

Кокиева Галия Ергешевна,

*д-р техн. наук, профессор кафедры «Прикладная механика»,
ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия*

ЗАВИСИМОСТЬ РОСТА МИКРОБНЫХ КЛЕТОК ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОМАССЫ

Рост микробных клеток зависит от качества питательной среды и ее проникающей способности в клетку. Избыток или недостаток питательных веществ отрицательно влияет на размножение микроорганизмов. При определенном подходе изучения математических моделей микробиологических процессов, которые описывают взаимоотношения между популяциями микроорганизмов, необходимо выделить те из них, которые учитывают пищевую конкуренцию, характерную для процесса культивирования хлебопекарных дрожжей.

Ключевые слова: конкурентное взаимодействие, точки равновесия, система, популяции микроорганизмов.

В работах [1, 2] для описания ситуации конкурентного взаимодействия между полезными и «дикими» микроорганизмами в процессе потребления общего пищевого ресурса использована математическая модель типа Вольтерра-Лотки, адаптированная для дрожжевого производства. Проведена оценка устойчивости данной модели. Найдены точки равновесия, определен их тип и характер устойчивости, также найдено условие роста полезной популяции микроорганизмов и поддержания численности «диких» в допустимых пределах при сохранении устойчивого состояния системы. Но математическая модель, приведенная в данной работе, не учитывает влияния питательных субстратов на рост биомассы [4].

Необходимо разработать математическую модель процесса культивирования микроорганизмов (на примере производства дрожжей сельскохозяйственного назначения), учитывающую конкурентное взаимодействие двух популяций микроорганизмов в ходе потребления общего

питательного ресурса и отвечающую концепции сбалансированного питания. В основном все процессы идут с подводом кислорода в культуральную жидкость.

Аэрация преследует следующие цели: непрерывное снабжение клеток кислородом, удаление образующегося диоксида углерода, быструю доставку к клеткам добавляемых питательных веществ и поддержание дрожжевых клеток во взвешенном состоянии. Подача воздуха в аппарат должна находиться в соответствии с подачей сахара и ожидаемой скоростью размножения дрожжей. Нарушение режима аэрации резко меняет ход дрожжевого процесса: при недостатке воздуха наступает перестройка дрожжевых клеток в сторону анаэробного обмена, при этом увеличивается образование спирта и других побочных продуктов. Выход биомассы резко падает. При избытке кислорода темп размножения клеток начинает уменьшаться, а выход снижается в связи с увеличением расхода сахара на образование диоксида углерода. Коэффициент использования воздуха тем выше, чем выше столб жидкости в аппарате, меньше диаметр пузырьков воздуха, выше турбулентность среды, меньше объем неаэрируемой зоны в аппарате, ниже температура среды.

Мощность воздуходувных машин относят к основным факторам, определяющим мощность дрожжевых заводов. Неправильное расходование и потери сжатого воздуха резко снижают коэффициент использования мощности предприятия. За состоянием воздухораспределительных систем должен осуществляться повседневный надзор, должны быть выделены специальные лица, обязанные проверять состояние этих систем и выполнять необходимый ремонт после каждого освобождения аппарата. Перед началом нового цикла состояние воздухораспределительных систем проверяют руководители смен или другие ответственные лица. Без такой проверки аппарат не должен включаться в работу. На мощность воздуходувных машин и конечное давление оказывает влияние изменение температуры всасываемого воздуха в связи с изменением его плотности. Поэтому в летнее время аэрация среды может оказаться недостаточной. Изменение относительной влажности входящего

воздуха сказывается на температуре культуральных сред в дрожжерастительных аппаратах: с повышением относительной влажности наружного воздуха температура в аппаратах возрастает, с понижением – падает. Это объясняется колебаниями затрат тепла на испарение воды, насыщающей воздух при прохождении его через жидкость. Чтобы избежать нарушения температурного режима в аппарате при повышении влажности наружного воздуха, особенно при высоких его температурах, необходим запас мощности охлаждающих систем дрожжерастительного аппарата.

Количество кислорода, переходящего в культуральную жидкость, можно определить по зависимости, предложенной Кутателидзе С.С.:

$$dO=K_1(O_{\text{раб}} - O_{\text{рав}})dFD\tau, \quad (1)$$

где O – количество кислорода, переходящего из воздушного потока в культуральную среду, кг;

K_1 – коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода, кг O_2 / $M^2\text{ч}$ (кг O_2 m^{-3});

$O_{\text{раб}}$ и $O_{\text{рав}}$ – рабочая и равновесная концентрация кислорода в культуральной среде, кг $O_2 m^{-3}$;

F – поверхность контакта фаз, m^2 ;

τ – время абсорбции, ч.

Однако в этой формуле не учтено физическое состояние жидкости, в частности, плотность и давление.

Согласно утверждению Лойцянского Л.Г. скорость распространения возмущения в газе только от давления смеси и ее плотности, т.е.:

$$a=\sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (2)$$

Гораздо сложнее описание явления проникновения кислорода в клетку в неоднородной гетерогенной среде, такой как питательные смеси. К тому же в

питательной смеси на всем протяжении культивирования ведется постоянный барботаж [1, 3].

Для описания процесса проникновения кислорода в клетку введем обозначения α и $(1 - \alpha)$, чтобы выделить объемные концентрации газа и жидкости.

Плотности газожидкостной смеси, газа и жидкости по отдельности обозначим через ρ , ρ_{Γ} и $\rho_{\text{ж}}$, а соответствующие им скорости – через a , a_{Γ} , $a_{\text{ж}}$.

Плотность смеси определится как сумма плотностей газа и жидкости в соответствующих единицах объема, т.е.:

$$\rho_{\Gamma} = \text{const} \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \rho_{\text{ж}} \quad (3)$$

Примем, что пузырьки газа полностью увлекаются жидкостью и что при этом давление в пузырьке P_{Γ} совпадает с давлением жидкости, а следовательно и смеси в соответствующей точке. Кроме того, будем считать, что температура в газовом пузырьке постоянна, а следовательно, давление P пропорционально плотности ρ_{Γ} , тогда:

$$\text{nst} \rho_{\Gamma} = \text{const} \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \rho_{\text{ж}} \quad (4)$$

Предполагая, что распространение малых возмущений в газожидкостной смеси происходит баротропно, возьмем от обеих частей (4) производную по P :

$$\frac{d\rho}{dP} = \alpha \frac{d\rho}{dP} + (1-\alpha) \frac{d\rho}{dP} + \frac{d\rho_{\text{ж}}}{dP} + (\rho_{\Gamma} - \rho_{\text{ж}}) \frac{d\rho}{dP} \quad (5)$$

Согласно (3) имеем:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dP} &= \frac{1}{a^2} \\ \frac{d\rho_{\Gamma}}{dP} &= \frac{1}{a^2 \Gamma} \\ \frac{d\rho_{\text{ж}}}{dP} &= \frac{1}{a^2 \text{ж}} \end{aligned} \quad (6)$$

Из уравнения (4) следует:

$$\frac{d\alpha}{dp} = -\frac{\alpha(1-\alpha)}{p} + \frac{\alpha(1-\alpha)}{p_{\text{ж}} d_{\text{ж}}^2} \quad (7)$$

Тогда будем иметь:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha}{a_{\text{г}}^2} + \frac{(1-\alpha)}{a_{\text{ж}}^2} - \frac{\alpha(1-\alpha)p_{\text{г}}}{P} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_{\text{г}}}{P_{\text{ж}}d^2} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_{\text{ж}}}{p} - \frac{\alpha(1-\alpha)}{a_{\text{ж}}^2} \quad (8)$$

В третьем слагаемом справа используем изотермичность сжатия газового пузырька и заменим P на $p_i d^2$.

Тогда неравенство (8) запишем в форме:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha}{a^2} + \frac{(1-\alpha)}{a^2} \left(1 - \frac{p_2 a^2}{p_{\text{ж}} \cdot a_{\text{ж}}^2} \right) + \frac{(1-\alpha)}{d_{\text{ж}}^2} - \frac{\alpha \cdot (1-\alpha)}{d_{\text{ж}}^2} + \frac{\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot p_{\text{ж}}}{P} \quad (9)$$

Принимая во внимание, что:

$$p_{\text{г}} \ll p_{\text{ж}}, a_{\text{г}} \ll a_{\text{ж}} \text{ и } p_{\text{г}} d_{\text{г}}^2 \ll P_{\text{ж}} d_{\text{ж}}^2, \quad (10)$$

запишем следующую зависимость:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha^2}{d^2} + \frac{(1-\alpha)^2}{d_{\text{ж}}^2} + \frac{\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot p_{\text{ж}}}{P} \quad (11)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1979. – 172 с.
2. Веденягин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1965. – 135 с.
3. Ведерников В.В. Оптимизация конструкций циклонов // ТОХТ. – 1990. – № 1.
4. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. – М.: Наука, 1979. – 448 с.