

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 октября 2023 г №53

О присуждении Кудеярову Константину Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Передача ультрастабильных сигналов оптической частоты с активной компенсацией фазовых шумов» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 14 июня 2023 года, (протокол заседания № 51) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Кудеяров Константин Сергеевич, 3 июня 1994 года рождения, в 2018 году с отличием окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению «Прикладные математика и физика». С 2018 года обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2022 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2022 году. С 2017 года является сотрудником ФИАН. В настоящее

время работает в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника в Лаборатории оптики сложных квантовых систем Отделения оптики.

Диссертационная работа К.С. Кудеярова выполнена в Отделении оптики ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Хабарова Ксения Юрьевна, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Тайченачев Алексей Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Отдела лазерной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН);
2. Афанасьев Антон Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Отдела лазерной спектроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), Московская область, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук Пальчиковым Виталием Геннадьевичем, главным научным сотрудником Главного метрологического центра Государственной службы времени и частоты (ГМЦ ГСВЧ (НИО-7)) ФГУП «ВНИИФТРИ», кандидатом физико-математических наук Хромовым Максимом Николаевичем,

заместителем начальника по научной работе Главного метрологического центра Государственной службы времени и частоты (ГМЦ ГСВЧ (НИО-7)) ФГУП «ВНИИФТРИ», Семенко Анастасией Викторовной, секретарем Ученого совета ФГУП «ВНИИФТРИ» (секция №7), и утвержденном доктором технических наук Щипуновым Андреем Николаевичем, первым заместителем генерального директора – заместителем по научной работе ФГУП «ВНИИФТРИ», указала, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19–Лазерная физика.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 4 работы. Также был зарегистрирован 1 патент.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем К. С. Кудеяровым работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Хабарова К. Ю., Кудеяров К. С., Вишнякова Г. А., Колачевский Н.Н. «Короткая оптоволоконная линия связи с системой компенсации фазовых шумов для передачи сигналов оптической частоты» // Квантовая электроника. - 2017. - Т. 47, № 9. - С. 794–797.

2. Kudeyarov K. S., Vishnyakova G. A., Khabarova K. Yu., and Kolachevsky N. N. «2.8 km fiber link with phase noise compensation for transportable Yb⁺ optical clock characterization» // Laser Physics. - 2018. - Vol. 28, no. 10. - P. 105103.

3. Кудеяров К. С., Крючков Д. С., Вишнякова Г. А., Жаднов Н. О., Хабарова К. Ю., Колачевский Н.Н. «Передача сигнала частоты по

высокостабильному открытому воздушному каналу» // Квантовая электроника. - 2020. - Т. 50, № 3. - С. 267–271.

4. Кудеяров К. С., Головизин А. А., Борисенко А. С., Жаднов Н. О., Заливако И. В., Крючков Д. С., Чиглинцев Э. О., Вишнякова Г. А., Хабарова К. Ю., Колачевский Н. Н. «Сличение трех ультрастабильных лазеров через фемтосекундную гребенку частот» // Письма в ЖЭТФ. - 2021. - Т. 114, № 5. - С. 243-249

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области лазерной физики и атомной спектроскопии, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области метрологии, а также генерации и распространения сигналов точного времени и частоты.

Диссертация Кудеярова К.С. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию фазовых шумов, вносимых в высокостабильные сигналы частоты при передаче по оптоволоконным и атмосферным воздушным линиям связи, методов компенсации вносимых в сигнал искажений, а также экспериментальной реализации сличения частотной стабильности трех ультрастабильных лазеров с использованием оптоволоконных каналов передачи. Актуальность темы диссертации подтверждается быстрым развитием области высокостабильных оптических осцилляторов в России и мире, широким использованием сигналов оптических стандартов частоты как в фундаментальных исследованиях, таких, как поиск дрейфа фундаментальных констант и темной материи, так и в прикладных задачах, например, в спутниковой навигации и геодезии.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Продемонстрировано, что поляризационно-поддерживающий оптоволоконный лабораторный канал длиной 5 м вносит в сигнал оптической частоты относительную нестабильность на уровне 10^{-16} -

10^{-15} на временах усреднения 0.01-850 с. Создана система активной компенсации для подавления фазовых шумов до уровня, необходимого для передачи сигналов современных оптических часов с сохранением их характеристик.

2. Продемонстрировано, что активная компенсация фазовых шумов позволяет передать сигнал частоты ближнего инфракрасного диапазона по одномодовому оптоволоконному каналу длиной 2.85 км с относительной нестабильностью частоты, вносимой каналом, не более $2 \times 10^{-16}/\tau$ на временах усреднения $\tau=0.01-1000$ с, в том числе, в условиях воздействия на волокно искусственных механических возбуждений с частотами 5-90 Гц.
3. Продемонстрирована передача сигнала частоты телекоммуникационного диапазона по атмосферному каналу длиной 17 м с активной компенсацией фазовых шумов и флуктуаций направления пучка в течение 3 часов с относительной нестабильностью частоты, вносимой каналом, 1.7×10^{-19} на времени усреднения 1000 с.
4. Разработан и создан температурно-стабилизированный виброизолированный интерферометр для системы активной компенсации фазовых шумов, позволяющий снизить вклад собственных шумов системы передачи в нестабильность передаваемого сигнала до уровня менее, чем 10^{-19} , при временах усреднения больше 200 с.
5. Проведено сличение трех высокостабильных лазеров на длинах волн 1550 нм, 1140 нм и 871 нм с сети стабилизированных волоконных линий между лабораториями и фемтосекундного генератора оптических частот, определены стабильностные характеристики каждого из лазеров с погрешностью на уровне шестнадцатого знака.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Впервые проведено исследование работы системы активной компенсации шумов при передаче сигнала оптической частоты по оптоволоконной линии, подвергнутой воздействию искусственно возбуждаемых механических вибраций с частотами в диапазоне 5-90 Гц, а также показано подавление вносимых линией передачи фазовых шумов более чем на 55 дБ.

- Разработанная в ходе исследований конфигурация интерферометра для системы компенсации фазовых шумов позволяет снизить вклад шумов интерферометра в нестабильность передаваемого сигнала до 10^{-19} при времени усреднения более 200 с.

- Впервые продемонстрирована непрерывная передача фазы излучения непрерывного лазера по атмосферному каналу со структурной постоянной турбулентности более $5 \cdot 10^{-14}$ на протяжении более чем трех часов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что стабилизированные каналы передачи сигналов частоты являются необходимыми для характеристики и практического применения активно разрабатываемых оптических стандартов. Разработка системы передачи сигналов по атмосферным каналам позволит расширить круг возможных применений высокостабильных оптических осцилляторов за счет реализации сличения транспортируемых стандартов.

Полученные результаты могут быть применены такими организациями, как Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН), Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН) и др.

Достоверность результатов работы подтверждается использованием в ходе исследований поверенного измерительного оборудования, согласием данных, полученных в ходе различных экспериментов, и их воспроизводимостью. Справедливость ряда представленных в диссертации результатов подтверждается их согласием с данными, полученными другими авторами.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Кудеяровым К.С., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автором лично проведены измерения нестабильности, вносимой в сигнал оптической частоты при передаче по оптоволоконным линиям различной длины, собрана схема для исследования передачи при воздействии искусственно возбуждаемых механических возмущений на оптоволокно. Также Кудеяров К.С. лично разработал экспериментальную установку для исследования передачи сигналов по атмосферным каналам, включая систему стабилизации направления оптического пучка. Помимо этого, автор внес существенный вклад в создание сети стабилизированных волоконных каналов между лабораториями и проведение сличения трех ультрастабильных лазерных систем, заключающийся в подготовке лазерной системы на длине волны 1550 нм, подготовку и контроль работы активно-стабилизированных волоконных линий и узла измерения нестабильности. Обработка и анализ результатов всех проведенных измерений проводились лично автором.

В ходе защиты соискатель Кудеяров К.С. аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 2 октября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить К.С. Кудеярову учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по совершенствованию методов передачи сигналов оптической частоты по оптоволоконным и атмосферным каналам с сохранением их метрологических характеристик на уровне восемнадцатого знака.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человека, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 21,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор

Ионин Андрей Алексеевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

2 октября 2023 г.