

## ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертацию Рыбакова Константина Александровича «Спектральный метод анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Рыбаков К.А. окончил факультет «Прикладная математика и физика» Московского государственного авиационного института (технического университета) в 2002 г. В 2006 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Спектральный метод анализа и синтеза систем со случайной структурой» по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» под руководством к.ф.-м.н., доцента Сотсковой И.Л.

После защиты кандидатской диссертации Рыбаков К.А. продолжил работу на кафедре 805 «Математическая кибернетика» факультета «Прикладная математика и физика» Московского авиационного института (государственного технического университета) в должности ассистента, а затем в должности доцента. В это время им был получен ряд новых научных результатов в области решения задач анализа и синтеза непрерывных стохастических систем, а также в области задач оценивания состояний непрерывных стохастических систем. Подготовленная диссертация «Спектральный метод анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем» является результатом многолетней научной деятельности Рыбакова К.А.

В диссертации Рыбакова К.А. получены новые результаты, которые относятся к спектральной форме математического описания для представления и преобразования случайных процессов. Обобщен спектральный метод для решения задач анализа и статистического моделирования линейных непрерывных стохастических систем, а также для оценивания их состояний. Эти результаты послужили основой для получения спектральных представлений повторных стохастических интегралов по винеровским процессам и разработке численно-спектральных методов анализа выходных процессов и статистического моделирования нелинейных непрерывных стохастических систем. Получены новые теоретические результаты, связанные с представлением кратных стохастических интегралов по винеровским процессам. Для практического применения

предлагаемых методов разработано соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью решения задач анализа выходных процессов непрерывных стохастических систем в ходе различных исследований, она также обусловлена важностью моделирования их траекторий. Однако для решения этой задачи в основном применяются численные методы, обеспечивающие невысокую точность аппроксимации траекторий, что связано в первую очередь со сложностью моделирования таких случайных величин, как повторные стохастические интегралы. Применение приближенно-аналитических методов, основанных на разложении решений в ряды, осложнено отсутствием единого подхода к формированию соответствующих алгоритмов. Данное обстоятельство затрудняет практическое применение как численных, так и приближенно-аналитических методов анализа выходных процессов непрерывных стохастических систем.

Практическая значимость полученных результатов состоит в разработанном алгоритмическом и программном обеспечении решения задач анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем, которое может применяться для решения задач в разных областях науки при использовании стохастических дифференциальных уравнений для описания математических моделей.

Диссертация состоит из введения, шести глав, приложения, заключения и списка литературы. Во введении обосновывается актуальность темы, приводится обзор известных результатов в области диссертационного исследования, а также описывается содержание работы по главам и разделам.

В первой главе спектральная форма математического описания используется для представления функций, линейных операторов и линейных функционалов. Помимо известных результатов, необходимых для дальнейшего изложения, в этой главе доказаны теоремы о представлении некоторых спектральных характеристик, о следе спектральной характеристики линейного оператора специального вида, рассмотрена задача построения спектрального аналога множества ограниченных функций.

Во второй главе получены новые результаты, связанные с обобщением спектральной формы математического описания для представления случайных процессов, случайных линейных операторов и случайных линейных функционалов. Получены спектральные представления стохастических интегралов Ито и Стратоновича по винеровскому или пуассоновскому процессам.

В третьей главе разработан метод решения задачи анализа выходных процессов линейных непрерывных стохастических систем, основанный на спектральной форме математического описания. На его базе предложен метод оценивания состояний линейных непрерывных стохастических систем. Получены спектральные представления ряда типовых случайных процессов. Проведена апробация разработанных спектральных методов.

В четвертой главе спектральная форма математического описания расширяется для представления функций многих переменных и линейных функционалов, аргументами которых являются функции многих переменных. Основное внимание уделено ядрам кратных стохастических интегралов Ито и Стратоновича, которые необходимы для моделирования траекторий непрерывных стохастических систем с высокой точностью, и соответствующих им линейных функционалов. В этой главе сформированы эффективные алгоритмы точного и приближенного вычисления коэффициентов разложения таких ядер относительно пяти базисных систем. Доказаны теоремы о спектральном представлении рассматриваемых линейных функционалов, о следах спектральных характеристик ядер кратных стохастических интегралов. Проведен сравнительный анализ точности аппроксимации ядер типовых кратных стохастических интегралов при использовании пяти базисных систем.

В пятой главе доказаны теоремы о представлении кратных стохастических интегралов Ито и Стратоновича по винеровским процессам. Получены ортогональные разложения кратных стохастических интегралов Ито и Стратоновича. Получены формулы для вычисления погрешности аппроксимации рассматриваемых кратных стохастических интегралов. Проведен сравнительный анализ точности аппроксимации типовых кратных стохастических интегралов при использовании пяти базисных систем.

В шестой главе получены спектральные представления повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича по винеровским процессам, которые необходимы для моделирования траекторий непрерывных стохастических систем с высокой точностью, сформированы алгоритмы их моделирования. Проведена апробация этих алгоритмов, а также апробация численно-спектральных методов, которые обеспечивают высокую точность аппроксимации траекторий и построены на основе сформированных алгоритмов моделирования повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича.

В приложении подробно описано разработанное программное обеспечение решения задач анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем.

Все результаты диссертации получены автором самостоятельно. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах и доклады вались на различных международных и всероссийских научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 62 научные работы, среди которых 14 статей в журналах, индексируемых в Web of Science или Scopus, 6 статей в трудах конференций, индексируемых в Web of Science или Scopus, 8 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий ВАК, 1 монография, 2 коллективные монографии. Получено 3 государственных свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 28 публикаций в других научных изданиях и материалах конференций.

Диссертация Рыбакова К.А. на соискание ученой степени доктора физико-математических наук обладает внутренним единством и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, которые можно квалифицировать как крупное научное достижение.

Полученные новые результаты имеют важную научную и практическую значимость в области решения задач анализа и статистического моделирования линейных и нелинейных непрерывных стохастических систем. Работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.


Считаю, что Рыбаков Константин Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Научный консультант:

д.ф.-м.н., профессор,

заведующий кафедрой 805

«Математическая кибернетика» МАИ



10.06.2024

А.В. Пантелеев

Подпись Пантелеева А.В. удостоверяю.

Директор дирекции института «Компьютерные  
науки и прикладная математика» МАИ



С.С. Крылов