

Кокиева Галия Ергешевна,

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

ОБОСНОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ГАЗСОДЕРЖАНИЯ В ОБОРУДОВАНИИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВО-ВИТАМИННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ (БВК)

Конструктивная особенность аппарата для культивирования микроорганизмов напрямую влияет на расчёт скоростей жидкой фазы в газожидкостном потоке, скорость которой зависит от скорости газа, физических и химических свойств среды. Учитываются потери давления на гидравлическое трение в барботажных трубах и циркуляционной зоне аппарата, диссипацию энергии, турбулентную пульсацию в газожидкостном потоке, вязкость среды, газосодержание в барботажной и циркуляционной зонах и другие параметры гидравлики и гидродинамики.

Ключевые слова: газосодержание, циркуляционная зона, потери давления, скорость газа, вязкость среды, плотность.

Интенсификация и активизация производства кормового белка микробным синтезом зависит от коэффициента массоотдачи в жидкой фазе и зависит от скорости перемешивания питательной среды и условий протекания аэрирования культуральной жидкости. Концентрация кислорода в культуральную жидкость в отходящем из ферментатора воздухе составляет 18...20% [1, 2].

На данный момент немаловажное место занимают газлифтные ферментаторы. Основными характеристиками является газосодержание, скорости жидкой и газовой фаз, кратность и скорость циркуляции, мощность энергии, которая затрачивается на перемешивание на культивируемой среды тремя перемешивающими устройствами.

Основными конструктивными элементами данных аппаратов для культивирования являются системы перемешивания культуральной среды и газораспределения по всему объёму аппарата.

Газосодержание является одним из основных контролируемых гидродинамических параметров влияющих на протекающие гидродинамические и химические процессы, тепло- и массопередачу. Данные процессы в основном характеризуют газлифтные аппараты.

Аппараты, осуществляющие подвод кислорода, характеризующие объемную долю газовой фазы в системах газ–жидкость и газ–жидкость–твердое тело, оказывает немаловажное влияние на скорость культуральной жидкости, временного режима пребывания газа в ферментаторе и величину удельной поверхности фазового контакта (ПКФ). Искусственно созданный гидродинамический режим в аппарате для культивирования микроорганизмов оказывает существенное влияние на скоростной режим протекания химических, тепловых и массообменных процессов. Характер распределения газовой фазы по рабочему объему аппарата для культивирования микроорганизмов позволяет качественно проводить сравнительную оценку систем газораспределения в аппарате, позволяет проводить сравнительную оценку систем газораспределения в аппарате для культивирования микроорганизмов.

На поверхности культуральной среды в процессе культивирования микроорганизмов образуется пена, диаметр пенного пузырька d_n определяется размером отверстия в барботере и физико-химическими свойствами культуральной жидкости:

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{6d_0\epsilon}{q(p_{жс} - p_r)}} \quad (1)$$

где d – диаметр отверстия; ϵ – поверхностное натяжение; q – ускорение свободного падения; $p_{жс}$ – плотность жидкости; p_r – плотность газа.

Тогда количество пузырьков:

$$n = \frac{6V_r}{nd_n^3} \quad (2)$$

где V_r – общий объемный расход воздуха при нормальных условиях.

Исследования газосодержания в кольцевом пространстве колонны с диффузором научно обоснованное значение газосодержания в аппаратах для культивирования микроорганизмов, осуществляющих подвод кислорода [1, 2, 6, 12], имеет вид:

$$\varphi = KW_r^a \quad (3)$$

При применении для приведения скорости газа уравнение принимает вид:

- для колонны с подводом кислорода

$$\varphi = 1.13 w_r^{0,81} \quad (4)$$

- для газлифтной колонны

$$\varphi = w_r^{0,75} \quad (5)$$

При исследованиях процесса абсорбции кислорода различными жидкостями с различными вязкостями и плотностями для расчета принято уравнение:

$$\frac{\varphi}{(1 - \varphi)^4} = 0,2 \left(\frac{D^2 * \rho_{жс} * g}{\sigma} \right)^{0,62} * \left(\frac{D^3 * \rho_{жс}^2 * g}{\mu_{жс}} \right)^{\frac{1}{12}} * \frac{W_r}{(D * g)^{0,5}} \quad (6)$$

где D – диаметр аппарата.

На данный период времени проведены систематические исследования рядом ученых [3, 4, 14, 15] и сделаны рекомендации для определения φ следующей зависимостью:

$$\varphi = \frac{1}{2 + \left(\frac{0.35}{W_r} \right) \left[\left(\frac{P_{жс}}{l} \right) \left(\frac{\sigma}{782} \right) \right]^{1/3}} \quad (7)$$

При исследованиях газосодержания в рециркуляционной колонне диаметром \varnothing 0,15м и высотой $H=10,5$ м авторами [12, 14] было получено следующее уравнение:

$$\varphi = W_r (0,24 + 1,35 W_{см}^{0,93})^{-1} \quad (8)$$

Проведя анализ работ современных ученых, можно сделать вывод, что влияние приведенной скорости газа и жидкости не позволяет отдать предпочтение какому-либо одному уравнению ввиду их большого разнообразия.

По данным [5, 8] при исследованиях на моделях аппаратов, изготовленных из стеклянных труб высотой 3 метра диаметрами 0,055; 0,08 и 0,11м, получена зависимость, которая позволяет определять скорость жидкости в транспортных Эрлифтах (газлифтах):

$$W_{ж} = \sqrt{\frac{2gH}{\xi} \left(\frac{h}{H} - 1 + \varphi_{cp} \right) (1 - \varphi_{cp}) 2^2}, \quad (9)$$

где ξ – суммарное гидравлическое сопротивление эрлифта составит

$$\xi = 0,5 + \lambda \frac{H}{d} \left(\frac{1 - \varphi_0}{1 - \varphi_{cp}} \right)^{0,5} + \left(\frac{1 - \varphi_{cp}}{1 - \varphi_0} \right)^{0,2} \quad (10)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения при движении в трубе жидкости с той же приведенной скоростью; φ_0 – газосодержание в месте выхода потока из эрлифта.

При давлении до 4 МПа в среде со свойствами, близкими к свойствам системы вода–воздух, и при соотношениях барботажных и циркуляционных зон $f_{\delta} * f_{\text{ц}}^{-1} = 1$ приближенное значение приведенной скорости жидкости этими же авторами предлагается рассчитать по упрощенному уравнению:

$$W_{ж} = 3,5 \left[\frac{H * \beta}{\xi_k} * \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_r} \right)^{0,125} \right]^{0,5}, \quad (11)$$

где $\xi_k = 5,1 + 0,03 \left(\frac{H}{d_{\delta}} + \frac{H}{d_u} \right)$ – коэффициент сопротивления циркуляционного контура.

На поверхности раздела газ – жидкость воздушного пузырька образуются воздушные пленки. Они проходят через культуру, затрудняют диффузию кислорода по объему ферментатора и снижают образовавшееся сопротивление. Вопросам по исследованию процессов абсорбции кислорода в ферментаторах посвящены ряд работ [1, 2].

При рассмотрении данного случая при плохо растворимом газе (кислород) значения m_{pc} и K_r велики, и диффузионным сопротивлением в газовой фазе можно пренебречь; тогда соблюдается неравенство:

$$\frac{1}{K_L a} \gg \frac{1}{K_r m_{pc}} \quad (12)$$

Откуда следует:

$$k \approx k_{la} \quad (13)$$

На основании равенства $k \approx k_{la}$ уравнение массопередачи $\frac{dc}{dy} = K_i * a (c_p - c) - k_b * x$; левый член уравнения $\frac{d^2 M}{dV_p dt} = \kappa (C_p - C)$ называется скоростью объемного массопереноса кислорода или скоростью растворения кислорода. Для абсорбции кислорода воздуха культуральной жидкостью запишется в следующем виде:

$$\frac{d^2 M}{dV_p dt} = K_L a (C_p - C). \quad (14)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокиева Г.Е. Анализ особенностей эксплуатации аппаратов для культивирования / В сб. «Потенциал развития отрасли связи Байкальского региона». – Новосибирск, 2013.
2. Кокиева Г.Е. Анализ технологии измерения рабочих поверхностей при дефектации аппаратов для культивирования микроорганизмов / Научно-технический сборник «Вестник Поволжья». – Казань. – 2014. – №3.
3. Шарифуллин В.Н., Бояринов А.И., Гумеров А.М. Связь перемешивания и массопередачи на примере барботажно-эрлифтного аппарата / В кн. «Массообменные процессы и аппараты химической технологии». – Казань, 1980. – С. 17-18.