

*К.А. Рыбаков, А.В. Семенец, И.Л. Сотскова*

## **СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ УСЛОВИИ ПОГЛОЩЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ НА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГЛАДКОЙ ГРАНИЦЕ**

Разработка математических методов исследования нелинейных нестационарных стохастических систем является сложной проблемой теории управления. Особенности задач, возникающих при анализе стохастических систем на основе решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК), для которого характерна общность и полнота статистического поведения, приводит к необходимости создания новых методов и алгоритмов.

В работе [1] был предложен метод анализа многомерных нелинейных стохастических систем управления, в основу которого легла спектральная форма математического описания систем [2]. Формализм спектрального метода позволяет перейти от линейных дифференциальных уравнений (как обыкновенных, так и в частных производных) и интегральных соотношений к линейным алгебраическим тензорным уравнениям и получить решение в явном виде. Однако представленный в [1] метод содержит ограничения, налагаемые на область изменения фазовых координат, а именно, эта область порождается декартовым произведением ограниченных, полубесконечных или бесконечных интервалов, т.е.

$$\Omega = \Omega_1 \times \dots \times \Omega_n \subseteq R^n; \Omega_k = (a_k, b_k), k = 1, \dots, n,$$

где  $-\infty \leq a_k < b_k \leq +\infty$ .

Для преодоления этого ограничения разработаны два метода решения уравнения ФПК в случае области изменения фазовых координат с произвольной гладкой границей. Первый метод основан на замене переменных в уравнении ФПК, при помощи которой удастся свести задачу в исходной постановке к задаче с прямоугольной границей, и последующем выводе уравнения обобщенной характеристической функции (ОХФ) как спектрального аналога уравнения ФПК [1]. Второй подход основан на использовании обобщенного уравнения ФПК, позволяющего учесть форму границы посредством добавления в классическом уравнении ФПК дополнительного слагаемого – функции поглощения [3]. Обобщенное уравнение решается при нулевых крае-

вых условиях, а областью изменения фазовых переменных является все пространство  $R^n$ . Для обобщенного уравнения ФПК также построен аналог в спектральной области.

Решены модельные примеры в специализированной расчетной системе Spectrum [4] для различных типов краевых задач – поглощения и отражения реализаций случайного процесса (вектора состояния динамической стохастической системы). Анализ полученных результатов показал работоспособность и эффективность предлагаемых подходов к решению задачи анализа многомерных нелинейных стохастических систем в случае, когда поглощение или отражение происходит на границе области, задаваемой произвольной гладкой функцией.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сотскова И.Л.* Применение аппарата обобщенной характеристической функции к анализу стохастических систем управления ЛА. // Задачи стохастического управления: Тем. сб. науч. тр. М.: МАИ, 1986. С. 71-78.
2. *Солодовников В.В., Семенов В.В.* Спектральная теория нестационарных систем управления. М.: Наука, 1974. 336 с.
3. *Казаков И.Е., Артемьев В.М., Бухалев В.А.* Анализ систем случайной структуры. М.: Наука, 1993. 272 с.
4. *Рыбаков К.А.* Программное обеспечение спектральных преобразований Spectrum. // Электронный журнал: Труды МАИ. 2003, № 14. <http://www.mai.ru>.

УДК 517.958:532.546

*А.Р.Самборук, Б.С.Сеплярский, Т.П.Ивлева, А.Г.Макаренко, А.П.Амосов*

#### РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ГАЗОГЕНЕРАТОРЕ С ВЫСОКОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ЗАРЯДА

В большинстве случаев основу газогенераторов и газогенерирующих элементов составляет пористая пиротехническая смесь, горение которой происходит с фильтрацией газов.

Для практики представляет интерес режим, в котором входящий поток инертного газа на горячем конце образца отсутствует, и газ образуется в зоне реакции при химическом взаимодействии исходного пористого вещества и фильтруется сквозь него к “холодному” концу образца (спутный режим горения) [1].