

*МЕТОД АППРОКСИМИРУЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ЗАДАЧАХ
УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОСИСТЕМ*

Д.Л. ПИОТРОВСКИЙ¹, ЭКПЕНЬОНГ ЭКПЕНЬОНГ ЭКПО²

¹*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Краснодар, ул.Московская, 2,*

электронная почта: piotrovsky2005@yandex.ru

²*Университет штата Кросс Ривер,
г. Калабар, Нигерия*

электронная почта: engrekpenyong@yahoo.com

В статье рассмотрен подход в современной кинетике и математическом моделировании биологических процессов при действии факторов, лимитирующих рост популяции, основанный на математическом аппарате дифференциальных уравнений. В качестве альтернативного подхода к математическому моделированию состояния биотехнологической системы рассмотрена оценка вероятности лимитирования роста и размножения популяции микроорганизмов компонентами субстрата, позволяющая перейти от аналитической модели к адекватной имитационной модели. Показано, что использование в алгоритме управления аппроксимирующих непрерывных функций различных типов дает возможность значительно расширить область проектирования робастных динамических систем

Ключевые слова: биотехнологические системы; биореактор; логистические уравнения; робастные системы

Одним из альтернативных методов построения систем регулирования и управления объектами, нечетко определенными с точки зрения классической теории (для которых не получена аналитическая модель либо использованы методы упрощения и линеаризации нелинейностей), является использование метода аппроксимирующего управления. Общепринятых подходов к синтезу систем управления на основе этого метода в литературе нет.

По вопросу аппроксимации характеристик нелинейных элементов А. А. Фельдбаум делает следующий основной вывод – «универсальной аппроксимации не существует» и вместе с тем к определяющим критериям удачной аппроксимации относят пригодность во всей исследуемой области изменения переменных; возможность простого исследования уравнения движения системы; относительно простой и пригодный для исследования вид решения [1].

Достаточно часто качество аппроксимации оценивается по точности воспроизведения реальной от аппроксимируемой характеристики, что является достоинством. Однако при выборе способа аппроксимации для алгоритма управления соображения точности воспроизведения реальной нелинейной характеристики не являются определяющими. Часто требуется правильное воспроизведение основных физических закономерностей, типично нелинейных свойств элементов. Нелинейные явления сами по себе в достаточной степени сложны и усложнение аппроксимирующих выражений может создать значительные затруднения при исследовании. Поэтому основным критерием достоинства аппроксимации при решении той или иной задачи является достижение достаточно простого по форме и доступного простой реализации результата.

Взросшие требования к качеству управления техническими, биотехническими и биотехнологическими объектами ограничивают применение широко распространенных на практике типовых релейных регуляторов. Причина этого заключается в том, что регулируемая переменная может иметь недопустимые по амплитуде автоколебания, поскольку управляющее воздействие при малых сигналах рассогласования в режимах, близких к установившимся, никак не ограничивается [2].

В реальных биосистемах релейные воздействия приводят к возникновению переходных процессов, нежелательных в установившихся режимах роста микроорганизмов. Скачкообразные изменения параметров окружающей среды могут также приводить к временным нарушениям характера изменения компонент матрицы внутриклеточных управлений в силу инерционности регуляторных систем клетки.

Нелинейные элементы образуют в математическом описании системы «разрывы», из-за которых систему нельзя представить в целом виде единым уравнением, что значительно усложняет моделирование, причем не только биотехнологических, но и технических систем. Кроме того, релейные (а также скачкообразные, ступенчатые) воздействия в каналах управления

обуславливают динамические нагрузки на элементы системы. При использовании релейного управления на потоки подаваемого субстрата и удаляемой из аппарата биомассы могут возникать нежелательные колебания. Чтобы избежать этого, функция переключения по возможности должна содержать как можно меньше разрывов, а в лучшем случае, вообще должна быть гладкой [3]. Добиться гладкой формы функции переключения классическими методами довольно сложно. В тех случаях, когда реальная нелинейная характеристика имеет разрывы применяется аппроксимация в виде интегральных или предельных соотношений, что представляется более сложным по сравнению с кусочно-линейной аппроксимацией. В то же время наиболее простой по сравнению с кусочно-линейной аппроксимацией является аппроксимация сигмоидными функциями, которые обладают наибольшей степенью универсальности, а также аппроксимация комбинацией этих функций.

В алгоритмах управления и в математическом описании процесса при переменном характере лимитирования различными компонентами можно использовать гладкие непрерывные функции, аппроксимирующие релейные (ступенчатые) [4]. Такими свойствами обладают сигмоидные функции, которые часто применяются при создании нейронных сетей:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{a-bs}}, \quad (1)$$

где s – концентрация лимитирующего компонента;

a – коэффициент смещения;

b – коэффициент наклона.

Информационные технологии для биосистем базируются на использовании кинетических моделей описания микробиологического синтеза [5]. Принципиальной особенностью кинетики микробных популяций является зависимость скорости роста культуры от концентрации одного или нескольких наиболее важных компонентов среды, обеспечивающих биосинтетическую основу метаболизма. Эти компоненты, получившие название лимитирующих

субстратов, в определенной степени регулируют скорость роста популяции. Основной подход в современной кинетике и математическом моделировании биологических процессов при действии факторов, лимитирующих рост популяции, основан на математическом аппарате дифференциальных уравнений.

Другим примером математического моделирования состояния биотехнологической системы является оценка вероятности лимитирования роста и размножения популяции микроорганизмов компонентами субстрата, позволяющая перейти от аналитической модели к адекватной имитационной модели [4].

Невозможность чёткого разделения явлений и, как следствие, их математического описания приводит к необходимости проводить вероятностную оценку механизма влияния различных факторов на процесс и использовать при этом относительно простые математические модели кинетики. Использование элементов теории нечетких множеств, позволяет найти значения вероятности осуществления нелимитированного роста микроорганизмов для различных концентраций компонентов субстрата и их сочетаний, например концентрации глюкозы S и амминного азота N .

Основываясь на методах теории информации можно считать, что ситуации, характеризующиеся наибольшей неопределенностью, описывается вероятностью (P) реализации той физической модели, в соответствии с которой процессы роста микроорганизмов в наибольшей степени зависят от концентраций компонентов субстрата (S , N и др.), а при определенных сочетаниях этих концентраций происходит лимитирование процесса и требуется введение новых внешних управлений.

Возможности синтеза систем управления в условиях неполноты информации о протекающих явлениях с одной стороны и специфические особенности процессов культивирования микроорганизмов в условиях лимитирования с другой стороны, обуславливают актуальность создания алгоритмов и систем управления биосистемой, реализующих оптимальные

условия биосинтеза в условиях неопределенности. Область заданных оптимальных условий, реализуемых значениями параметров режима культивирования, определяет выбор структуры системы и влияет на алгоритм функционирования.

Использование n -мерной линейной комбинации функций с двумя и более логистическими (сигмоидными) уравнениями даёт возможность аппроксимировать более сложные нелинейные зависимости, чем двух- и трех позиционные. Плавность изменения характеристики снижает динамические нагрузки на элементы систем и упрощает процедуры их анализа и синтеза. Такая аппроксимация практически означает реализацию в ходе переходного процесса нелинейной коррекции, изменяющей коэффициент передачи в ходе переходного процесса в зависимости от сигнала рассогласования. Использование в алгоритме управления аппроксимирующих непрерывных функций различных типов дает возможность значительно расширить область проектирования робастных динамических систем. При использовании такой функции в алгоритме управления, например подачей субстрата в биореактор и отбором части среды из биореактора, можно добиться плавного изменения регулирующих воздействий, что снижает динамические нагрузки на исполнительные устройства системы с одной стороны, и демпфирует реакцию биосистемы, с другой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асмаев М.П. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учеб. пособие /М.П.Асмаев, Д.Л.Пиотровский. - Краснодар. - Издательство КубГТУ, 2009. - 275 с.
2. Пиотровский Д.Л. Автоматизация производства органических удобрений/ Д.Л.Пиотровский, Т.Г. Шарапкина //Автоматизация. Современные технологии. - 2004. - № 7. - С. 9-13
3. Пиотровский Д.Л. Технологии, установки и системы управления для производства органических удобрений/ Д.Л. Пиотровский, М.П.Асмаев,

А.Л.Московец// Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2004. - № 5-6. - С. 97-100.

4. Пиотровский Д.Л. Теоретические основы построения автоматических систем управления процессами производства органических компостов: диссертация ... доктора технических наук: 05.13.06 . - Краснодар, 2007

5. Московец А.Л. Постановка задачи и анализ оптимального управления процессом компостирования/ А.Л.Московец, С.В.Усатиков, Д.Л.Пиотровский // депонированная рукопись № 1926-В2004. - 06.12.2004

REFERENCES

1. Asmaev M.P. Avtomatizirovannye informacionno-upravljajushhie sistemy: ucheb. posobie /M.P.Aasmaev, D.L.Piotrovskij. - Krasnodar. - Izdatel'stvo KubGTU, 2009. - 275 s.

2. Piotrovskij D.L. Avtomatizacija proizvodstva organicheskikh udobrenij/ D.L.Piotrovskij, T.G.Sharapkina //Avtomatizacija. Sovremennye tehnologii. - 2004. - № 7. - S. 9-13

3. Piotrovskij D.L. Tehnologii, ustanovki i sistemy upravlenija dlja proizvodstva organicheskikh udobrenij/ D.L. Piotrovskij, M.P.Aasmaev, A.L.Moskovec// Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnolo-gija. - 2004. - № 5-6. - S. 97-100.

4. Piotrovskij D.L. Teoreticheskie osnovy postroenija avtomaticheskikh si-stem upravlenija processami proizvodstva organicheskikh kompostov: dissertacija ... doktora tehniceskikh nauk: 05.13.06 . - Krasnodar, 2007

5. Moskovec A.L. Postanovka zadachi i analiz optimal'nogo upravlenija processom kompostirovanija/ A.L.Moskovec, S.V.Usatikov, D.L.Piotrovskij //deponirovannaja rukopis' № 1926-В2004. - 06.12.2004

METHOD OF APPROXIMATING TRANSFORMATIONS IN PROBLEMS OF CONTROL AND MODELING OF BIOLOGICAL SYSTEMS

D.L. PIOTROVSKI¹, EKPENYONG EKPENYONG EKPO²

¹ *Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,*

e-mail: piotrovsky2005@yandex.ru

² *State University Cross river*

Calabar, Nigeria

e-mail: engrekpenyong@yahoo.com

In article the approach in the modern kinetics and mathematical modeling of biological processes under the action of the factors limiting the population growth based on the mathematical apparatus of differential equations. As an alternative approach to mathematical modeling of biotechnological systems considered assessment of the probability of limiting the growth and reproduction of microbial population components of the substrate, allowing to switch from analytical models to adequate simulation model. It is shown that the use in the control algorithm of approximating continuous functions of different types makes it possible to significantly expand the scope of design of robust dynamic systems

Key words: Biotechnological systems; bioreactor; logistic equation; robust system.