

**ЗАРЯД КАПЛИ ПРИ ПРОЛЕТЕ ЧЕРЕЗ ИОНИЗИРОВАННЫЙ ВОЗДУХ****Барайшук Сергей Михайлович**

к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой практической подготовки студентов  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
Республика Беларусь, г. Минск

**Янко Максим Валерьевич**

аспирант кафедры электротехнологий  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
Республика Беларусь, г. Минск

**Аннотация:** В статье рассмотрен процесс зарядки капли питательной среды и микроорганизмами, в частности хлебопекарных дрожжей, при пролете капле питательной среды с микроорганизмами через ионизированный воздух и в поле коронного разряда между коронирующим и осадительным электродами. Предположено, что заряд капли будет равен сумме зарядов: приобретённого в процессе столкновения с аэроионами и в поле коронного разряда. Предложен алгоритм расчета заряда, приобретенного, при столкновениях капли жидкости питательной среды с микроорганизмами. Определён заряд, получаемый средой после обработки полного объёма жидкости. Показан расчёт максимально возможного диаметра капли жидкости с микроорганизмами. Предложена схема лабораторной установки, на которой может быть реализован предлагаемый способ зарядки питательной среды и микроорганизмами.

**Ключевые слова:** диффузия питательных веществ, аэроионы, коронный разряд, микробная клетка, заряд капли, электрическое поле.

**CHARGING A DROP WHEN FLYING THROUGH IONIZED AIR****Baraishuk Siarhei M.**

PhD, Associate Professor, Head of the Department of practical training of students  
Belarusian State Agrarian Technical University  
Belarus, the city of Minsk

**Yanko Maksim V.**

student of the Department of electrotechnology  
Belarusian State Agrarian Technical University  
Belarus, the city of Minsk

**Abstract:** The article describes the process of charging a drop of nutrient medium and microorganisms, in particular baker's yeast, when a drop of nutrient medium with microorganisms passes through ionized air and in the corona discharge field between the corona and precipitation electrodes. It is assumed that the charge of the drop will be equal to the sum of the charges acquired during the collision with aeroions and in the corona discharge field. An algorithm is proposed for calculating the charge acquired when a liquid drop of the nutrient medium collides with microorganisms. The charge received by the medium after processing the full volume of the liquid is determined. The calculation of the maximum possible diameter of a liquid drop with microorganisms is shown. A diagram of a laboratory installation is proposed, which can be used to implement the proposed method of charging the nutrient medium and microorganisms.

**Keywords:** Diffusion of nutrients, air ions, corona discharge, microbial cell, drop charge, electric field.

Выращивание различных микроорганизмов, и в частности хлебопекарных дрожжей – сложный микробиологический процесс, требующий соблюдения технологии, нарушение которой приводит к ухудшению качества, снижению продуктивности и в конечном итоге рентабельности их производства. Процесс выращивания (ферментации) связан со значительными издержками сырья, электроэнергии и трудозатрат.

По этой причине на предприятиях микробиологической и пищевой промышленности идет постоянная работа по получению более конкурентной продукции: с высокой продуктивностью, более продолжительным сроком хранения, разработка методов уменьшения издержек на производство, и поиск способов комплексного повышения эффективности производства и снижения затрат.

Наши предыдущие исследования [1] подтверждают, что одним из возможных решений этой проблемы является активация роста дрожжей внесением электрических зарядов в питательную среду, что влияет на диффузию ионов питательных веществ через пору мембраны клетки, а, следовательно, и продуктивность микробиологической клетки.

На сегодняшний момент известно несколько способов активации продуктивности микроорганизмов в том числе и дрожжей. К примеру, в работе [2] объем дрожжей подвергался обработке электрическим полем в межэлектродном пространстве. Так получено что кратковременная обработка (30-50 мкс) полем напряженностью 50-100 кВ/м позволяет увеличить бродильную активность на 7-10%. Эти данные позволяют говорить об активизации метаболических процессов клетки хлебопекарных дрожжей. Этот способ имеет большую энергоемкость, энергозатраты составляют около  $9 \cdot 10^8$  Дж/м<sup>3</sup>.

В свою очередь учеными в работе [3] через питательную среду и дрожжи в процессе выращивания пропускали электрический ток в размере 200 мА для электролиза среды с дрожжами. Показано что это позволило подавить патогенную (нежелательную) микрофлору, мешающую росту и размножению дрожжей, в результате чего получен прирост биомассы в 2%. Этот способ так же имеет несколько недостатков: повышенные требования к установке с точки зрения электробезопасности, сложность расчетов установки для ферментеров в форме цилиндра так, как в ёмкостях подобной формы сложно получить однородное электрическое поле, и загрязнение среды ионами металлов электродов при электролизе.

Мы предполагаем, что заряд клетки можно изменить при пролете капли питательной среды с микроорганизмами через ионизированный воздух (объем аэроионов) и в поле коронного разряда между коронирующим и осадительным электродами.

Величина заряда капли влияет на обменные процессы между питательной средой и клеткой дрожжей, на развитие дрожжей и потенциал поверхностного заряда клетки. Потенциал поверхности клетки, в свою очередь, зависит от заряда клетки, который определяет заряд капли  $q_k$ . Капля в свою очередь получает заряд в электрическом поле постоянного тока  $q_{kn}$  (1) и накопленного на её поверхности при соударениях капли с аэроионами в процессе падения  $q_{ка}$  (2):

$$q_{kn} = 12\pi\epsilon_0 r^2 E, \quad (1)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Кл/(В·м) – электрическая постоянная;  $r$  – радиус капли с дрожжами, м;  $E$  – напряженность электрического поля, В/м.

$$q_{ка} = \frac{L}{\langle \lambda \rangle} \cdot e, \quad (2)$$

где  $L$  – длина пути падения капли в воздухе, ионизированном электрическим полем, м;  $\langle \lambda \rangle$  – средняя длина свободного пробега аэроиона в ионизированном воздухе, м;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд аэроиона, принят равным заряду электрона.

Суммарный заряд капель равен:

$$q_k = q_{kn} + q_{ка}. \quad (3)$$

Средняя длина свободного пробега аэроиона в воздухе ионизированном электрическим полем,  $\langle \lambda \rangle$ , м, (4.1), (4.3), с. 73-74 [4]:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}, \quad (4)$$

где  $\langle v \rangle$  – средняя арифметическая скорость аэроиона, м/с;  $\langle z \rangle$  – среднее число столкновений капли с аэроионами за единицу времени;  $d$  – диаметр капли, м;  $n$  – концентрация аэроионов в объёме ионизированного воздуха, м<sup>-3</sup>.

Диаметр капли определен по коэффициенту поверхностного натяжения жидкости, (7.4) с. 149 [4]:

$$d = \frac{m_{\max} g}{\pi \sigma}, \quad (5)$$

где  $m_{\max}$  – масса максимально возможной капли, кг;  $g = 9,81$  – коэффициент силы тяжести, Н/кг;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения среды в капле, Н/м.

Масса максимально возможного размера капли:

$$m_{\max} = \rho V_{\max} = \frac{\pi \rho d^3}{6}, \quad (6)$$

где  $V_{\max}$  – максимальный объем капли, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность капли среды в капле, кг/м<sup>3</sup>.

Подставив (6) в формулу (5), получим максимальный диаметр капли.

В процессе обработки среде сообщается количество электричества, определяемое по выражению:

$$Q = n_k q_k = \frac{V}{V_k} q_k, \quad (7)$$

где  $n_k$  – количество капель в обрабатываемой среде;  $V$  – объём обрабатываемой среды, м<sup>3</sup>;  $V_k$  – объём одной капли, м<sup>3</sup>.

Коэффициент поверхностного натяжения питательной среды с хлебопекарными дрожжами или другими микроорганизмами можно определить экспериментально по методу падающей капли, с. 149 [4].

Такой способ зарядки капли жидкости с микроорганизмами можно реализовать на установке, показанной на рис.1.

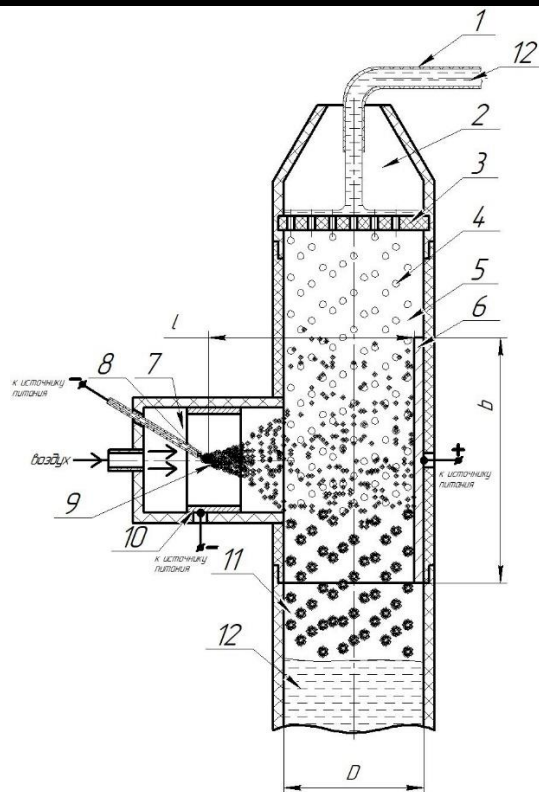


Рис. 1. Схема установки для зарядки капли жидкости с микроорганизмами: 1 – трубка для подачи жидкости; 2 – устройство оросительное; 3 – решетка; 4 – капля среды с дрожжами; 5 – камеры обработки аэроионными; 6 – электрод осадительный 7 – разрядная камера; 8 – электрод коронирующий; 9 – поток аэроионов; 10 – электрод для очистки воздуха от положительных ионов; 11 – ферментёр; 12 – поток жидкости

Таким образом теоретически показано, что в процессе обработки капли жидкости, можно изменить её заряд благодаря столкновениям с аэроионами и под воздействием электрического поля коронного разряда между коронирующим и осадительным электродами. Рассмотренный способ зарядки капли питательной среды и микроорганизмами, в частности хлебопекарных дрожжей, при пролете капли питательной среды с микроорганизмами через ионизированный воздух и в поле коронного разряда между коронирующим и осадительным электродами позволяет снизить энергозатраты при управлении продуктивностью микроорганизмов и избежать загрязнения среды ионами металлов.

#### Список литературы:

1. Янко, М. В. Аэроионная активация некоторых микробиологических процессов / М.В. Янко, Е.М. Заяц // Агропанорама. — 2019. — № 1 (131) — С. 28-29.
2. Release of mannoproteins during *Saccharomyces cerevisiae* autolysis induced by pulsed electric field / J. M. Martínez [et al.] //Frontiers in microbiology. — 2016. — Vol. 7. — Art. 1435.
3. Scaling-up in industrial winemaking using low electric current as an alternative to sulfur dioxide addition / G. Lustrato [et al.] // Journal of applied microbiology. — 2006. — Vol. 101. — №. 3. — P. 682-690.
4. Цэдрык, М. С. Курс агульнай фізікі: Цеплыня і малекулярная фізіка : Вучэбны. дапаможнік. — Мінск : Вышэйшая школа, 1994. — 232 с.

