

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, глав. науч. 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 находится в пределах 1,5 – 2,0 кг/м³·ч. Если принять увеличение производительности аппаратуры с накоплением до 90 – 100 г/л, то, в среднем, потребность в кислороде возрастает до 3 – 4 кг/м³·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

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

где

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

a — удельная поверхность раздела между жидкой и газовой фазами, м²/м³;

$C_{жс}$ — концентрация кислорода в жидкости при полном её насыщении, которое может быть достигнуто при данной температуре и парциальном давлении кислорода в продуваемом воздухе, кг/м³;

C — фактическая концентрация кислорода в культуральной жидкости, кг/м³.

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.

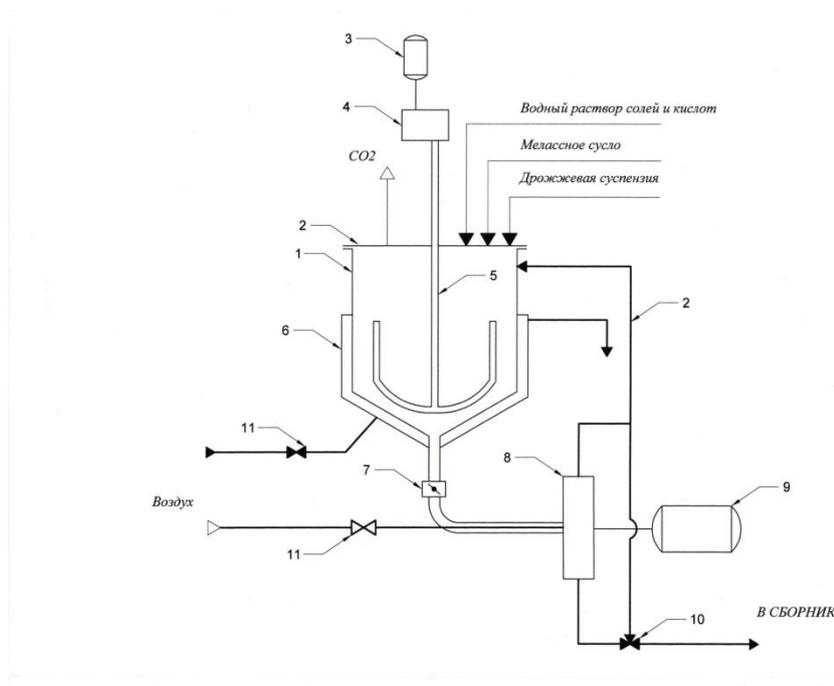


Рис. 1 Аппаратурно-технологическая схема тепломассообменной установки для культивирования микроорганизмов (на примере культивирования хлебопекарских дрожжей).

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 меласное 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 трёхходовой 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 двухходовой кран, через который поступает воздух из атмосферы, за счёт разряжения, 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⁻¹ 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⁻¹, частоты импульсов от 0,1 до 10 кГц.

Благодаря явлениям, происходящих 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.