

волны в окружающей среде и развитие камуфлетной полости во времени. Теоретически описано явление пульсации давления на границе газовой полости. Определено максимальное давление на границе «продукты детонации – среда». Установлено зависимость между максимальным радиусом взрывной полости и радиусом зарядной скважины с раствором.

**Ключевые слова:** тампонажный материал, полость, взрыв, давление, деформация.

Надійшла 12.12.2014

Received 12.12.2014

УДК 57.083.13

А.Н. Ободович, д-р .техн. наук, главный научный сотр.  
С.И. Костик, В.В. Сидоренко  
Институт технической теплофизики НАН Украины

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗА СЧЁТ ДИСКРЕТНО – ИМПУЛЬСНОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

*Рассмотрена возможность применения роторно – пульсационного аппарата, реализующего метод дискретно – импульсного ввода энергии в качестве аэратора (сатуратора) в технологии культивирования микроорганизмов. Освещена область применения метода в данной технологии, представлено описание установки, а также принцип её действия, описаны основные физические явления, возникающие в рабочей зоне аппарата.*

**Ключевые слова:** дискретно – импульсный ввод энергии, роторно - пульсационный аппарат, культивирование, дрожжи

### Вступление

Массообмен и аэрация питательной среды – важнейшие условия для размножения микроорганизмов, потребляющих кислород. К факультативным анаэробным организмам относятся дрожжи расы *Saccharomyces cerevisiae* [1], используемые в хлебопекарной, спиртовой, пивоваренной и комбикормовой промышленности для сбраживания углеводов.

Аэрация питательной среды имеет целью обеспечить дрожжи кислородом, равномерно распределить их в объеме питательной среды и удалить выделяющийся в ходе метаболизма дрожжей углекислый газ, угнетающий жизнедеятельность дрожжевых клеток. Аэробным организмам, в частности дрожжам, выращиваемым в глубине питательной жидкости необходим растворенный кислород в качестве акцептора водорода в реакциях окисления ассимилируемых дрожжами углеродных соединений. Результатом является энергия, используемая в процессах метаболизма клетки.

Для обеспечения необходимой концентрации растворенного кислорода в культуральной среде необходимо обеспечить постоянное растворение строго определенного количества кислорода воздуха, подаваемого на аэрацию. Как недостаток, так и избыток кислорода является нежелательным фактором культивирования [2].

В частности полагают, что при накоплении биомассы дрожжей 50 г/л средняя скорость поглощения кислорода дрожжами лежит в пределах 1,5 – 2,0 кг/м<sup>3</sup>·ч. Если принять увеличение производительности аппаратуры с накоплением до 90 – 100 г/л, то в среднем, потребность в кислороде возрастает до 3 – 4 кг/м<sup>3</sup>·ч [3].

В процессе аэрации содержащийся в пузырьках воздуха кислород диффундирует к поверхности раздела фаз газ – жидкость, проходит через эту поверхность, диффундирует от поверхности раздела фаз в жидкость и к клеточной стенке микроорганизма. На этом пути молекулы кислорода преодолевают диффузионные сопротивления, значительно отличающиеся по величине. Из теории абсорбции известно, что для труднорастворимых газов, к которым относится кислород, диффузионным сопротивлением в газовой среде можно пренебречь по сравнению с диффузионным сопротивлением в жидкости. Пренебречь можно также диффузионным сопротивлением транспорта кислорода в жидкости к клеточной стенке.

Обеспеченность дрожжевых клеток кислородом характеризуется скоростью растворения его, которая выражается уравнением массообмена

$$\frac{dG}{dt} = K_{жс} \cdot a \cdot (C_{жс} - \tilde{N}), \quad (1)$$

где

$K_{жс}$  — коэффициент диффузии для данной среды и температуры, м/ч;

$a$  — удельная поверхность раздела между жидкой и газовой фазами, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$C_{жс}$  — концентрация кислорода в жидкости при полном её насыщении, которое может быть достигнуто при данной температуре и парциальном давлении кислорода в продуваемом воздухе, кг/м<sup>3</sup>;

$\tilde{N}$  — фактическая концентрация кислорода в культуральной жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (1) следует, что для увеличения скорости растворения кислорода необходимо повысить коэффициент диффузии, поверхность раздела фаз и движущую силу процесса (разность концентраций).

С этой целью в ИТТФ НАНУ было разработано тепломассообменное оборудование с дискретно – импульсным вводом энергии, позволяющее интенсифицировать процессы массообмена при культивировании микроорганизмов.

На рис.1 показана ферментационная установка с дискретно – импульсным вводом энергии.

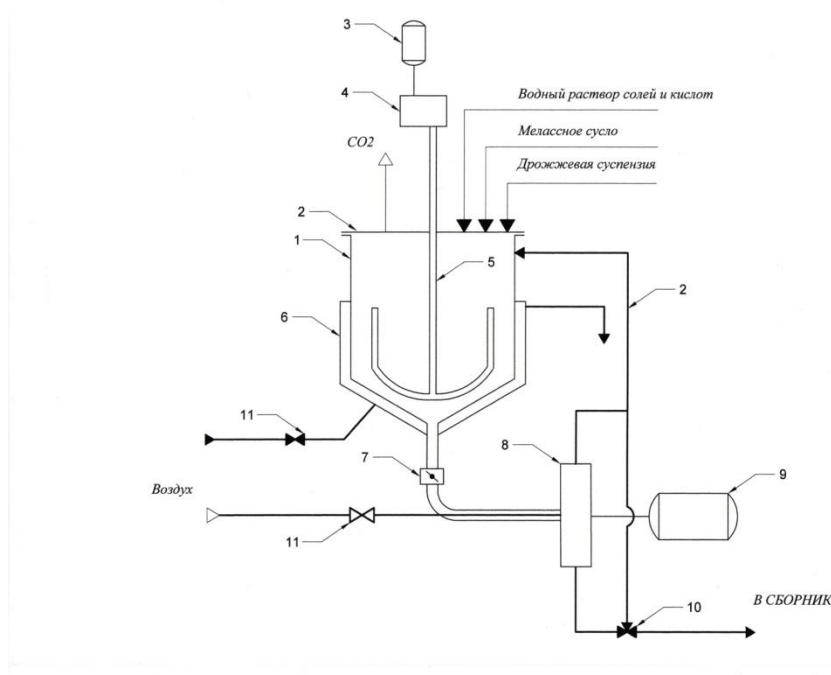


Рис. 1 Аппаратурно – технологическая схема тепломассообменной установки для культивирования микроорганизмов (на примере культивирования хлебопекарских дрожжей).

1 – бункер; 2 – крышка бункера; 3 – двигатель мешалки; 4 – редуктор; 5 – мешалка; 6 – рубашка; 7 – заслонка; 8 – роторно – пульсационный аппарат; 9 – двигатель; 10 – трёхходовой кран; 11 – двухходовой кран; 12 – трубопровод рециркуляции.

Установка работает следующим образом. В приемный бункер 1 подается мелассное сусло, водный раствор солей и кислот и засевные дрожжи. Включают мешалку 5 и проводят предварительное перемешивание ингредиентов. Затем включают роторно – пульсационный аппарат 8, открывают заслонку 7 и 3-ходовой кран 10, который находится в положении, при котором культуральная среда циркулирует по контуру приёмный бункер – роторно – пульсационный аппарат – приёмный бункер.

Во время рециркуляции смеси открывают 2-ходовой кран, через который поступает воздух из атмосферы, за счёт разрежения, создаваемого в приёмном патрубке роторно – пульсационного аппарата. Таким образом смесь культуральной среды и дрожжей насыщается воздухом, который находится в

газообразном состоянии. Полученная смесь направляется в рабочую камеру роторно – пульсационного аппарата, где подвергается обработке методом дискретно – импульсного ввода энергии.

Идея метода состоит в том, чтобы предварительно стационарно введенную и произвольным образом распределенную в рабочем объеме энергию аккумулировать (сконцентрировать) в локальных дискретных точках системы и в дальнейшем импульсно реализовать для достижения необходимых теплофизических эффектов. Цель метода дискретно – импульсного ввода энергии состоит в интенсификации тепломассообменных и гидродинамических процессов в технологических средах, а также создании методики их оптимизации и способов управления ими. Реализация метода дискретно – импульсного ввода энергии предполагает создание большого количества равномерно распределенных в дисперсной среде рабочих органов или рабочих элементов, которые трансформируют стационарную тепловую, механическую или другие виды энергии в энергетически мощные импульсы, дискретные во времени и в пространстве. Сопровождающие эти явления ударные волны, межфазная турбулентность, микрокавитация, проникающие кумулятивные микроструи, вихри вызывают на межфазных поверхностях неустойчивости типа Рэлея – Тейлора или типа Кельвина-Гельмгольца, что приводит к интенсивному дроблению дисперсных включений, значительному увеличению суммарной поверхности контакта фаз и повышению процессов массо- и теплопереноса. Подобные эффекты зачастую недостижимы при использовании традиционных методов при обработке дисперсных сред даже при существенно большем уровне удельных энергозатрат [3].

Метод дискретно – импульсного ввода энергии реализуется с помощью роторно – пульсационного аппарата. Роторно – пульсационный аппарат состоит из корпуса с входным и выходным патрубками, системы трубопроводов для рециркуляции или вывода готовой продукции, горизонтального роторного узла, состоящего из двух роторов и одного статора, размещающихся в одном неподвижном стакане. На цилиндрических поверхностях статора и роторов выполнены 64 сквозные продольные прорези. Радиальный зазор между рабочими органами ротор – статор – ротор составляет 150 – 300 мкм. Во время вращения ротора с частотой 1000 – 5000 мин<sup>-1</sup> по очереди происходит совмещение пазов статора и роторов, что является причиной возникновения значительных перепадов давления, высокоградиентных течений в зазорах, а также высоких градиентов сдвиговых напряжений. Локальные скорости сдвига потока могут изменяться от  $100 \cdot 10^2$  до  $100 \cdot 10^3$  с<sup>-1</sup>, частоты импульсов от 0,1 до 10 кГц.

Благодаря явлениям, происходящим в роторно – пульсационном аппарате увеличивается коэффициент массопереноса, повышается площадь контакта фаз, что способствует увеличению скорости растворения кислорода и быстрой доставки его, а также питательных средств в дрожжевую клетку. В конечном итоге, это приводит к повышению удельной скорости роста дрожжей на 35 – 45 %.

При культивировании микроорганизмов в ферментаторе с дискретно – импульсным вводом энергии процесс может проходить в режиме непрерывной рециркуляции за определенное количество циклов, с остановками или в прямотоке за один проход.

При культивировании микроорганизмов, используя механизмы дискретно – импульсного ввода энергии и конструктивных особенностей роторно – пульсационного аппарата, можно управлять процессом. Для ряда микроорганизмов высокие перепады давления и скорости сдвига потока, высокие градиенты сдвиговых напряжений и частоты импульсов могут приводить к разрыву клеточной стенки и гибели клетки. Если такое явление наблюдается, то несмотря на увеличение скорости массопереноса, условия обработки среды в роторно – пульсационном аппарате необходимо менять: уменьшать скорость вращения роторов, увеличивать зазор между статором и роторами, снижать частоту импульсов.

#### **Выводы**

Предлагаемая ферментационная установка с дискретно – импульсным вводом энергии позволит интенсифицировать массоперенос питательных веществ и абсорбцию кислорода в культуральной жидкости, что приведет к повышению удельной скорости роста дрожжей, увеличению их биомассы и выходу готовой продукции из единицы сырья. Использование жесткого режима дискретно – импульсного ввода энергии (высокие перепады давления и скорости сдвига потока, высокие градиенты сдвиговых напряжений и частоты импульсов) могут привести к разрыву клеточных стенок и гибели клеток.

#### **Список литературы**

1. Новаковская С.С. Справочник по производству хлебопекарских дрожжей/ С.С. Новаковская, Ю.И. Шишацкий. – М. : Пищевая промышленность, 1980 – 374 с.
2. Мальцев П.М. Технология бродильных производств – 2-е издание, перераб. и доп./ П.М. Мальцев. – М.: Пищевая промышленность, 1980 – 560 с.
3. Соколенко А.И. Дрожжерастильные аппараты и массообмен при аэрации (обзор) / А.И. Соколенко, М.П. Гандзюк, А.Ц. Мардер – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1971 – 22 с.
4. Долинский А.А. Метод дискретно – импульсного ввода энергии и его реализация: Монография / А.А. Долинский, А.Н. Ободович, Ю.А. Борхаленко. – Х. : Віровець А.П. “Апостроф” 2012. – 185 с.

A.N. Obodovich, S.I. Kostik, V.V. Sidorenko

Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine

**DEVICE TO OPTIMIZE MASS TRANSFER PROCESSES AT THE BY METHOD OF DISCRETE - PULSE ENERGY INPUT BY CULTURING MICROORGANISMS**

*The possibility of using a rotary - pulsation apparatus that implements the method of discrete - pulse energy input as the aerator (saturator) technology in the cultivation of microorganisms. Illuminated area of application of the method in this technology, explains how to install, as well as the principle of its action, describes the basic physical phenomena that occur in the working area of the apparatus.*

1. Novakovskaya S.S. Handbook for the production of bakery yeast/S.S. Novakovskaya, U.I. Shishatsky. – М.: Pischevaya promyshlennost, 1980 – 374 p.
2. Maltsev P.M. Fermentation Technology 2-d edition / P.M. Maltsev. – М.: Pischevaya promyshlennost, 1980 – 560 p.
3. Socolenko A.I. Yeast germinators apparatus and mass transfer with aeration (review) / A.I. Sokolenko, M.P. Gandzyuk, A.C. Marder – М.: CNIITEI Pisheprom, 1971 – p.22
4. Dolinsky A.A. The method of discrete - pulse energy input and its realization: Monograph / A.A. Dolinsky, A.N. Obodovich, U.A. Borhalenko. – К.: Virovets A.P. “Apostrof” 2012. – p.185

**О.М. Ободович**, д-р .техн. наук, головний науковий співр.

**С.І. Костик, В.В. Сидоренко**

Інститут технічної теплофізики НАН України

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ЗА РАХУНОК ДИСКРЕТНО - ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ КУЛЬТИВУВАННІ МІКРООРГАНІЗМІВ.**

*Розглянуто можливість застосування роторно - пульсаційного апарату, що реалізує метод дискретно - імпульсного введення енергії в якості аератора (сатуратора) в технології культивування мікроорганізмів. Висвітлена область застосування методу в даній технології, представлено опис установки, а також принцип її дії, описані основні фізичні явища, що виникають в робочій зоні апарату.*

**Ключові слова:** дискретно - імпульсний ввід енергії, роторно - пульсаційний апарат, культивування, дріжджі, аерація

Надійшла 28.11.2014

Received 28.11.2014

УДК 621.3:614.8

**Є. А. Бондаренко** канд. техн. наук, доцент

**В. М. Кутін** д-р. техн. наук, професор

Вінницький національний технічний університет

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБІТ НА СТРУМОВІДНИХ ЧАСТИНАХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК НАДВИСОКИХ КЛАСІВ НАПРУГИ**

*Метод, що пропонується, відрізняється від відомих тим, що перед початком роботи під напругою в електроустановках надвисокої напруги за запропонованими формулами розраховують допустиме значення енергії електричного поля для людини, яка буде виконувати роботи на струмовідних частинах електроустановок та поправковий коефіцієнт, значення якого установлюють на перемикачі пристрою неперервного контролю технічного стану екранувального комплексу. В процесі виконання робіт на струмовідних частинах електроустановок надвисокої напруги за допомогою пристрою неперервного контролю технічного стану екранувального комплексу одягу вимірюють енергію, яку поглинає тіло електромонтера, одягненого в екранувальний комплект одягу у комплекті з рукавичками, захисним взуттям і каскою (ЕКО), та порівнюють виміряне значення енергії з допустимим значенням. У*

© Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін, 2014