

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.061.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
ГЕОФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22.06.2022 № 6

О **присуждении** Авериной Татьяне Александровне, гражданке Российской Федерации, **ученой степени доктора** физико-математических наук.

Диссертация «Алгоритмы статистического моделирования решений стохастических дифференциальных уравнений и систем со случайной структурой» по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика **принята к защите** 09.03.2022 (протокол заседания № 2) **диссертационным советом** Д 003.061.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, созданного приказом Минобрнауки России № 75нк-38 от 15.02.2013 г.

Соискатель Аверина Татьяна Александровна, "12" сентября 1959 года рождения, в 1981 году окончила Новосибирский государственный университет. **Диссертацию** на соискание ученой степени **кандидата** физико-математических наук «Построение и использование численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений» по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика **защитила** в 1992 году в диссертационном совете, созданном на базе Вычислительного Центра Сибирского отделения Российской академии наук. Соискатель **работает** старшим научным сотрудником в лаборатории численного анализа стохастических дифференциальных уравнений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация **выполнена** в лаборатории численного анализа стохастических дифференциальных уравнений Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук Михайлов Геннадий Алексеевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория методов Монте-Карло, советник РАН.

Официальные оппоненты

1. Григорьев Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор по кафедре математического моделирования, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», главный научный сотрудник отдела вычислительных технологий, лаб. 2.1.1 анализа и оптимизации нелинейных систем,

2. Кузнецов Дмитрий Феликсович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого», профессор кафедры высшей математики,

3. Учайкин Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет», заведующий кафедрой теоретической физики

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, **в своем положительном отзыве**, подписанном Лемешко Борисом Юрьевичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры теоретической и прикладной информатики, **указала**, что диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей большую практическую значимость, выполнена на высоком научном уровне, соответствует пункту 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика.

Соискатель **имеет более 160 опубликованных работ**, в том числе по теме диссертации опубликовано более 50 работ. Основные результаты диссертации опубликованы в 22 статьях в научных журналах, включенных в перечень ВАК. Опубликованные работы в полном объеме отражают

содержание диссертации. В диссертации **отсутствуют недостоверные сведения** об опубликованных соискателем ученой степени работах. Все выносимые на защиту результаты получены автором **лично**. Со стороны соавторов работ диссертанта отсутствуют возражения касательно результатов, выносимых на защиту.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Аверина Т.А.** Об одном методе моделирования неоднородного пуассоновского точечного процесса // Сибирский журнал вычислительной математики. 2022. Т. 25. № 1. С. 1-15.

Построена модификация алгоритма статистического моделирования неоднородного пуассоновского точечного процесса, использующая экономичный способ моделирования случайных величин. Проведенные численные расчеты показали эффективность предложенного алгоритма. Объем публикации: 16 страниц.

2. **Аверина Т.А.** Использование модификаций метода максимального сечения для моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами // Сибирский журнал вычислительной математики. 2016. Т. 19. № 3. С. 235-247.

В данной работе рассматриваются системы со случайной структурой с распределенными переходами. Для моделирования процесса номера структуры использован рандомизированный метод максимального сечения. Также построена его модифицированная версия с использованием моделирования по одному случайному числу. Объем публикации: 13 страниц.

3. **Аверина Т.А.** Построение и обоснование статистических алгоритмов моделирования решений систем со случайной структурой, заданной стохастическими дифференциальными уравнениями // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2015. Т. 20. № 5. С. 986-991.

В данной работе построены алгоритмы статистического моделирования решения систем со случайной структурой с независимыми распределенными переходами. Исследована слабая сходимость численных методов, построенных на основе разработанных алгоритмов. Объем публикации: 6 страниц.

4. **Аверина Т.А.** Модифицированный алгоритм статистического моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами // Сибирский журнал вычислительной математики. 2013. Т. 16. № 2. С. 97-105.

Построен алгоритм статистического моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами. Предложенный алгоритм основан на численных методах решения стохастических дифференциальных

уравнений и использует модифицированный метод максимального сечения, когда интенсивность перехода зависит от вектора состояния. Объем публикации: 9 страниц.

5. **Аверина Т.А.** Устойчивые численные методы решения стохастических дифференциальных уравнений в смысле Стратоновича // Вестник Бурятского государственного университета. 2012. № 9. С. 91-94.

В статье построены новые устойчивые численные методы решения стохастических дифференциальных уравнений в смысле Стратоновича. Объем публикации: 4 страниц.

6. **Аверина Т.А.** Алгоритмы анализа систем управления ансамблем траекторий с учетом случайного изменения структуры и скачков // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 3 (20). С. 22-31.

Рассматривается задача анализа нелинейных систем управления ансамблем траекторий с учетом случайного изменения структуры системы и скачков (случайных импульсных воздействий). Для решения рассматриваемой задачи предлагается алгоритм статистического моделирования. Объем публикации: 10 страниц.

7. **Аверина Т.А.** Новые алгоритмы статистического моделирования неоднородных пуассоновских ансамблей // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2010. Т. 50. № 1. С. 16-23.

Предлагаются новые алгоритмы статистического моделирования неоднородных пуассоновских ансамблей. В этих алгоритмах используется специальный способ моделирования дискретных случайных величин. Построена соответствующая модификация известного метода "максимального сечения". Объем публикации: 8 страниц.

8. **Аверина Т.А.** Методы статистического моделирования неоднородного пуассоновского ансамбля // Сибирский журнал вычислительной математики. 2009. Т. 12. № 4. С. 361-374.

В данной работе предлагаются методы Монте-Карло для моделирования однородных и неоднородных пуассоновских ансамблей. Построено и обосновано обобщение "метода максимального сечения" для моделирования неоднородных пуассоновских ансамблей точек. Объем публикации: 14 страниц.

9. **Аверина Т.А., Михайлов Г.А.** Алгоритмы точного и приближенного статистического моделирования пуассоновских ансамблей // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2010. Т. 50. № 6. С. 1005-1016.

Личный вклад Авериной Т.А. заключается в построении эффективных алгоритмов моделирования пуассоновских ансамблей со сложной интенсивностью, использующих специальные экономичные способы моделирования дискретных случайных величин, а также в исследовании трудоемкости построенных алгоритмов.

Объем публикации: 12 страниц.

10. Михайлов Г.А., **Аверина Т.А.** Алгоритм "максимального сечения" в методе Монте-Карло // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428. № 2. С. 163-165.

Личный вклад Авериной Т.А. заключается в применении специального экономичного способа моделирования последовательности дискретных случайных величин для построения экономичной модификации метода максимального сечения. Объем публикации: 3 страницы.

11. **Аверина Т.А.**, Рыбаков К.А. Модификация численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений с первым интегралом // Сибирский журнал вычислительной математики. 2019. Т. 22. № 3. С. 243-259.

Личный вклад Авериной Т.А. заключается в разработке модификации численных методов решения СДУ с первым интегралом и исследовании условий сохранения порядка потраекторной аппроксимации. Для численных расчетов были применены алгоритмы статистического моделирования, разработанные Авериной Т.А. Объем публикации: 17 страниц.

12. **Averina, T.A.**, Rybakov, K.A. Maximum cross section method in the filtering problem for continuous systems with Markovian switching (2021) Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, 36 (3), pp. 127-137.

Личный вклад Авериной Т.А. заключается в применении модифицированного метода максимального сечения для моделирования процесса переключения в задаче оптимальной фильтрации для систем со случайной структурой. Для численных расчетов также был применен асимптотически несмещенный метод решения СДУ, разработанный Авериной Т.А. Объем публикации: 11 страниц.

Монография

1. **Аверина Т.А.** Статистическое моделирование решений стохастических дифференциальных уравнений и систем со случайной структурой. Новосибирск. Изд-во СО РАН. 2019. 349 с.

Соискателю выдано два авторских свидетельства:

1. Аверина Т.А. Программа ROS для решения автономной системы стохастических дифференциальных уравнений обобщенным двух стадийным методом Розенброка // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №. 2014615048, 2014. Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент).

2. Аверина Т.А. Программа вычисления вероятностных характеристик решения систем со случайной структурой с распределенными переходами методом Монте-Карло // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №. 2015611380, 2015. Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент).

На автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечается актуальность темы диссертации, научная новизна и

значимость полученных результатов. Отмечено, что диссертационная работа соответствует специальности 01.01.07 – Вычислительная математика.

1. Отзыв Медведева Сергея Борисовича, доктора физико-математических наук, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» **замечаний не содержит.**

2. Отзыв Назаралиева Магомед-Шафи Ахмедовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры прикладной математики Дагестанского государственного университета **замечаний не содержит.**

3. Отзыв Бухалёва Вадима Алексеевича, доктора технических наук, профессора, ЗАО "МНИТИ" (Московский научно-исследовательский телевизионный институт) содержит **два замечания: 1)** Из текста автореферата не ясно, что автор понимает под сложной для моделирования плотностью. Также не ясно условие (2.6), поскольку любую функцию интенсивности можно представить в виде суммы любого числа слагаемых (других интенсивностей); **2).** На стр. 27 автореферата упоминаются эрланговые законы распределения интервалов перехода. Здесь было бы целесообразно пояснить, как эти законы связаны с задачей анализа для систем со случайной скачкообразной структурой, в которой постулировались пуассоновские законы.

4. Отзыв Пантелеева Андрея Владимировича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Математическая кибернетика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) содержит **три замечания: 1)** В автореферате содержатся неудачные формулировки. Например, «...решение нелинейных систем СДУ с помощью уравнений Колмогорова или кумулянтных уравнений...», «...для моделирования СДУ с пуассоновской составляющей...», «...СДУ с одним шумом...»; **2)** В автореферате указано, что в иностранной литературе для систем со случайной структурой с распределенными переходами используют термин hybrid systems (гибридные системы). Но, вообще говоря, гибридные системы – это чрезвычайно широкий класс систем, для которых характерно наличие как непрерывных, так и дискретных процессов. Они могут быть детерминированными, включать логические блоки и т.д., то есть иметь мало общего с системами со случайной структурой; **3)** В постановке задачи анализа систем со случайной структуры вводятся ненормированные плотности распределения. Действительно, каждая из них в отдельности может не удовлетворять условию нормировки, но их сумма нормирована и это условие было бы полезно привести в тексте автореферата.

5. Отзыв Насырова Фарита Сагитовича, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры искусственного интеллекта и перспективных математических моделей ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» содержит **замечание:** не совсем понятно условие на λ_0 на стр. 18 про конечное число

двоичных разрядов. Ведь все расчеты проводятся на компьютере, при этом любые числовые величины имеют конечное число двоичных разрядов.

6. Отзыв член-корреспондента РАН, профессора, д.ф.-м.н. Кабанихина Сергея Игоревича, главного научного сотрудника лаборатории обратных задач естествознания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук содержит **замечание**: слишком краткое описание в автореферате математических моделей задач 4-й главы, для которых приведены результаты моделирования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в области стохастического моделирования и вычислительной математики, наличием у них публикаций по указанным направлениям и способностью определить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны устойчивые (асимптотически несмещенные) численные методы решения систем стохастических дифференциальных уравнений (СДУ); модифицированный алгоритм решения СДУ, сохраняющие первый интеграл; экономичные алгоритмы моделирования дискретных случайных величин и пуассоновских точечных ансамблей со сложной интенсивностью; эффективные алгоритмы моделирования систем со случайной структурой с распределенными зависимыми от фазовых координат переходами; эффективные алгоритмы моделирования решения СДУ с пуассоновской составляющей в случае, когда пуассоновская мера зависит от времени и от фазовых координат;

предложены: новый подход к решению СДУ с неоднородной пуассоновской мерой и систем со случайной структурой с распределенными зависимыми от фазовых координат переходами, основанный на экономичных алгоритмах моделирования общих пуассоновских процессов; **новая методика**, обеспечивающая принадлежность моделируемых траекторий решения СДУ заданному гладкому многообразию; **новая методика** эффективного тестирования численных методов решения СДУ;

показана перспективность применения разработанного подхода и созданных алгоритмов статистического моделирования для решений задач, математические модели которых заданы стохастическими дифференциальными уравнениями или системами со случайной структурой; **введено** новое семейство численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений в смысле Стратоновича.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны теоремы о среднеквадратической и слабой сходимости построенных численных методов решения СДУ в смысле Стратоновича, а

также исследована их асимптотическая несмещенность (Теоремы 1.2.-1.5); доказана теорема о точности оценки решения систем СДУ с первым интегралом слабо сходящимся численным методом (Теорема 1.8); доказано утверждение о сохранении потраекторной аппроксимации численного решения СДУ модифицированным алгоритмом, сохраняющим первый интеграл (п. 1.4); доказаны теоремы о специальном способе моделирования дискретных случайных величин (Теоремы 2.1-2.2); доказана теорема о слабой сходимости приближенного «цифрового» неоднородного пуассоновского ансамбля к точному (Теорема 2.3); доказана теорема о слабой сходимости численного решения, полученного с помощью построенных алгоритмов статистического моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами (Теорема 3.3); доказана теорема об условной оптимизации статистических алгоритмов при вычислении математического ожидания некоторого функционала от решения и при вычислении гистограммы (Теорема 3.4);

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** аппарат теории методов Монте-Карло, включая теорию численных методов решения СДУ, аппарат теории вероятностей, теории случайных процессов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработанные алгоритмы статистического моделирования решения СДУ обладают хорошими свойствами устойчивости (асимптотической несмещенности) - не допускают большой потери точности вычислений в задачах, связанных с оценкой дисперсии решения, позволяют решать задачи, описывающие разномасштабные процессы, а также задачи на больших временных интервалах; **разработанные** алгоритмы на основе устойчивых численных методов решения СДУ и экономических алгоритмов статистического моделирования пуассоновских ансамблей эффективны при решении систем со случайной структурой; **применение разработанных алгоритмов:** **1)** для решения тестовых задач с известным точным решением и сравнение с известными методами (п. 4.2, п. 4.3, п. 4.4.1, п. 4.4.3), **2)** для решения задач теории управления (п. 4.4.2, п. 4.5), **3)** для статистического анализа систем со случайным периодом квантования сигналов во времени (п. 4.6), **4)** для решения задачи фильтрации диффузионно-скачкообразных процессов (п. 4.7) и задачи фильтрации для непрерывных систем с переключениями (п. 4.8), **5)** для решения задач, связанных с вопросами фазовых переходов (п. 4.9) **убедительно демонстрирует** их работоспособность и преимущества по сравнению с существующими алгоритмами;

определены области применения разработанных алгоритмов статистического моделирования решений стохастических дифференциальных уравнений и систем со случайной структурой;

представлены предложения по дальнейшему расширению области применения разработанных алгоритмов, в том числе их использование для сложных динамических систем, обеспечивая при этом решение задачи оптимальной фильтрации в реальном времени.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ (численных экспериментов) показано соответствие полученных результатов вычислительных экспериментов существующим теориям;

теория построена на строгих математических доказательствах, на применении известных понятий теории случайных процессов и статистического моделирования, а также согласуется с результатами ранее опубликованных работ по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики, обобщении передового опыта ведущих отечественных и зарубежных ученых в области статистического моделирования и методов Монте-Карло;

установлено качественное согласие результатов численных экспериментов, полученных автором, с результатами, представленными в независимых источниках;

использованы теоретические и экспериментальные данные предыдущих исследований для сравнения с ними результатов, приведенных в диссертационной работе.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач диссертационного исследования и в выборе методов их решений, в разработке алгоритмов статистического моделирования и их численной реализации, теоретическом исследовании предложенных алгоритмов, составлении и отладке компьютерных программ, проведении вычислительных экспериментов и анализе их результатов, представлении результатов исследований на семинарах и конференциях, подготовке публикаций по выполненной диссертационной работе.

В дискуссии принял участие д.ф.-м.н. Пененко В.В.

В ходе дискуссии критических замечаний не поступило. Соискатель Аверина Т.А. **ответила** на задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

На заседании **22 июня 2022** года диссертационный совет принял решение:

за разработку и реализацию нового подхода к статистическому моделированию решений стохастических дифференциальных уравнений и систем со случайной структурой, **присудить** Авериной Т.А. **ученую степень доктора физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:
за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

И.о. председателя
диссертационного совета Д 003.061.01,
доктор физико-математических наук,


Пененко Владимир
Викторович

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.061.01,
доктор физико-математических наук


Рогазинский Сергей
Валентинович

22 июня 2022 г.