

УДК 663.14. 033, 663.143.2

## **АЕРАЦІЯ І МАСООБМІН ПРИ КУЛЬТИВУВАННІ КОРМОВИХ ДРІЖДЖІВ**

*О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, доктори технічних наук*

*В. В. Сидоренко, інженер*

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ*

*Ю. О. Борхаленко, кандидат технічних наук*

*Науково-методичний центр інформаційно-аналітичного забезпечення  
діяльності вищих навчальних закладів "Агроосвіта" МОН України*

*e-mail: [tdsittf@ukr.net](mailto:tdsittf@ukr.net)*

**Анотація.** *Проведено дослідження щодо впливу параметра частота пульсацій на швидкість перенесення маси кисню в процесі вирощування кормових дріжджів на післяспиртовій барді при її обробці методом дискретно-імпульсного введення енергії.*

**Ключові слова:** *кормові дріжджі, післяспиртова барда, метод дискретно-імпульсного введення енергії, роторно-імпульсний апарат, частота пульсацій.*

Аерація і масообмін середовища - найважливіші умови для швидкого розмноження дріжджів. Аерація має на меті забезпечити дріжджі киснем, рівномірно розподілити їх в середовищі і видалити з середовища вуглекислий газ, який пригнічує життєдіяльність клітин. Дріжджам, як і іншим мікроорганізмам, необхідний розчинений кисень, так як необхідна для їх життя енергія виникає в результаті окислення ними джерел вуглецю [1].

Масообмін необхідний для доступу поживних речовин у клітину і відводу продуктів її життєдіяльності.

При культивуванні мікроорганізмів, зокрема кормових дріжджів, процес необхідно здійснювати таким чином, що б кількість розчиненого кисню і поживних речовин, що надходять в клітину, дорівнювала їх споживанню. Від

цього залежить швидкість росту і фізіологічні властивості кормових дріжджів. Для зростання і синтезу протеїну дріжджам і дріжджеподібним грибам необхідні кисень, джерела азоту, фосфору вуглецю. У невеликих кількостях необхідні Ca, K, Na, Fe, Mg.

У літературі і на практиці кормовими дріжджами називається продукт, що складається з клітинної маси дріжджеподібних грибів роду *Candida* і дріжджів сахароміцетів, які є відходами при виробництві спирту, пива, вина. Кормові дріжджі багаті протеїном, амінокислотами, вітамінами, мікроелементами [2]. Найціннішим компонентом є протеїн. Його вміст у дріжджах одного і того ж виду і штаму, але вирощеного на різних середовищах і за різними режимами, становить від 35 до 55 %. У таблиці представлені дані за процентним вмістом речовин в дріжджах, вирощених на різних поживних середовищах.

**Відсотковий вміст речовин в дріжджах, вирощених на різних поживних середовищах**

| Речовини, %          | Дріжджі, вирощені на                 |                           |                |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------|
|                      | Сульфітному лузі і гідролізній барді | Зерно – картопляній барді | Мелясній барді |
| Протеїн              | 45 – 52                              | 48 – 56                   | 47 – 55        |
| Вуглеводи            | 13 – 16                              | 22 – 25                   | 14 – 17        |
| Жири                 | 2 – 3                                | 2 – 5                     | 3 – 5          |
| Безазотисті речовини | 20 – 37                              | 22 – 30                   | 22 – 33        |
| зола                 | 8 – 11                               | 7 – 9                     | 8 – 12         |

Як випливає з таблиці, найбільша кількість протеїну міститься в кормових дріжджах, вирощених на зерно – картопляній барді (відхід спиртового виробництва) [3]. Тому при проведенні досліджень з вирощування кормових дріжджів як поживне середовище нами була використана зерно – картопляна барда. Крім того, утилізація післяспиртової барди є актуальним завданням для спиртових заводів.

Зважаючи на високий вміст в кормових дріжджах легкозасвоюваного протеїну та вітамінів, цей продукт широко використовується як харчова добавка до кормів.

Літературні дані свідчать про те, що при згодовуванні 1 кг сухих дріжджів виходить додатково: м'яса свинячого 0,4 кг, м'яса птиці 1,5 кг, молока 5,7 л, яєць 30-40 шт. У раціоні хутрових звірів дріжджі замінюють до 35 % м'яса, прискорюють їх розмноження і покращують якість хутра [4].

Таким чином, є очевидною актуальність оптимізації вирощування та використання кормових дріжджів.

**Мета досліджень** – вивчення процесів абсорбції та перенесення маси при вирощуванні кормових дріжджів з використанням методу дискретно - імпульсного введення енергії.

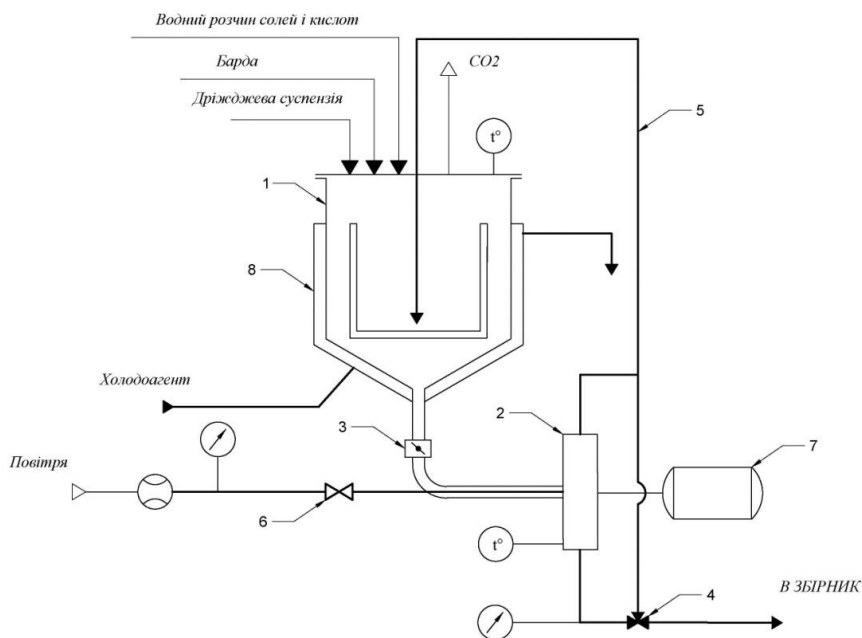
**Матеріали та методика досліджень.** При проведенні роботи об'єктами досліджень були: зернова барда спиртових заводів, дріжджеподібні гриби роду *Candida*, ферментаційна установка з дискретно - імпульсним введенням енергії.

Ферментаційна установка з дискретно - імпульсним введенням енергії (рис.1), складається з бункера 1 з внутрішнім стаканом і охолоджуючої сорочкою 8, роторно - імпульсного апарату 2, в якому реалізується метод дискретно - імпульсного введення енергії. Робочим органом апарату є роторно - імпульсний вузол, що складається з перфорованих двох роторів і одного статора, закріплених на валу електродвигуна 7, системи трубопроводів (рециркуляційного, повітряного, зливного), запірної апаратури.

Установка оснащена пультом управління і контролю.

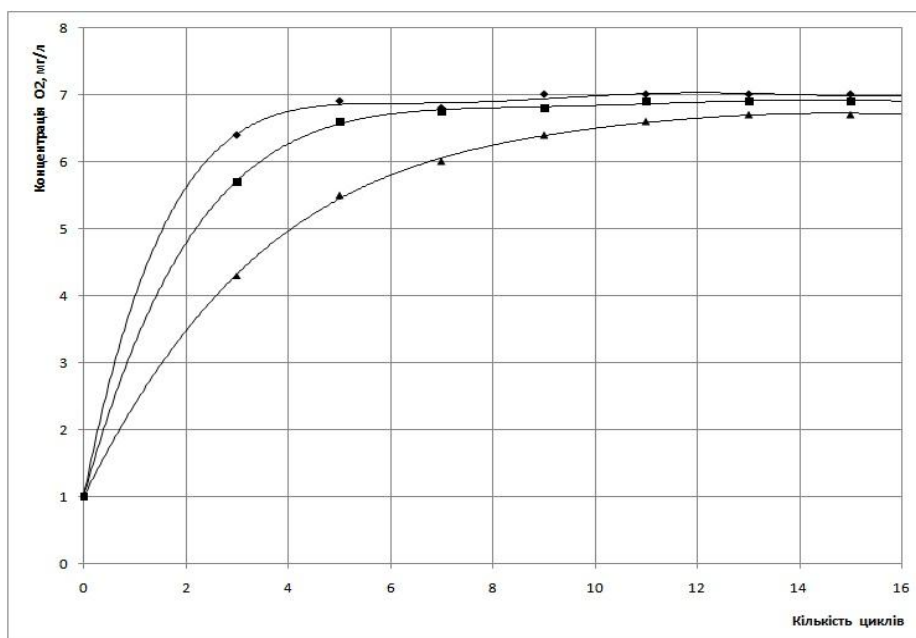
**Результати досліджень.** Одним з основних показників режиму роботи роторно - імпульсного апарату є частота пульсацій. Результати експериментів з абсорбції кисню представлені на рис.2 у вигляді залежності концентрації розчиненого кисню від кількості циклів обробки за різної частоти пульсацій.

Отримані дані демонструють, що збільшення частоти пульсацій з 2 до 2,865 кГц зменшує час обробки з 9 циклів до 3-х.



**Рис.1. Ферментаційна установка з дискретно-імпульсним введенням енергії:**

1 – бункер; 2 – роторно – імпульсний апарат; 3 – заслінка; 4 – триходовий кран; 5 – трубопровід рециркуляції; 6 – двоходовий кран; 7 – двигун; 8 – сорочка охолодження.



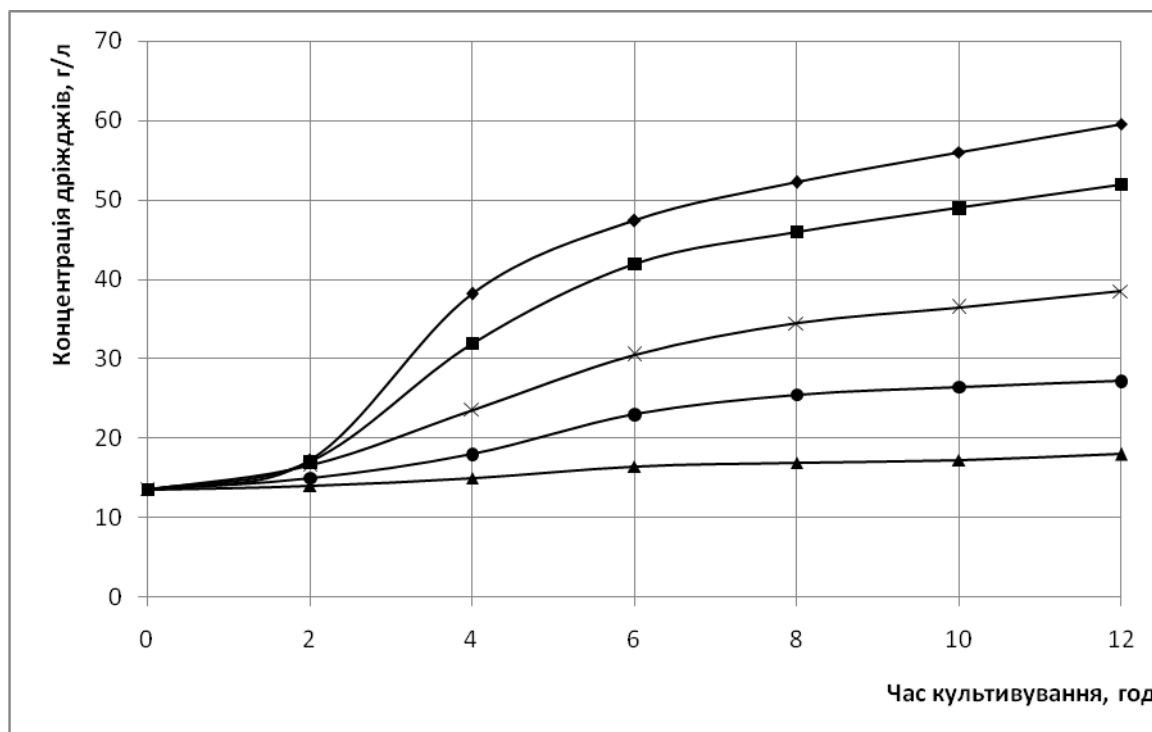
**Рис.2 Залежність концентрації кисню від кількості циклів обробки за різних частот пульсацій:**

◆ - 2,865 кГц; ■ - 2,483 кГц; ▲ - 2 кГц (n = 47,75 об / с, зазор - 1000 мкм)

Зернова барда спиртових заводів містить різну кількість сухих речовин (СР) від 4 до 8,5 %. На практиці для вирощування кормових дріжджів використовують як висококонцентровану, так і розбавлену барду.

З літературних джерел відомо, що кисень погано розчиняється у рідинах. На його абсорбцію впливає температура, вміст СР і гідродинамічна обстановка на межі розділу фаз.

З метою визначення впливу аерації на приріст біомаси дріжджів була поставлена серія експериментів з вирощування кормових дріжджів на зерновій барді з вмістом сухих речовин 8,5 %. Повітря подавалося за допомогою компресора. Обсяг культуральної рідини становив 30 л. Результати досліджень представлені у вигляді залежності концентрації біомаси дріжджів (75 % вологості) від часу культивування за різної витрати повітря на аерацію.



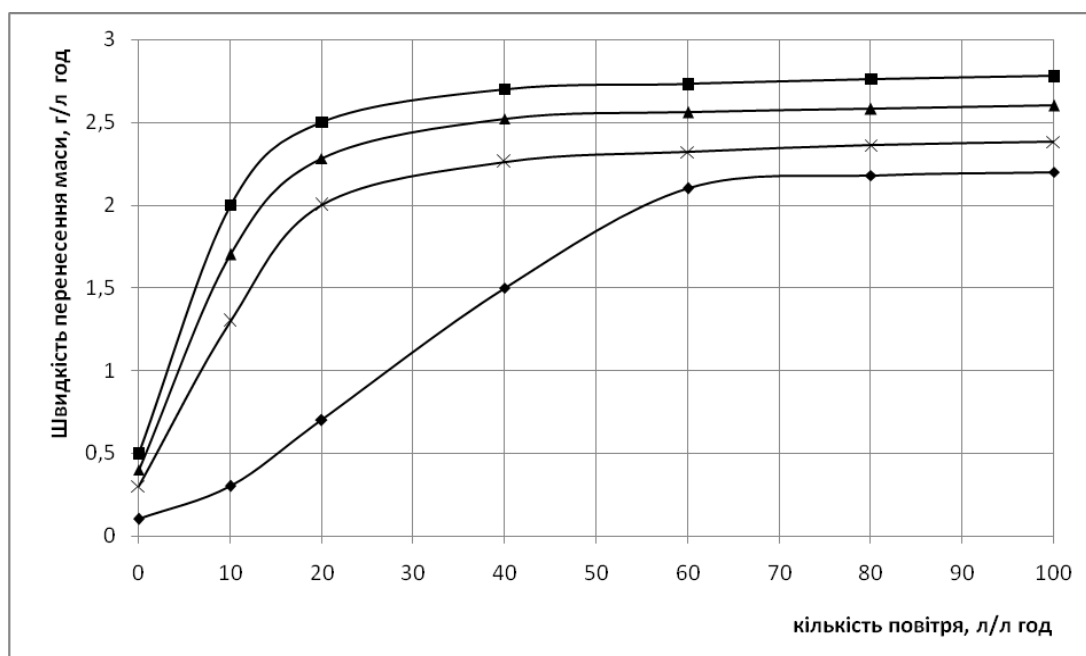
**Рис. 3. Залежність концентрації біомаси дріжджів від часу культивування за витрати повітря:**

▲ - без аерації; ● - 10 л / л год; × - 20 л / л год; ■ - 40 л / л год; ◆ - 60 л / л год

Отримані дані свідчать про те, що максимальну концентрацію дріжджів (60 г /л) можна отримати лише за інтенсивної витрати повітря, не нижче 60 л

повітря на літр культуральної рідини за годину. Необхідність такої високої витрати пояснюється досить низьким ступенем розчинності кисню в культуральній рідині.

Досліджено залежності швидкості перенесення маси кисню від витрати повітря на аерацію за різною частотою пульсацій. Результати досліджень представлені на рис. 4. Як випливає з графіка, при збільшенні частоти пульсацій до 2,87 кГц (відповідає частоті обертання роторного вузла 47,75 об / с, кількість прорізів - 60) для досягнення швидкості масопереносу кисню, рівного 2,1 г/л·год досягається вже за витрати повітря, рівної 13 л / л культуральної рідини за годину. Зі зменшенням частоти пульсацій збільшується витрата повітря до 18 л / л годину за частоти пульсацій 2,48 кГц і 24 л / л годину за частоти пульсацій 2 кГц.

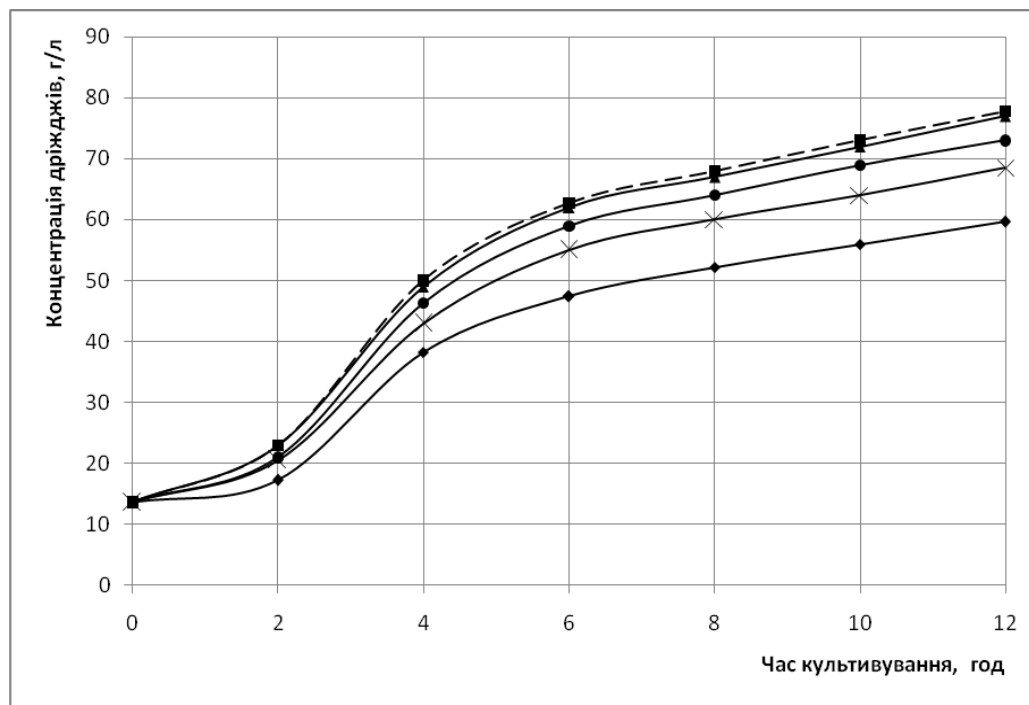


**Рис.4 Залежність швидкості масопереносу кисню від кількості подаваного повітря за частоти пульсацій:**

◆ - 0 кГц; × - 2 кГц; ▲ - 2,48 кГц; ■ - 2,87кГц

Як відомо з літератури [5], на розбавлених середовищах показники росту дріжджової біомаси вищі, ніж на концентрованих, що пояснюється більшою розчинністю кисню. Однак, у випадку зі спиртовою бардою розбавлення культуральної рідини веде до значного збільшення обсягу останньої. Це в свою

чергу веде як до збільшення питомих витрат енергії на обробку, так і підвищення металоємності обладнання. Як впливає з рис.5, розбавлення барди в два рази призводить до збільшення концентрації дріжджів на 30 % (у перерахунку на обсяг концентрованої барди). Обробка культуральної рідини в установці при витраті повітря 60 л / л годину дає ті ж результати за частоти пульсацій 2,87 кГц, що дає можливість обробляти концентровану барду з не меншим приростом, ніж розбавлену.



**Рис.5 Залежність концентрації біомаси дріжджів від часу культивування за частоти пульсацій:**

◆ - 0 кГц; × - 2 кГц; ● - 2,48 кГц; ▲ - 2,87кГц; ■ - розбавлена барда (1 ÷ 1) в перерахунку на 8,5 % СР

### Висновки

Встановлено, що керуючи режимами обробки культуральних середовищ і змінюючи конструктивні особливості РІА, можна регулювати швидкість перенесення маси кисню.

Експериментально встановлено, що збільшення частоти пульсацій до 2,85 кГц дозволяє зменшити витрату повітря в 4,5 рази порівняно з традиційними способами.

Збільшення частоти пульсацій дозволяє інтенсифікувати процес вирощування дріжджів, а саме скоротити тривалість процесу з 32 до 12 год.

Використання методу ДІВЕ дозволяє обробляти концентровану барду.

### **Список літератури**

1. Промышленная микробиология: учеб. пособие [для вузов по спец. "Микробиология" и "Биология"] / [ З.А. Аркадьева, А.М. Безбородов, И.Н. Блохина и др.]; под ред. Н.С. Егорова. – М. : Высш. шк., 1989. – 688 с.

2. Сайт Антология спиртового брожения (ферментации), дистилляция и ректификация этилового спирта (алкоголя). Производство водки [Электронный ресурс] / – Режим доступа:

[http://www.sergeyosetrov.narod.ru/Projects/DDGS/Utilize\\_stillage.htm](http://www.sergeyosetrov.narod.ru/Projects/DDGS/Utilize_stillage.htm)

3. Корнієнко Л. В. Дослідження мембранних методів переробки після спиртової барди: дис. канд. тех. наук : 05.18.12/ Л.В. Корнієнко. – К., 2015. – 159 с.

4. Андреев А.А. Производство кормовых дрожжей / А.А. Андреев, Л.И. Брызгалов. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 248 с.

5. Семихатова Н.М. Производство хлебопекарных дрожжей / Н.М. Семихатова, М.Ф. Лозенко, Л.Д. Белова и др.- [2-е изд., перераб. и доп.]. - М.: ВО "Агропромиздат", 1987.- 272 с.

## **АЭРАЦИЯ И МАССООБМЕН ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ**

*А. Н. Ободович, Г. К. Иваницкий, Ю. А. Борхаленко, В. В. Сидоренко*

*Аннотация. Проведены исследования по влиянию параметра частота пульсацій на скорость массопереноса кислорода в процессе выращивания кормовых дрожжей на послеспиртовой барде при её обработке методом дискретно-импульсного ввода энергии.*

**Ключевые слова:** *кормовые дрожжи, послеспиртовая барда, метод дискретно-импульсного ввода энергии, роторно-пульсационный аппарат, частота пульсацій*



**AERATION AND MASS TRANSFER UNDER CULTIVATION OF  
FODDER YEAST**

*A. Obodovich , G. Ivanitskii, Y. Borhalenko, V. Sidorenko*

**Annotation.** *The research on the effect of setting the frequency of the pulsations in the rate of mass transfer of oxygen in the process of fodder yeast DDGS during its processing by discrete pulse energy input.*

**Keywords:** *yeast feed, distillery slop, the method of discrete input pulse energy rotary pulsation apparatus, pulsation frequency*