

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и цифровому развитию
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук, профессор
Алексей Александрович Короновский



« 29 » 09 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Спиридонова Дмитрия Михайловича** «Моделирование и подавление шумов в выходном сигнале измерительной интерферометрической системы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика, выполненной на кафедре радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ от 28 декабря 2020 года № 212–Д, переутверждена приказом ректора СГУ от 01 июля 2025 года №98–Д.

Соискатель **Спиридонов Дмитрий Михайлович** окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» в 2018 году по направлению «Физика» с присвоением квалификации «Магистр».

В период подготовки диссертации с 01.10.2020 года по настоящее время Дмитрий Михайлович является аспирантом ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по группе научных специальностей 1.3. Физические науки.

Справка о сданных кандидатских экзаменах №28–2025 выдана 02.09.2025 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель – **Вадивасова Татьяна Евгеньевна**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденная приказом ректора от 14 марта 2023 года №59–Д, представила положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ.

На заседании присутствовали:

1. *Стрелкова Галина Ивановна*, доктор физико-математических наук (01.04.03), доцент, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
2. *Вадивасова Татьяна Евгеньевна*, доктор физико-математических наук (01.04.03), профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
3. *Шабунин Алексей Владимирович*, доктор физико-математических наук (01.04.03), доцент, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
4. *Москаленко Ольга Игоревна*, доктор физико-математических наук (01.04.03), профессор, профессор кафедры физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
5. *Петров Владимир Владимирович*, доктор физико-математических наук (01.04.03), профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
6. *Пономаренко Владимир Иванович*, доктор физико-математических наук (01.04.03), профессор, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
7. *Сергеев Константин Сергеевич*, кандидат физико-математических наук (01.04.03), доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
8. *Слепченков Михаил Михайлович*, кандидат физико-математических наук (05.27.01), доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
9. *Семенов Владимир Викторович*, кандидат физико-математических наук (01.04.03), заведующий научно-образовательной лабораторией компьютерного моделирования в электронике института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
10. *Семенова Надежда Игоревна*, кандидат физико-математических наук (01.04.03), доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
11. *Слепнев Андрей Вячеславович*, кандидат физико-математических наук (01.04.03), доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;
12. *Бух Андрей Владимирович*, кандидат физико-математических наук (1.3.4.), доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»;

Рецензенты диссертации:

Москаленко Ольга Игоревна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»,

Пономаренко Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»,

представили положительные отзывы.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Заключение

по диссертации Спиридонова Дмитрия Михайловича «Моделирование и подавление шумов в выходном сигнале измерительной интерферометрической системы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Актуальность работы. В диссертационной работе Спиридонова Д.М. решены актуальные задачи, связанные с изучением, моделированием и подавлением шумов в выходном сигнале интерферометрической системы на примере волоконно-оптического гироскопа (ВОГ). Результаты работы дополняют имеющиеся на сегодняшний день представления о взаимодействии сигналов измерительных каналов в ВОГ с системой шумоподавления, основанной на выделении шума источника оптического излучения в отдельный измерительный канал. Полученные результаты позволяют улучшить понимание фундаментальных причин и параметрических зависимостей в формировании шумовой составляющей выходного сигнала определенного класса измерительных устройств.

Личный вклад автора. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены соискателем лично. Автором выведены теоретические выражения и разработаны симуляционные модели в среде Octave, с помощью которых проводились численные расчеты и моделирование исследуемых систем. Также автором разработан и изготовлен макет исследуемой системы, поставлены и проведены экспериментальные исследования. Постановка задач, планирование проведения исследований, интерпретация и обсуждение результатов, написание научных статей осуществлялись совместно с научными руководителями и соавторами опубликованных работ.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных в рамках диссертации результатов обеспечивается постоянным перекрестным сопоставлением результатов теоретических расчетов с результатами симуляционного моделирования и результатами экспериментальных исследований. Достоверность результатов симуляционного моделирования обеспечивается применением при разработке симуляционной модели известных математических выражений и реализованных в физических устройствах алгоритмов обработки и преобразования сигналов. Достоверность экспериментальных результатов обеспечена применением современной измерительной аппаратуры и обработкой результатов измерений с использованием проверенных методов. Согласованность результатов работы с полученными ранее результатами других авторов в данной научной области также подтверждает их достоверность.

Научная новизна результатов исследования. Работа носит фундаментальный характер, поскольку для описания взаимодействия сигналов измерительных каналов и верной интерпретации результатов, полученных при моделировании, в работе применяются не только математический аппарат, но также методы статистической физики и радиофизики, касающиеся свойств сигналов и колебательных процессов. Новизна основных результатов работы подтверждается их публикацией в высокорейтинговых журналах, входящих в международные и российские системы цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ.

В диссертационной работе впервые получены следующие научные результаты:

- Предложено обобщение выражения для спектральной плотности шума выходного сигнала ВОГ с системой снижения шума источника оптического излучения, справедливость которого подтверждена в натурном эксперименте. Обобщение состоит во введении в выражение источников шума второго измерительного канала с учетом зависимости их величины от глубины фазовой модуляции в интерферометре Саньяка и зависимости величины шума источника оптического излучения от величины коэффициента согласованности сигналов измерительных каналов по ряду параметров.

- Создана симуляционная компьютерная модель ВОГ с замкнутым контуром компенсирующей обратной связи, учитывающая шумы оптического источника, приемника и модулятора оптического излучения. Так же в модели реализована система снижения шума на основе формирования опорного измерительного канала со своими источниками шума. Результаты, демонстрируемые моделью, хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными как при анализе статистических данных выборки образцов ВОГ, так и при исследовании специально разработанного и изготовленного макета с системой снижения шума.

- Выявлен и описан не учитываемый ранее источник шума, оказывающий заметное влияние на точность измерений ВОГ, который связан с формированием сигнала фазовой модуляции. Влияние данного источника косвенно подтверждается при экспериментальных проверках.

- Определены зависимости спектральной плотности шума выходного сигнала ВОГ с системой снижения шума от разного вида рассогласований сигналов измерительных каналов: рассогласования по времени, по дисперсии, по полосе пропускания и по поляризации оптических сигналов.

- Показано, что зависимость коэффициента шумоподавления от времени рассогласования сигналов измерительных каналов в ВОГ с замкнутым контуром компенсирующей обратной связи определяется корреляцией этих сигналов, описываемой автокорреляционной функцией содержащегося в сигналах обоих измерительных каналов шума источника оптического излучения.

- Показано, что зависимость коэффициента шумоподавления от рассогласования сигналов измерительных каналов по величине дисперсии определяется величиной отклонения средней мощности оптического излучения, падающего на фотоприемники измерительных каналов и разницей коэффициентов усиления сигналов до их вычитания в схеме снижения шума.

Научная и практическая значимость. Полученные результаты вносят вклад в понимание влияния различных источников шума на точность работы измерительных приборов, описание источников шума и разработку способов подавления шумов и улучшения точности измерений интерферометрических приборов.

Разработанные и апробированные в ходе выполнения работы математические модели и результаты их анализа позволяют моделировать поведение ВОГ не только в части собственных шумов (аналитическое выражение), но и в части моделирования алгоритмов цифровой обработки сигналов, фазовой модуляции и так далее (компьютерная модель). Практическое применение использованного метода снижения собственного шума ВОГ при оптимальном подборе параметров схемы и учете ряда факторов позволяет существенно (до 3 раз) понизить порог чувствительности ВОГ при сохранении остальных точностных и эксплуатационных характеристик без существенного усложнения схемотехники. Равное снижение порога чувствительности без уменьшения собственных шумов возможно лишь при двукратном увеличении длины волоконного контура, что влечет за собой увеличение габаритов и стоимости конечного изделия, усложнение технологии изготовления волоконного контура и неминуемо приводит к увеличению случайных и квазидетерминированных сдвигов выходного сигнала.

Апробация работы. Результаты, представленные в диссертационной работе, неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях и школах: Международная конференция «Saratov Fall Meeting 2021», Саратов, Россия, 27 сентября - 01 октября, 2021 г.; Международная конференция «Saratov Fall Meeting 2022», Саратов, Россия, 26–30 сентября, 2022 г.; Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие СВЧ, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами 2022», Саратов, Россия, 24-25 мая, 2022 г.; Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие СВЧ, терагерцового и оптического излучения с

полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами 2025», Саратов, Россия, 22-23 мая, 2025 г.

Полнота изложения материалов диссертации в работах. Результаты диссертационного исследования отражены в публикациях автора в полной мере. По теме диссертационной работы опубликовано 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. **Спиридонов Д. М., Обухович Д. В.** Аналитическая и компьютерная программная математические модели шума выходного сигнала волоконно-оптического гироскопа, анализ и верификация // Журнал радиоэлектроники. – 2024. №. 4. DOI: 10.30898/1684-1719.2024.3.7.

Личный вклад автора состоит в проведении исследования, создании программного обеспечения и визуализации, а также написании и редактировании текста.

2. **Спиридонов Д. М., Обухович Д. В.** Волоконно-оптический гироскоп с системой снижения уровня шума в выходном сигнале, математическое моделирование, эксперимент // Журнал радиоэлектроники. – 2024. №. 12. DOI: 10.30898/1684-1719.2024.12.13

Личный вклад автора состоит в проведении исследования, создании программного обеспечения и визуализации, постановке эксперимента, а также написании и редактировании текста.

3. **Спиридонов Д. М., Вадивасова Т. Е., Обухович Д. В.** Волоконно-оптический гироскоп с системой снижения шума в выходном сигнале, влияние параметров системы на шумоподавление // Известия вузов. ПНД. 2025. Т. 33, вып. 4. С. 497-512. DOI: 10.18500/0869-6632-003168, EDN: RGVGLG

Личный вклад автора состоит в постановке задачи, проведении исследования, создании программного обеспечения и визуализации, а также написании и редактировании текста.

Также опубликовано 4 статьи в сборниках материалов научных конференций, входящих в систему цитирования РИНЦ:

1. **Спиридонов Д. М., Игнатьев А. А., Обухович Д. В.** Математическая модель шумов выходного сигнала волоконно-оптического гироскопа // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2021: материалы Международного симпозиума и Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting 2021 / под ред. Г.В. Симоненко, В.В. Тучина. - Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2021.С. 72 – 77. ISBN 978-5-6047595-9-2.
2. **Спиридонов Д. М., Игнатьев А. А., Обухович Д. В.** Синтез и анализ математической модели шумовой составляющей выходного сигнала волоконно-оптического гироскопа с системой компенсации шума // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2022: материалы Международного симпозиума и Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting 2022 / под ред. Г.В. Симоненко, В.В. Тучина. - Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2022.С. 44 – 47. ISBN 978-5-6049275-0-2.
3. **Спиридонов Д. М., Игнатьев А. А.** Экспериментальная проверка аппаратно-программного метода снижения шума в выходном сигнале волоконно-оптического гироскопа // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро-и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. – 2022. – С. 132-136.

4. **Спиридонов Д. М., Обухович Д. В.** Влияние шума сигнала фазовой модуляции на выходной сигнал волоконно-оптического гироскопа // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро-и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. – 2025. – С. 90-95.

Получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. **Спиридонов Д. М.**, Программа для симулирования работы волоконно-оптического гироскопа с замкнутым контуром обратной связи по измерению угловой скорости в условиях влияния источников собственных шумов // № 2025685252. — 2025.

Ценность научных работ соискателя учёной степени состоит в систематизации и актуализации информации об источниках шума в интерферометрических системах на примере ВОГ, разработке моделей для описания шумов в ВОГ минимальной конфигурации, а также в ВОГ с системой снижения шума и анализе этих моделей при вариации различных параметров как основного измерительного канала (для ВОГ минимальной конфигурации) так и согласования основного измерительного и опорного шумового каналов.

Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 1.3.4. – Радиофизика, удовлетворяя п. 4 паспорта данной специальности.

Итоговое заключение. Диссертация «Моделирование и подавление шумов в выходном сигнале измерительной интерферометрической системы» Спиридонова Дмитрия Михайловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «Радиофизика» как удовлетворяющая критериям, установленным пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842) для кандидатских диссертаций.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского». Присутствовало на заседании 6 докторов наук и 6 кандидатов наук по профилю диссертации (физико-математические науки).

Результаты открытого голосования: «за» – 12 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет (протокол заседания кафедры радиофизики и нелинейной динамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» № 3 от 25 сентября 2025 г.).

Председательствующий
доктор физико-математических наук,
доцент, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной
динамики института физики
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»

Стрелкова Галина Ивановна

Адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83,
Институт физики, кафедра радиофизики и нелинейной динамики
Тел.: +7 (8452) 21-07-20
E-mail: strelkovagi@sgu.ru

