

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.02

Соискатель: Рыбаков Константин Александрович

Тема диссертации: Спектральный метод анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем

Специальность: 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Решение диссертационного совета по результатам защиты: На заседании 25 октября 2024 года (протокол № 31) диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Рыбакова Константина Александровича «Спектральный метод анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Рыбакову Константину Александровичу ученую степень доктора физико-математических наук.

Присутствовали: Наумов А. В. – *председатель*, Кибзун А. И. – *зам. председателя*, Рассказова В. А. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Бардин Б. С., Битюков Ю. И., Борисов А. В., Бортаковский А. С., Гидаспов В. Ю., Грумондз В. Т., Иванов С. В., Колесник С. А., Котельников М. В., Красильников П. С., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Кузнецова Е. Л., Кулагин Н. Е., Куравский Л. С., Пантелеев А. В., Ревизников Д. Л., Семенихин К. В., Синицин В. И., Сиротин А. Н., Формалев В. Ф.

Председатель диссертационного совета
24.2.327.02, д.ф.-м.н., профессор

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.327.02, к.ф.-м.н.



В. А. Рассказова

Проректор по научной работе,
д.т.н., доцент

А. В. Иванов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.10.2024 № 31

О присуждении Рыбакову Константину Александровичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Спектральный метод анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем» по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 19 июля 2024 года (протокол заседания № 29) диссертационным советом 24.2.327.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки России: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016, № 1017/нк от 20.10.2017, № 272/нк от 27.03.2019, № 1097/нк от 03.10.2022, № 1215/нк от 12.10.2022.

Соискатель Рыбаков Константин Александрович, 31 июля 1979 года рождения. В 2002 году окончил Московский государственный авиационный институт (технический университет) по специальности «Прикладная математика»



(диплом ДВС № 1768589). В 2005 году окончил аспирантуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет). Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Спектральный метод анализа и синтеза систем со случайной структурой» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации защитил в 2006 году в диссертационном совете Д 212.125.04, созданном на базе Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет) (диплом кандидата наук КТ № 185089). В 2010 году получил ученое звание доцента по кафедре математической кибернетики (диплом доцента ДЦ № 029263).

Рыбаков Константин Александрович работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 805 «Математическая кибернетика» Института № 8 «Компьютерные науки и прикладная математика» в должности доцента.

Диссертация выполнена на кафедре 805 «Математическая кибернетика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – Пантелеев Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой 805 «Математическая кибернетика» Института № 8 «Компьютерные науки и прикладная математика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Кузнецов Дмитрий Феликсович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

2. Горяинов Владимир Борисович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Математическое моделирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»;
3. Колесникова Светлана Ивановна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры компьютерных технологий и программной инженерии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН), г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном главным научным сотрудником лаборатории методов Монте-Карло, доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН Михайловым Геннадием Алексеевичем и утвержденном директором ИВМиМГ СО РАН доктором физико-математических наук, профессором РАН Марченко Михаилом Александровичем, указала, что представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит новые подходы к решению важной научной задачи, имеющей теоретическую и практическую значимость, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Результаты, выносимые на защиту, являются обоснованными и достоверными, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения достаточно полно представлены в научных публикациях. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Замечания по диссертации:

1. Результаты третьей главы можно было бы дополнить анализом вычислительной устойчивости алгоритма анализа и связанного с ним алгоритма оценивания состояний линейных непрерывных стохастических систем.
2. Теоретический и практический интерес представляет задача оптимизации параметров алгоритма оценивания состояний линейных непрерывных стохастических систем за счет уравнивания статистической погрешности и погрешности спектрального метода, обусловленной усечением спектральных характеристик. Однако такая задача в диссертационной работе не рассматривалась.
3. В диссертационной работе предложены новые алгоритмы моделирования кратных и повторных стохастических интегралов, проведена их апробация. Оценка трудоемкости этих алгоритмов позволила бы лучше оценить их эффективность.
4. В диссертационной работе приведено много результатов вычислительных экспериментов, которые содержат погрешности аппроксимации тех или иных функций или решений. Более наглядные результаты с относительными погрешностями аппроксимации содержатся только в пятой главе, в остальных главах автор ограничился абсолютными погрешностями аппроксимации.
5. Результаты статистического моделирования повторных стохастических интегралов из пятой и шестой глав включают оценки математического ожидания и второго начального момента. В заголовках таблиц, содержащих полученные результаты, правильнее было бы отразить, что это именно оценки моментов, а не сами моменты.
6. Система компьютерной алгебры Mathcad не отличается большой скоростью вычислений, хотя предлагаемые спектральные методы, по-видимому, в ней нуждаются. Для практического применения более подходят реализации на языках высокого уровня, поддерживающих параллельные вычисления, а компиляторы для них обеспечивают оптимизацию кода. Возможно, этого недостатка нет в другой программе, используемой автором, о которой кратко сказано в приложении.

Отзыв ведущей организации принят по результатам обсуждения диссертационной работы Рыбакова Константина Александровича «Спектральный метод анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем» на семинаре ИВМиМГ СО РАН «Методы Монте-Карло в вычислительной математике и математической физике» (протокол № 2 от 17 сентября 2024 года).

Соискатель имеет 62 опубликованные научные работы по теме диссертации, из 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 РФ, 1 монография, 2 коллективные монографии. Зарегистрированы 3 программы для ЭВМ.

Содержание данных работ в полной мере отражает содержание диссертационной работы, в которой отсутствуют некорректные и недостоверные ссылки, соискателем в данных работах получены основные теоретические и практические результаты.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации.

Статьи в журналах, индексируемых в Web of Science или Scopus:

1. Rybakov K.A., Sotskova I.L. Spectral method for analysis of switching diffusions // IEEE Trans. Autom. Control. 2007. Vol. 52. No. 7. P. 1320–1325.
2. Averina T.A., Karachanskaya E.V., Rybakov K.A. Statistical analysis of diffusion systems with invariants // Rus. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2018. Vol. 33. No. 1. P. 1–13.
3. Рыбаков К.А. Применение спектральной формы математического описания для представления повторных стохастических интегралов // Дифф. уравн. и проц. управл. 2019. № 4. С. 1–31.
4. Rybakov K.A. Spectral method of analysis and optimal estimation in linear stochastic systems // Int. J. Model. Simul. Sci. Comput. 2020. V. 11. No. 3. 2050022.
5. Рыбаков К.А. Моделирование линейных нестационарных стохастических систем спектральным методом // Дифф. уравн. и проц. управл. 2020. № 3. С. 98–128.
6. Rybakov K.A. Modeling and analysis of output processes of linear continuous stochastic systems based on orthogonal expansions of random functions // J.

Comput. Syst. Sci. Int. 2020. V. 59. No. 3. P. 322–337. (Рыбаков К.А. Моделирование и анализ выходных процессов линейных непрерывных стохастических систем на основе ортогональных разложений случайных функций // Известия РАН. Теория и системы управления. 2020. № 3. С. 14–29.)

7. Рыбаков К.А. Ортогональное разложение кратных стохастических интегралов Ито // Дифф. уравн. и проц. управл. 2021. № 3. С. 109–140.

8. Рыбаков К.А. Ортогональное разложение кратных стохастических интегралов Стратоновича // Дифф. уравн. и проц. управл. 2021. № 4. С. 81–115.

9. Kudryavtseva I.A., Rybakov K.A. Comparative analysis of particle filters for stochastic systems with continuous and discrete time // J. Comput. Syst. Sci. Int. 2022. V. 61. No. 5. P. 741–750. (Кудрявцева И.А., Рыбаков К.А. Сравнительный анализ фильтров частиц для стохастических систем с непрерывным и дискретным временем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2022. № 5. С. 40–49.)

10. Rybakov K.A. Exact calculation of the approximation error of multiple Ito stochastic integrals // Numer. Anal. Appl. 2023. Vol. 16. No. 2. P. 205–213. (Рыбаков К.А. Точное вычисление погрешности аппроксимации кратных стохастических интегралов Ито // Сиб. журн. выч. матем. 2023. Т. 26. № 2. С. 205–213.)

11. Рыбаков К.А. Особенности разложения кратных стохастических интегралов Стратоновича с применением функций Уолша и Хаара // Дифф. уравн. и проц. управл. 2023. № 1. С. 137–150.

12. Rybakov K. Spectral representations of iterated stochastic integrals and their application for modeling nonlinear stochastic dynamics // Mathematics. 2023. V. 11. No. 19. 4047.

13. Rybakov K. On traces of linear operators with symmetrized Volterra-type kernels // Symmetry. 2023. V. 15. No. 10. 1821.

14. Averina T.A., Rybakov K.A. Rosenbrock-type methods for solving stochastic differential equations // Numer. Anal. Appl. 2024. Vol. 17. No. 2. P. 99–115. (Аверина Т.А., Рыбаков К.А. Методы типа Розенброка для решения стохастических дифференциальных уравнений // Сиб. журн. выч. матем. 2024. Т. 27. № 2. С. 123–145.)

Статьи в трудах конференций, индексируемых в Web of Science или Scopus:

15. Averina T.A., Karachanskaya E.V., Rybakov K.A. Statistical modeling of random processes with invariants // Proc. 2017 Int. Multi-Conf. on Engineering,

Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Novosibirsk Akademgorodok, Russia, September 18–22, 2017. IEEE, 2017. P. 34–37.

16. Rybakov K. Application of Walsh series to represent iterated Stratonovich stochastic integrals // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. V. 927. 012080.

17. Rybakov K., Yushchenko A. Spectral method for solving linear Caputo fractional stochastic differential equations // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. V. 927. 012077.

18. Rybakov K. Modified spectral method for optimal estimation in linear continuous-time stochastic systems // J. Phys. Conf. Ser. 2021. V. 1864. 012025.

19. Rybakov K.A. Using spectral form of mathematical description to represent Stratonovich iterated stochastic integrals // Smart Innovation, Systems and Technologies. V. 217. Springer, 2021. P. 287–304.

20. Rybakov K.A. Using spectral form of mathematical description to represent Ito iterated stochastic integrals // Smart Innovation, Systems and Technologies. V. 274. Springer, 2022. P. 331–344.

Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий ВАК:

21. Рыбаков К.А. Многопараметрические базисные системы для представления функций в неограниченных областях // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 195 (9). С. 45–50.

22. Рыбаков К.А. Построение множества допустимых управлений в спектральной форме математического описания // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20. № 3. С. 58–74.

23. Рыбаков К.А. Спектральные аналоги множества допустимых управлений для финитных базисных систем // Дифф. уравн. и проц. управл. 2016. № 2. С. 40–71.

24. Рыбаков К.А. Развитие и перспективы программного обеспечения спектрального метода Spectrum // Информ. и телекомм. технологии. 2019. № 43. С. 57–63.

25. Рыбаков К.А., Рыбин В.В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета спектральной характеристики оператора дробного интегродифференцирования относительно функций Уолша // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. 2019. № 4 (64). С. 42–57.

26. Рыбаков К.А. Расчет спектральных характеристик оператора интегрирования дробного порядка относительно функций Уолша и Хаара // Вестник ДГУ. Естеств. науки. 2020. Т. 35. Вып. 3. С. 17–23.

27. Рыбаков К.А. К ортогональному разложению повторных стохастических интегралов Стратоновича // Вестник ДГУ. Естеств. науки. 2022. Т. 37. Вып. 2. С. 27–32.

28. Рыбаков К.А. Алгоритмическое обеспечение численно-спектральных методов моделирования стохастических динамических систем // Моделирование и анализ данных. 2023. Т. 13. № 3. С. 79–95.

Монография:

29. Рыбаков К.А. Спектральный метод моделирования линейных непрерывных стохастических систем. М.: Изд-во МАИ, 2021. – 216 с.

Коллективные монографии:

30. Егупов Н.Д., Гаврилов А.И., Коньков В.Г., Корлякова М.О., Корнюшин Ю.П., Краснощеченко В.И., Макаренков А.М., Мельников Д.В., Потехин С.Г., Рыбаков К.А., Рыбин В.В., Рыбин В.М., Сотскова И.Л., Степанов С.Е., Трофимов А.И. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация (под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова). – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.

31. Беленцов С.И., Виниченко М.А., Заиграева Н.В., Матвеева Е.В., Митин А.А., Пантюхин С.С., Рыбаков К.А., Рыбин В.В. Современная наука: теоретические, практические и инновационные аспекты развития (под ред. О.П. Чигишевой). Т. 2. – Ростов-на-Дону: Научное сотрудничество, 2018. – 201 с.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

32. Рыбаков К.А. Библиотека функций матричной алгебры для многоядерных процессоров / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015610524, 13.01.2015.

33. Рыбаков К.А. Библиотека функций матричной алгебры для графических процессоров видеоадаптеров / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015616429, 09.06.2015.

34. Рыбаков К.А. Моделирование повторных стохастических интегралов спектральным методом / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024616685, 22.03.2024.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н. Кузнецова Дмитрия Феликсовича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1) Несмотря на то, что доказательства теорем 4.9, 5.3, 5.4 довольно объемны, некоторые шаги в них можно изложить более подробно, оформив их, например, как леммы.

2) В главе 5 кратные стохастические интегралы Ито и Стратоновича определены только относительно винеровских процессов, а интегрирование по времени в смысле Лебега не рассматривается. Включение интегрирования по времени более интересно для приложения этой теории к численным методам решения СДУ.

3) В формулах (4.75) и (4.78) лучше уточнить, как для указанных в них рядов со сложной структурой строятся частичные суммы. Кроме того, формулы (4.75) и (4.78) дают достаточные условия представления кратного интеграла Стратоновича в виде (5.51) и (5.52) (теорема 5.4). Было бы интересно провести исследование, являются ли эти условия необходимыми.

4) В формулировке теорем 5.3 и 5.4 полезно добавить, что независимые гауссовские случайные величины – это стохастические интегралы от базисных функций по конкретным винеровским процессам.

5) В автореферате диссертации принята сквозная нумерация формул и теорем, эта нумерация отличается от используемой в основном тексте. В такой ситуации в автореферате принято указывать соответствующие номера в скобках хотя бы для теорем.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., доцента Горяинова Владимира Борисовича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1) В разделе 1.1 приведено понятие базиса для представления функций и он предполагается ортонормированным. Ортонормированность базиса следовало указать и в автореферате.

2) Разложения Тейлора-Ито и Тейлора-Стратоновича из раздела 6.5 лучше привести в разделе 3.1, где определено понятие решения стохастического

дифференциального уравнения, то есть до результатов с новыми представлениями для кратных и повторных стохастических интегралов.

3) На странице 351 в формулах используется константа M_j и обозначение $\langle \rangle_j$ со ссылкой на раздел 4.3. Лучше указать ссылки на формулы (4.57) и (4.58) из этого раздела вместо ссылки на весь раздел.

4) В таблицах с погрешностями спектрального метода (в разных главах) результаты для функций Уолша и Хаара одинаковы. Возможно, достаточно было остановиться на выборе только одной из этих двух систем функций.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.т.н., доцента Колесниковой Светланы Ивановны.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1) Во введении описаны численные методы анализа непрерывных стохастических систем, приведены сведения о спектральном методе и его развитии. Однако методы анализа сложных систем не исчерпываются указанными направлениями и упорядочение сведений о других методах повысило бы интерес к обзору и способствовало бы процессу распространения научных результатов, полученных автором, среди специалистов по смежным прикладным областям.

2) Предложенный в разделе 3.4 алгоритм решения задачи оценивания состояний линейных непрерывных стохастических систем кроме спектрального метода использует идею фильтра частиц. Для классического фильтра частиц известна проблема вырождения выборки (стремление к нулю части весовых коэффициентов). В диссертации следовало бы отметить, возникает ли эта проблема в предложенном алгоритме оценивания.

3) При вычислении моментов повторных стохастических интегралов в разделе 6.3 осуществляется переход от стохастических дифференциальных уравнений к уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова для плотности вероятности. И формулы для моментов получаются уже на его основе, хотя их можно получить, опираясь только на стохастические дифференциальные уравнения.

4) В диссертации не поясняется, почему для практической реализации спектрального преобразования выбраны именно эти пять базисов: полиномы Лежандра, косинусоиды, функции Уолша и Хаара, тригонометрические функции.

5) В диссертации дано большое количество теоретических, методических, вычислительных примеров, иллюстрирующих полученные

автором результаты. Однако отсутствует явный акцент на данных какого-либо численного сравнительного исследования, доказывающего преимущество предлагаемого решения конкретной прикладной задачи по сравнению с известными.

Отзывы на автореферат.

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет».

Отзыв подписан профессором кафедры «Вычислительная механика и математика» Буркиным Игорем Михайловичем, доктором физико-математических наук, профессором. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1) Порядковый номер базисной функции, как правило, указывается с помощью нижнего индекса, однако в рассматриваемой работе номером является один из аргументов базисной функции. Кроме того, для всех функций достаточно применять краткое обозначение f вместо используемого автором $f(\cdot)$.

2) Некоторые используемые обозначения можно упростить без какого-либо ущерба для изложения результатов. Это, например, относится к обозначениям кратных и повторных стохастических интегралов: указание на винеровский процесс (символ W) может быть опущено, поскольку кратные стохастические интегралы по другим случайным процессам, судя по автореферату, автором в диссертационной работе не рассматриваются.

2. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук

Отзыв подписан заместителем директора по научной работе Разумчиком Ростиславом Валерьевичем, доктором физико-математических наук, доцентом. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1) На стр. 12 и 13 представлены формулы обратного спектрального преобразования:

$$f(\cdot) = \mathbb{S}^{-1}[F] = \sum_{i=0}^{\infty} F_i q(i, \cdot), \quad f(\cdot) = \mathbb{S}^{-1}[F] = \sum_{i,j=0}^{\infty} F_{ij} q(i, \cdot) \otimes q(j, \cdot).$$

Таким образом, функции $f(\cdot)$ одного или нескольких аргументов представимы в виде функциональных рядов. Из автореферата сложно сделать вывод о виде сходимости этих функциональных рядов. Этот вопрос является

существенным для дальнейшего изложения, где автор говорит о точности аппроксимации, получаемой заменой бесконечного ряда конечной суммой.

2) Из определения случайного линейного функционала, представленного на стр. 17 автореферата, следует, что аргумент этого функционала – детерминированная функция (неслучайная функция из множества основных функций D). Но далее в автореферате говорится о стохастических интегралах Ито и Стратоновича, которые для детерминированного интегранда совпадают с последующим совпадением их спектральных представлений. Если же здесь рассматривается случайный интегранд, то для последующего корректного построения стохастических интегралов необходимы дополнительные существенные условия для него, которые в автореферате четко не сформулированы.

3) В качестве основных задач, решаемых в диссертации, автор указал «разработку алгоритмического обеспечения представления случайных процессов в спектральной форме». В действительности разработано не только алгоритмическое обеспечение, но и его основа – математическое обеспечение.

4) В автореферате присутствует ряд стилистически неудачных конструкций и высказываний, допускающих неоднозначную трактовку.

4.1. Стр. 3 (о дифференциальных уравнениях со случайными процессами в правой части) «Для случайных функций типа белого шума классическая теория неприменима...». Не вполне понятно, о какой «классической теории» в данном случае идет речь.

4.2. Стр. 6 «[Теория]... далека от завершения в области приложений к численным методам решения СДУ, а значит и к методам анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем».

4.3. Стр. 20 «...а спектральные характеристики ... получаются как простые сечения двумерной матрицы-столбца ..., т.е. в результате декомпозиции».

**3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии
наук**

Отзыв подписан и.о. заведующего лабораторией «Адаптивные и робастные системы» Хлебниковым Михаилом Владимировичем, доктором физико-

математических наук, профессором РАН, главным научным сотрудником. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1) На с. 32 упоминается некий «известный подход к нахождению первых двух моментов...»; здесь было бы уместно дать ссылку на литературу, его автора и т.п.;

2) В тексте автореферата присутствуют неизбежные опечатки (например, «интерирования», с. 18).

4. Арзамасский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Отзыв подписан заведующим кафедрой прикладной математики Пакшиным Павлом Владимировичем, доктором физико-математических наук, профессором. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1) Непонятно чем мотивирован выбор системы Mathcad для реализации разработанных алгоритмов, ведь для решения задач анализа систем управления эта система существенно менее эффективна по сравнению с SCILAB, OPERA и MATLAB.

2) Непонятен смысл реализации программного обеспечения в виде приложения для операционной системы Microsoft Windows на языке Pascal/Delphi. На какого пользователя это рассчитано?

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Отзыв подписан профессором кафедры экономической информатики Гусевым Сергеем Анатольевичем, доктором физико-математических наук. Отзыв положительный. В качестве замечания к автореферату автором отзыва отмечено: было бы неплохо дать краткое описание одной или нескольких прикладных задач, которые были решены с использованием разработанных методов.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Отзыв подписан заведующим кафедрой высшей математики Виноградовой Полиной Витальевной, доктором физико-математических наук, доцентом. Отзыв положительный. В качестве замечания к автореферату автором отзыва отмечено: на стр. 28 указано, что L_2 – пространство гильбертовых случайных величин, но не приведена формула для нормы через второй момент, что отчасти снижает наглядность п. 2 в теоремах 9 и 10.

**7. Государственный научный центр Российской Федерации
АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор»**

Отзыв подписан начальником научно-образовательного центра Степановым Олегом Андреевичем, доктором технических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1) Как отмечается в автореферате, в качестве альтернативных подходов при решении рассматриваемых задач могут быть использованы подходы, основанные на канонических разложениях случайных процессов и их дискретном представлении. К сожалению, какое-либо сопоставление в работе не проводится.

2) В автореферате недостаточно отчетливо поясняется разница между «спектральным методом» описания (выходного сигнала) и «спектральной формой математического описания систем управления».

3) Мало примеров использования разработанных методов при решении задач прикладной направленности.

4) После первой формулы на с. 9, не поясняется из каких соображений выбирается количество гауссовских шумов; зачем введена квадратная матрица «этта»; термин полиномиальный измеритель представляется неудачным; не указано количество используемых источников в списке цитируемой литературы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук Кузнецов Дмитрий Феликсович работает профессором кафедры высшей математики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Область его научных интересов включает различные вопросы представления, аппроксимации и моделирования кратных и повторных

стохастических интегралов в приложении к численным методам решения стохастических дифференциальных уравнений и статистического моделирования непрерывных стохастических систем. Кузнецов Дмитрий Феликсович является автором 36 научных работ, которые опубликованы в журналах и сборниках, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science, число публикаций в РИНЦ – 185. Кузнецов Дмитрий Феликсович – автор нескольких монографий по теории аппроксимации повторных стохастических интегралов и численным методам решения стохастических дифференциальных уравнений.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, доцент Горяинов Владимир Борисович работает профессором кафедры «Математическое моделирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Область его научных интересов включает различные вопросы теории оценивания и статистических методов. Горяинов Владимир Борисович является автором 20 научных работ, которые опубликованы в журналах и сборниках, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science, число публикаций в РИНЦ – 51. Горяинов Владимир Борисович – автор учебника по математической статистике.

Официальный оппонент, доктор технических наук, доцент Колесникова Светлана Ивановна работает профессором кафедры компьютерных технологий и программной инженерии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». Область ее научных интересов включает различные вопросы теории управления непрерывными и дискретными системами, методы моделирования стохастических систем управления для решения естественно-научных и инженерно-технических задач. Колесникова Светлана Ивановна является автором 31 научной работы, которые опубликованы в журналах и сборниках, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science, число публикаций в РИНЦ – 172. Колесникова Светлана Ивановна – автор монографии о задачах распознавания состояний динамических объектов.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН) – является признанным лидером в области разработки численных методов решения прямых и обратных задач математической физики, методов численного статистического моделирования (методов Монте-Карло) и др. В ИВМиМГ СО РАН сформирована Новосибирская школа по методам Монте-Карло, основатель и руководитель: доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН Г.А. Михайлов. Основное научное направление лаборатории методов Монте-Карло, подготовившей отзыв на диссертацию, является разработка эффективных алгоритмов статистического моделирования для решения естественно-научных задач.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие новые научные результаты:

- алгоритмическое обеспечение представления случайных процессов в спектральной форме математического описания систем управления,
- обобщение спектрального метода для анализа и статистического моделирования линейных непрерывных стохастических систем,
- обобщение спектрального метода для оценивания состояний (фильтрация, сглаживание и прогнозирование) линейных непрерывных стохастических систем с полиномиальными измерителями,
- ортогональные разложения кратных стохастических интегралов Ито и Стратоновича произвольной кратности в приложении к анализу и статистическому моделированию нелинейных непрерывных стохастических систем,
- методы расчета коэффициентов разложения функций многих переменных, определяющих повторные стохастические интегралы, применяемые для статистического моделирования нелинейных непрерывных стохастических систем,
- представления повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича произвольной кратности на основе спектральной формы математического описания систем управления,

– формулы для точного вычисления среднеквадратической погрешности аппроксимации кратных и повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича на основе перехода к симметризованным функциям,

– метод аппроксимации множества спектральных характеристик функций одной переменной с ограничениями (типовые ограничения на управляющие воздействия или входные/выходные сигналы),

– алгоритмическое обеспечение статистического моделирования кратных и повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича на основе спектральной формы математического описания систем управления.

Теоретическая значимость результатов состоит в развитии спектральной формы математического описания случайных процессов в непрерывном времени, которые можно трактовать как сигналы в непрерывных системах управления; в обобщении спектрального метода для анализа, статистического моделирования и оценивания состояний непрерывных стохастических систем; в новых представлениях кратных и повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича; в новом алгоритмическом обеспечении статистического моделирования повторных стохастических интегралов.

Практическая значимость результатов обусловлена возможностью применения разработанных методов, алгоритмов и комплекса программ для решения задач анализа и статистического моделирования непрерывных стохастических систем, в задачах оценивания их состояний, т.е. в задачах статистической обработки информации (в естественно-научной, технической и финансовой сферах).

Достоверность полученных результатов обеспечивается доказательствами лемм и теорем. Результаты моделирования и вычислительные эксперименты подтверждают теоретические положения.

Личный вклад. Все результаты диссертации получены лично автором. Из результатов, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включен только материал, вклад соискателя в который был определяющим.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Рыбакова Константина Александровича является самостоятельно выполненной законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области анализа, статистического моделирования и оценивания состояний непрерывных стохастических систем. Диссертация удовлетворяет пунктам 9–14 постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней».

На заседании 25 октября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Рыбакову Константину Александровичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 9 докторов наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 24, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
24.2.327.02, д.ф.-м.н., профессор

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.327.02, к.ф.-м.н.

В. А. Рассказова

Проректор по научной работе,
д.т.н., доцент



А. В. Иванов

25 октября 2024 г.