЕДЕНИЕМ ЭНЕРГИИ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Б. Х. Драганов., А. Н. Ободович, Г. К. Иваницкий, В. В. Сидоренко

Аннотация. *Рассмотрена работа ферментационной установки с применением абсорбера в качестве аэрирующего устройства в процессе культивирования кормовых дрожжей. Представлены массообменные характеристики по абсорбции кислорода. Проведен сравнительный анализ данной установки с ферментационной установкой с использованием роторно-пульсационного аппарата.*

Ключевые слова: ***кормовые дрожжи, послеспиртовая барда, метод дискретно-импульсного ввода энергии, абсорбер, роторно-импульсный аппарат, скорость массопереноса кислорода***

COMPARING THE EFFICIENCY OF HEAT AND MASS TRANSFER EQUIPMENT TO DISCRETE-PULSE ENERGY WITH THE INTRODUCTION OF THE CULTIVATION OF FODDER YEAST

B. Draganov, O. Obodovich, G. Ivanitskiy, V. Sidorenko

Annotation. *The article reviewed the fermentation installation work using the absorber as the aeration device during culturing fodder yeast. Mass transfer characteristics of the absorption of oxygen are presented. A comparative analysis of the fermentation plant with the installation using the rotary-pulsation apparatus is presented.*

Key words: ***fodder yeast, distillers grains, a method of discrete input pulse energy, absorber, the rotary-pulse machine, oxygen mass transfer speed***