

УДК 681.5.015.23

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕАКТОРА МЕТОДОМ СКАНИРОВАНИЯ
В СРЕДЕ MATLAB**

Е.А. Колюкович, Б.М. Моргалик, В.И. Никулин

Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев, Республика Беларусь

При разработке математической модели кинетики роста биомассы микроводоросли хлорелла были приняты следующие допущения:

- 1) Процесс осуществляется периодическим способом, при интенсивной аэрации газовой смеси. Подвод пузырьков газовой смеси к клетке не затруднен.
- 2) Концентрация кислорода достаточна для осуществления клетками энергетического обмена.
- 3) Основными лимитирующими субстратами являются: концентрация углекислого газа в питательной среде, концентрация соединений азота, доступных для ассимиляции клетками, в питательной среде.
- 4) Процесс не зависит от температуры (осуществляется в интервале температур, оптимальных для накопления биомассы, тепло, выделяемое в процессе биосинтеза, отводится с отработанной газовой смесью).
- 5) Процесс культивирования осуществляется в интервале значений pH, оптимальных для накопления биомассы.
- 6) Процесс фотосинтеза идет с максимальной для данных концентраций CO₂ скоростью, поскольку инсоляция (длина волны, глубина проникновения света, оптические свойства среды и т.п.) производится в оптимальном режиме.
- 7) Процессы питания, фотосинтеза, размножения и др. идут одновременно.

С учетом принятых допущений, в период накопительного культивирования биомассы хлореллы происходит увеличение концентрации биомассы клеток, а также утилизация субстратов.

Математическая модель кинетики процесса накопительного культивирования биомассы микроводоросли хлорелла выглядит так:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \left(\frac{S_1}{K_{s1} + S_1} \right) \left(\frac{S_2}{K_{s2} + S_2 + S_2^2 / K_{i2}} \right) X;$$

$$\frac{dS^{(N)}}{dt} = -q_{s\max}^{(N)} \left(\frac{S_1}{K_{s1} + S_1} \right) X;$$

$$\frac{dS^{(CO_2)}}{dt} = D(S_0 - S),$$

где $D = F/V$ – скорость разбавления, $ч^{-1}$;
 F – объемный расход потока газа, $м^3/ч$;
 V – объем реакционного пространства, $м^3$.

Для принятого математического описания процесс моделирования заключается в решении системы уравнений при заданной совокупности начальных условий.

Для решения построенной математической модели будем использовать метод Рунге–Кутты 4 – 5 порядка. Здесь в качестве независимых переменных выбирают концентрацию клеток хлореллы, концентрацию азотсодержащих соединений и концентрацию углекислого газа.

Для поиска оптимальных значений концентраций азота и углекислого газа с целью выращивания максимального объема биомассы используем метод сканирования. Метод сканирования для случая двух переменных заключается в последовательном просмотре значений критерия оптимальности в ряде точек, принадлежащих области изменения непрерывных переменных, и нахождении среди них такой, в которой критерий оптимальности имеет максимальное значение. Точность метода определяется тем, насколько плотно располагаются выбранные точки.

Метод заключается в следующем. Исследуется целевая функция вдоль одного выбранного направления (вдоль одной из координатных осей) с шагом h_1 . В каждой точке вычисляется и запоминается значение целевой функции. После того как весь диапазон изменений этой переменной исследован и для него найдено максимальное значение целевой функции, изменяется значение другой переменной на величину шага h_2 и опять исследуется диапазон первой переменной, в котором снова определяется искомый экстремум, и т.д. После нахождения всех экстремумов находится искомый глобальный экстремум.

Листинг математической модели представлен на рисунке 1.2, программа оптимизации представлена на рисунке 1.3, результаты оптимизации представлены на рисунке 1.4.

```

OptimBiom  BioMass.m  +
1  function F = BioMass(t, x, flag, S0, D)
2  F = [mu(x(2), x(3))*x(1); quN(x(2))*x(1); D*(S0-x(3))];
3  end
4  function F = mu(S1, S2)
5  % константы
6  mu_max = 2.9;
7  Ks1 = 48;
8  Ks2 = 0.05;
9  Ki2 = 0.01;
10 F = mu_max*(S1./(Ks1+S1)).*(S2./(Ks2+S2+S2.^2./Ki2));
11 end
12 function F = quN(x)
13 % константы
14 qu_max = 0.001;
15 Ks1 = 1000000;
16 F = -qu_max*(x/(Ks1+x));
17 end

```

Рисунок 1.2 – Листинг программы математической модели биореактора

Список литературы

1 Дворецкий Д.С. Математическое моделирование процессов и аппаратов химических, пищевых и биотехнологических производств / Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.В. Пешкова, М.С. Темнов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 80 с.