

Секция 3. Моделирование динамических процессов в биогеоценозах

Математическое моделирование температурного гомеостаза в популяциях микроорганизмов

Арзамасцев А. А., Альбицкая Е. Н.

Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина,
ул. Интернациональная 33, Тамбов, 392000, Россия
e-mail: arz_sci@mail.ru, albitskaya_en@mail.ru

Разработана математическая модель саморегулирования температуры в биохимическом реакторе непрерывного типа. Она адекватно описывает процесс саморегулирования температуры популяцией *Candida tropicalis*. Анализ модели позволил определить условия существования явления. Возможности его использования обсуждаются в докладе.

Процесс саморегулирования температуры в популяции микроорганизмов в биореакторе, работающем в периодических условиях, ранее изучался в работах [1, 2]. В них была разработана математическая модель этого процесса, дано объяснение как самого явления так и различных его феноменов. Математическая модель адекватно описывала процесс, в котором в качестве биологического объекта выступали микроорганизмы *Candida tropicalis*, как при наличии саморегулирования температуры, так и без него.

Целью данной работы является изучение процесса саморегулирования температуры в популяции микроорганизмов *Candida tropicalis* в непрерывном режиме.

Математическая модель, представляющая собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, реализована в виде программы на языке *Borland Delphi*. Исследовали поведение объекта в условиях различных температур во входном потоке, внешних температур, концентраций субстрата во входном потоке и удельных разбавлений.

Выявлены условия существования явления. При значениях температуры во входном потоке T_{in} от 0 до 50 °C, значениях внешней температуры T_{ext} от 10 до 50 °C и значениях субстрата во входном потоке S_{in} от 20 до 50 г/л объект имеет способность к саморегулированию температуры, а при остальных значениях данных параметров явление не существует.

На рис. 1 а) показана обобщенная зависимость температуры внутри реактора от внешней температуры, полученная на основе 14 вычислительных

экспериментов. В качестве температуры внутри реактора брали ее значение в установившемся режиме, который в вычислительных экспериментах наблюдался при $t > 180$ ч. Прямая линия 1 соответствует полностью инертному объекту, линия 2 — объекту, способному самопроизвольно поддерживать температуру на уровне 39,5-40 °C. Анализ этого рисунка позволяет сделать вывод о том, что биологический объект сохраняет способность к саморегулированию при внешних температурах от 6 до 55 °C в то время как диапазон активного роста таких микроорганизмов составляет 24-42 °C – рис. 1 b). Отметим, что супраоптимальная температура примерно на 5,5 °C превышает температуру, необходимую для максимальной скорости роста таких микроорганизмов.

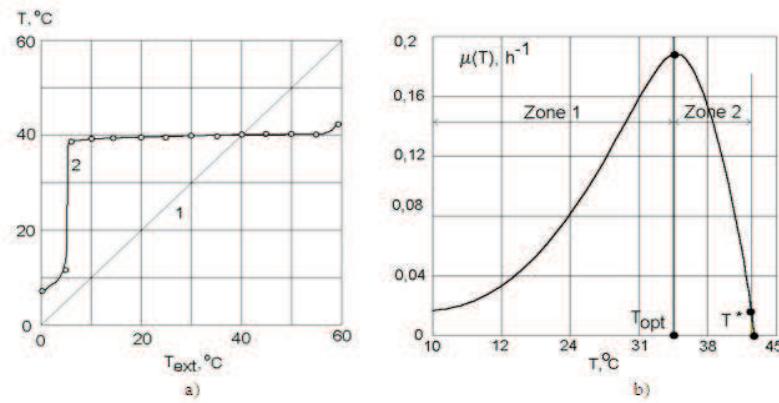


Рис. 1. а) Зависимость температуры внутри биореактора от внешней температуры. $T_{in} = 20^0\text{C}$, $D = 0,07 \text{ л/ч}$, $S_{in} = 50 \text{ г/л}$. б) Зависимость максимальной удельной скорости роста микроорганизмов от температуры (уравнение (9) при $a_1 = 4,432 \cdot 10^{15} \text{ 1/ч}$, $a_2 = 2,712 \cdot 10^{31} \text{ 1/ч}$, $E_1 = 95000 \text{ кДж/кмоль}$, $E_2 = 190000 \text{ кДж/кмоль}$). T^* – супраоптимальная температура.

На рис. 2 показана зависимость температуры в биореакторе от времени при различных значениях удельных разбавлений. Видно, что с увеличением удельного разбавления значение супраоптимальной температуры может снижаться, что не наблюдалось при исследовании саморегулирования в периодическом режиме.

Данный вывод является очень важным, поскольку супраоптимальная температура, наблюдаемая для биологического объекта в периодическом режиме, существенно отличается от температуры, соответствующей максимальной скорости роста микроорганизмов [1, 2] (см. также рис. 1 b). Это отличие составляет в среднем 8,8 °C для прокариот и 12,5 °C для эукариот [3]. Данное обстоятельство не позволяет непосредственно использовать способность биологических объектов к саморегулированию для управления технологически-

ми процессами. Однако, учитывая, что, например, при $D = 0,13 \text{ л/ч}$ (кривая 7 (рис. 2)), супраоптимальная температура становится равной $37,5^{\circ}\text{C}$, можно сказать, что этот режим обеспечивает одновременно и максимальную скорость роста микроорганизмов (см. рис. 1 б). Указанное обстоятельство в принципе позволяет непосредственно использовать саморегулирование температуры для ее поддержания в технологических процессах.

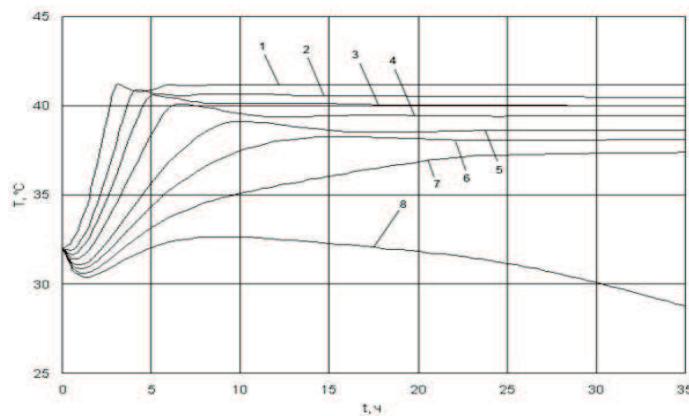


Рис. 2. Зависимость температуры в биореакторе от времени при различных значениях удельного разбавления. $T_{ext} = 33^{\circ}\text{C}$, $T_{in} = 20^{\circ}\text{C}$, $S_{in} = 50 \text{ г/л}$. Номера линий соответствуют различным значениям D : 1 – 0,01, 2 – 0,05, 3 – 0,07, 4 – 0,09, 5 – 0,11, 6 – 0,12, 7 – 0,13, 8 – 0,14 л/ч.

Таким образом, в данной работе осуществлено исследование саморегулирования (аутостабилизации) температуры микроорганизмами в биореакторе непрерывного типа: проведен анализ явления при различных значениях параметров: внешней температуре, температуре жидкой фазы во входном потоке, концентрации субстрата и т. д. в ходе которого определены границы существования этого явления; обнаружено, что в периодическом режиме работы биореактора, температуры, наблюдаемые в процессе саморегулирования вполне могут соответствовать температурам, доставляющим максимальную удельную скорость роста используемых микроорганизмов; это обстоятельство позволяет надеяться на возможность практического использования явления саморегулирования; поскольку непрерывный биохимический реактор может представлять собой (по крайней мере в плане температурного режима) упрощенную модель живой клетки [4], полученные выводы с определенной долей вероятности можно экстраполировать и на режимы температурного гомеостаза отдельной живой клетки (например, клетки ткани).

Литература

1. Arzamastsev A. A., Kristapson M. G. *Computer simulation of temperature auto-stabilization: an analysis of phenomenon*, Appl. Microbiol. Biotechnol. **40** (1993), 77–81.
2. Арзамасцев А. А. *Компьютерное моделирование саморегулирования температуры в популяциях микроорганизмов. Сообщение 1: периодический режим*, Вестник ТГУ **1**, вып. **1** (1996), 71–77.
3. Arzamastsev A. A. *The possibility of polyculture and polysubstrate bioprocess control using self-regulation properties of microorganisms*, In: «ACHEMA-94, International Meeting on Chemical Engineering and Biotechnology, Biotechnology and the DECHEMA-Section Biotechnology 12th Annual Meeting of Biotechnologists», Frankfurt am Main, Germany, 5–11 June 1994, 46–47.
4. Arzamastsev A. A. *The concept of microbioreactor is a good model for biological tissue phenomena simulation*, In: 7th European Congress on Biotechnology, Abstract Book, Part 3, Wednesday / February 22, Nice, France, 62.