

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 32.1.004.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ» ФЕДЕРАЛЬНОГО
АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И
МЕТРОЛОГИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20.11.2024, протокол №4

О присуждении **Парёхину Данилу Александровичу**, гражданину
Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей» по специальности «2.2.10 - Метрология и метрологическое обеспечение» принята к защите 18 сентября 2024 г. (протокол №3) диссертационным советом 32.1.004.01 на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), 141570, Россия, Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево, промзона ВНИИФТРИ, корпус 11, утвержденным Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №79/нк от 26.01.2022 г. и Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации о внесении изменений в составы диссертационных советов №859/нк от 12.07.2022 г.

В 2016 году соискатель Парёхин Данил Александрович, 1992 года рождения, окончил Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт) по направлению подготовки 140303 Физика кинетических явлений, (диплом о высшем

образовании 107704 0031773). После окончания МИФИ в 2016 году по настоящее время Парёхин Данил Александрович работает в ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ» в должности инженера. Диссертация на тему «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости» по специальности 2.2.10 - "Метрология и метрологическое обеспечение" выполнена в научно-исследовательском отделении Главного метрологического центра Государственной службы времени и частоты (НАО ГМЦ ГСВЧ) ФГУП «ВНИИФТРИ».

Научный руководитель - Пальчиков Виталий Геннадьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник НАО ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ».

Официальные оппоненты:

Сахаров Борис Александрович -- доктор технических наук, старший научный сотрудник, первый заместитель генерального директора - технический директор Акционерного общества «Время-Ч», г. Нижний Новгород;

Величанский Владимир Леонидович - кандидат физико-математических наук, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Троицкое обособленное подразделение, г. Троицк, Москва -

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» г. Москва, - в своем **положительном отзыве**, подписанном главным научным сотрудником учреждения д.т.н. Крутиковым Владимиром Николаевичем и ученым секретарем Анисимовой Ларисой Николаевной и утвержденном директором учреждения к.ф.-м.н. Филимоновым Иваном Сергеевичем, **указала, что:**

- в настоящее время в развитых в экономическом и военном отношении странах мира значительное внимание уделяется разработке малогабаритных стандартов частоты. Объём таких устройств не превышает нескольких десятков кубических сантиметров, а их характеристики сравнимы с характеристиками уже существующих стационарных цезиевых, водородных и рубидиевых стандартов частоты. Цель этих разработок - повышение эффективности спутниковых навигационных систем при существенных динамических и помеховых воздействиях, а также в условиях затенений и ухудшения видимости навигационных космических аппаратов. Малогабаритные стандарты частоты находят применение в инерциальных системах навигации (навигации без спутников), в системах связи, включая широкополосную связь с быстрым переключением несущей частоты и спектральным уплотнением каналов, в повышении помехозащищённости аппаратуры и создании устойчивых беспроводных каналов передачи данных; для синхронизации оборудования в высокоскоростных вычислительных сетях и т. д. В диссертации Парёхина Данила Александровича рассматривается **актуальная задача** улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик миниатюрных квантовых стандартов частоты (КСЧ), основанных на эффекте когерентного пленения населенностей (КПН) в парах рубидия; решению этой задачи, имеющей существенное значение для повышения эффективности отечественных спутниковых систем - задачи разработки и реализации новых методов стабилизации параметров квантового дискриминатора, как ключевого элемента квантовых стандартов частоты на основе эффекта КПН - посвящена диссертационная работа Парёхина Данила Александровича;

- **научная новизна** данной работы заключается в создании новых методов стабилизации параметров квантового дискриминатора КСЧ, основанного на эффекте когерентного пленения населенностей, позволивших существенно улучшить метрологические характеристики разрабатываемого стандарта частоты. Разработанные в диссертации методы и алгоритмы

стабилизации КПН-резонанса, настройки СВЧ-генератора, стабилизации и калибровки длины волны лазерного излучения позволили для кратковременной (на интервале 1 с) и долговременной (на интервале 1 сутки) нестабильности частоты получить результаты на уровне передовых лабораторий мира. Кроме того, **впервые в России** создан КСЧ КПН с нестабильностью частоты менее 5×10^{-13} на интервале времени 1000 секунд при энергопотреблении менее 300 мВт. Разработана уникальная программа для системы управления КСЧ КПН;

- **практическая значимость** результатов работы в первую очередь связана с возможностью их применения для серийного выпуска в ФГУП «ВНИИФТРИ» изделия КСЧ КПН. Полученные результаты также используются при выполнении соответствующих НИОКР ФГУП «ВНИИФТРИ», что способствует развитию отечественных измерительных технологий времени и частоты и подтверждает практическую значимость результатов диссертационного исследования;

достоверность полученных авторов результатов подтверждается хорошей сопоставимостью с результатами аналогичных или альтернативных исследований в ведущих лабораториях России и в зарубежных исследовательских центрах. Основные результаты диссертации докладывались на международных конференциях и опубликованы в отечественных и зарубежных журналах. Все измерения проводились на сертифицированном оборудовании.

Оценивая диссертационную работу соискателя в целом, ведущая организация также указала, что:

- результаты диссертации обладают научной новизной, практической значимостью, прошли апробацию, в достаточной степени представлены в научных трудах автора;

- результаты диссертационных исследований имеют перспективу использования в ведущих НИИ и организациях Российской Федерации;

- тема диссертации актуальна, диссертация Парёхина Д.А. «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.13 г, а ее автор Парёхин Данил Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 - Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки).

В отзыве ведущей организации имеются также замечания:

1. Во Введении диссертации автору следовало бы дать чёткое определение некоторых терминов, например, «квантовый дискриминатор частоты» и «когерентное пленение», поскольку возникает ряд вопросов, связанных, в частности, с отсутствием данных терминов в защищаемых положениях и в устоявшейся метрологической литературе, хотя и в названии диссертации, и в формулировке цели диссертации они присутствуют.

2. В качестве дополнения к функциональной схеме квантового стандарта частоты на основе КПН-эффекта (Рисунки 3 и 9 диссертации), следовало бы привести более подробную оптическую схему квантового дискриминатора с кратким описанием назначения и характеристик её компонент (фокусирующая линза, поляризационная пластина, ослабляющие фильтры и т.д.).

3. В диссертации в автореферате не проведен сопоставительный анализ метрологических характеристик лучших зарубежных стандартов частоты на КПН-эффекте с результатами данной диссертационной работы, хотя ссылки на зарубежные работы в ней имеются.

4. В 4-й главе диссертации отсутствует бюджет неопределенностей для частоты выходного сигнала для стандарта частоты на КПН-эффекте.

Сделанные замечания носят, скорее, рекомендательный характер и не затрагивают основные положения диссертационной работы, а также общую положительную оценку диссертации.

Соискатель имеет 24 научные работы, в том числе 14 - по теме диссертации, опубликовано из них: 7 - в изданиях, включенных в текущий перечень рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, 5 - в журналах, входящих в ядро РИНЦ, 2 патента на полезную модель и 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. В совместных работах вклад автора является определяющим. Основные результаты и положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в опубликованных работах.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем учёной степени, не содержатся заимствованные материалы без ссылок на авторов, а также результаты научных работ, выполненных соискателем в соавторстве без ссылки на соавторов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Блинов И.Ю., Пальчиков В.Г., Самохвалов Ю.С., Парёхин Д.А., Скворцов М.Н., Игнатович С.М., Вишняков В.И., Квашнин Н.Л., Месензова И.С., Бражников Д.В., Васильев В.А., Тайченачев А.В., Юдин В.И., Багаев С.Н., Миниатюрный квантовый стандарт частоты на основе явления когерентного пленения населённостей в парах атомов ^{87}Rb // Квантовая электроника, 2020, 50 (6), 576-580.

2. Пальчиков В.Г., Самохвалов Ю.С., Парёхин Д.А., Сверхминиатюрный атомный стандарт частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей // Радиотехника, 2022, 86 (12), 152-154.

3. Гайслер В.А., Дерезев И.А., Гайслер А.В., Дмитриев Д.В., Бакаров А.К., Торопов А.И., Качанова М.М., Живодков Ю.А., Латышев А.В., Скворцов М.Н., Игнатович С.М., Вишняков В.И., Квашнин Н.Л., Месензова И.С., Тайченачев А.В., Багаев С.Н., Блинов И.Ю., Пальчиков В.Г.,

Самохвалов Ю.С., Парёхин Д.А., Лазеры с вертикальным резонатором для миниатюрных квантовых стандартов частоты // Автометрия, 2021.57 (5), 4-10.

4. Парёхин Д.А., Алгоритмы управления в квантовых стандартах частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости. // Измерительная техника, 2021. 64 (1), 28-33.

5. Парёхин Д.А., Термокомпенсация в квантовых стандартах частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости // Измерительная техника, 2021. 64 (6), 440-444.

6. Парёхин Д.А., Особенности сдвига частоты от эффекта Зеемана в квантовых стандартах частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости // Вестник метролога, 2021. № 2, 15-19.

7. Зотов Е.А., Парёхин Д.А., Исследование метрологических характеристик сверхминиатюрного квантового стандарта частоты // Альманах современной метрологии, 2020, 3 (23), 128-136.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от официальных оппонентов и специалистов 10 организаций, все отзывы положительные.

В положительном отзыве официального оппонента Сахарова Б.А. имеются следующие замечания (рекомендации):

1. В работе продемонстрировано использование магнитных экранов для снижения влияния внешних магнитных полей. Было бы полезно дополнить исследование количественной оценкой эффективности экранирования и чувствительности КСЧ к магнитным полям различного происхождения, в том числе к полю, создаваемому током нагревателя термостата ячейки.

2. В работе представлено исследование дрейфа частоты разработанного КСЧ КПН в течение месяца. Целесообразно расширить исследования дрейфа на большие интервалы времени (годы) для оценки его

характера в долговременной перспективе и разработки методов компенсации, что позволит повысить точность КСЧ при длительном применении.

Вывод официального оппонента Сахарова Б.А.:

Диссертация Парёхина Данила Александровича, на соискание ученой степени кандидата технических наук является актуальной, практически значимой и обладает существенной новизной, указанные недостатки не влияют на значимость и достоверность полученных соискателем научных результатов. Диссертация Д.А. Парёхина представляет собой завершённую научно-квалификационную работу.

Основные результаты диссертации опубликованы и докладывались на научно-технических семинарах и конференциях. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

Диссертационная работа соответствует специальности 2.2.10 - «Метрология и метрологическое обеспечение» и требованиям пункта 9 Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Парёхин Данил Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

В положительном отзыве официального оппонента

В.Л. Величанского имеются следующие замечания:

1. Отсутствует информация о спектре излучения диодного лазера в режиме СВЧ - модуляции. Исследование зависимости частоты КПН-резонанса от мощности СВЧ-поля без одновременного наблюдения спектра - недостаточно информативный метод.
2. Нет подробного описания характеристик использованного лазера. Не сформулированы требования к спектральным, шумовым и модуляционным характеристикам лазера.

3. Алгоритм выбора рабочих параметров по их экстремальным значениям описан только частично.

Перечисленные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы и носят рекомендательный характер. Д.А. Парёхин проделал большой объем инженерно-технической, технологической и исследовательской работы.

Результаты диссертационного исследования прошли необходимую апробацию, были представлены на конференциях и симпозиумах в России, а также на Международных конференциях, своевременно опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ.

Автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации. Результаты диссертационной работы Парёхина Данила Александровича **можно классифицировать как решение важной научной задачи** в области многофакторного анализа долговременной стабильности стандартов частоты на основе эффекта КПН и методов экспериментальной реализации исследований.

Общий вывод официального оппонента Величанского В.Л. по диссертационной работе: Диссертация Парёхина Данила Александровича «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей» является законченной научно-квалификационной работой. Представленная диссертация соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук («Положение о присуждении ученых степеней», утвержденное Постановлением Правительством РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор — Парёхин Данил Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 - Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки).

На автореферат поступили отзывы специалистов из 10 организаций, все отзывы положительные, 2 отзыва без замечаний, в 8 отзывах критических замечаний нет, вместе с замечаниями в отзывах имеются вопросы и рекомендации:

1. от **П.В. Борисюка** - д.ф.-м.н., доцента, зав. кафедрой «Физико-технические проблемы метрологии» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» с замечаниями:

- в КСЧ КПН применяется лазер с вертикальным резонатором, деградация которого может влиять на точность и стабильность частоты КСЧ КПН. Было бы полезно провести дополнительные исследования, чтобы количественно оценить влияние деградации лазера на метрологические характеристики КСЧ КПН;

- отсутствует сравнительный анализ характеристик разработанного малогабаритного стандарта частоты с аналогами.

2. от специалистов **ФГБУ «Главный научный метрологический центр Минобороны России** (г. Мытищи, Московская обл.): начальника отдела **С.Г. Серко**, начальника лаборатории **А.В. Васильева** и ведущего научного сотрудника **к.т.н. Д.А. Окишева** с замечаниями:

2.1. не определен критерий минимальности влияния изменения значений тока инжекции лазера и выходной мощности СВЧ - генератора на резонанс КПН;

2.2. отсутствует сравнительный анализ КСЧ с разработанным методом стабилизации КПН - резонанса по отношению к существующим КСЧ;

2.3. отсутствует количественная оценка прикладной значимости улучшения нестабильности КСЧ, например, на погрешность определения координат навигационными приемниками;

2.4. в ссылке на рисунок 7 указано «результаты влияния температуры окружающей среды», а в подписи под рисунком 7 «температуры внутри корпуса».

**3. От А.А. Чугунова, к.т.^{н.}, ведущего научного сотрудника
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» (г. Москва):**

3.1. В автореферате недостаточно полно обосновано применение паров атомов рубидия в качестве рабочей среды квантового дискриминатора, между тем, из литературных источников хорошо известно, что атомы цезия вполне конкурентоспособны для реализации той же цели, однако стоимость изотопически чистого цезия-133 неизмеримо меньше стоимости изотопически чистого рубидия - 87.

3.2. В автореферате диссертации крайне фрагментарно описаны результаты влияния окружающей среды на метрологические характеристики КПН-стандарта, а результаты полевых испытаний стандарта не представлены в автореферате вообще.

**4. от Д.В. Барвинка, к.т.н. - главного метролога ПАО ОДК «Сатурн»
(г. Ярославль):**

4.1. по разделу «Актуальность темы»:

4.1.1. не закончено предложение: «Следует отметить, что активно развивающееся направление создание квантовых стандартов частоты (КСЧ), которые могут быть интегрированы в качестве опорных генераторов частоты в различные технические устройства и системы»;

4.1.2. не обосновано утверждение: «Наиболее перспективным вариантом малогабаритных высокостабильных КСЧ являются стандарты частоты, работающие на основе эффекта когерентного пленения населённости (КПН)»;

4.1.3. следует отметить, что достоверность результатов подтверждается не только применением аттестованных средств измерений, на что ссылается автор, но и использованием аттестованных методик выполнения измерений.

4.2. по разделу 2 «Описание работы» в главе 4 на странице 19 автореферата:

4.2.1. не содержится выводов об оценке и соответственно прогнозе (учете) влияния температуры внутри корпуса на действительное значение частоты; термин «температура окружающей» среды в данном случае целесообразно заменить на «температуру внутри корпуса»;

4.2.2. наименование рисунка 7 не является полным, т.к. не указано, о «сдвиге действительного значения» какого параметра идет речь; по всей видимости, утрачен термин «частота».

4.3. по разделу «Заключение»:

4.3.1. так как целью работы заявлено: «Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик стандарта частоты» (с. 6), представляется целесообразным наличие в данном разделе материалов, подтверждающих ее достижение;

4.3.2. сравнительный анализ метрологических характеристик в формате «до/после» и сравнительный анализ эксплуатационных характеристик, включая мощность и габаритные размеры.

5. От А.С. Корнева - д.ф.-м.н., доцента, профессора кафедры теоретической физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж):

существенных замечаний, снижающих или влияющих на общую высокую оценку результатов диссертационного исследования, представленных в автореферате, у автора отзыва нет.

6. От А.С. Толстикова - д.т.н., ведущего научного сотрудника ГСВЧ ЗСФ ФГУП «ВНИИФТРИ» (г. Новосибирск) - отзыв положительный, без замечаний

7. От О.Н. Прудникова - д.ф.-м.н., директора Института лазерной физики СО РАН (г. Новосибирск):

7.1. В автореферате в Таблице 2 приведены достаточно высокие метрологические характеристики для разработанного малогабаритного стандарта частоты. В тексте автореферата следовало бы отметить их зависимость (или независимость) от разброса характеристик для серийно

выпускаемых лазеров с вертикальным резонатором и ячеек с парами рубидия-87.

7.2. Почему значения СКДО, представленные в Таблице 2, ограничены интервалом времени измерений 1 ч, а не суточным интервалом?

8. **От С.А. Блохина** - к.ф.-м.н., зав лабораторией Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе РАН, (г. Санкт-Петербург):

8.1. В тексте автореферата широко используется аббревиатура КПН без объяснений сути эффекта КПН, в связи с чем в самом начале автореферата следовало бы привести его определение.

8.2. Из текста автореферата не ясно, какая именно конструкция газовой ячейки (дискриминатора) использовалась в опытном образце КСЧ КПН.

8.3. Поскольку результаты диссертации носят сугубо прикладной характер и уже используются в серийно выпускаемом стандарте-КПН на базе ФГУП «ВНИИФТРИ», то в тексте автореферата после Таблицы 2 следовало бы привести краткие результаты его испытаний (температурный диапазон эксплуатации, требования на вибростойкость и электромагнитную совместимость и т.д.).

9. **От А.С. Комшина** - д.т.н., доцента заведующий кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (г. Москва):

9.1. Ограниченная оценка нестабильности частоты при внешних воздействиях: было бы полезно дополнить работу исследованием стабильности КСЧ КПН при воздействии различных значений окружающей температуры, давления и магнитных полей. Это позволило бы более точно оценить эксплуатационные характеристики разрабатываемого прибора.

9.2. Отсутствует сравнительный анализ разработанного малогабаритного стандарта частоты с аналогичными зарубежными решениями, что позволило бы глубже оценить его конкурентоспособность.

9.3. Имеется ряд редакционных замечаний.

10. **От Д.А. Раднатарова** - к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника Отдела лазерной физики и инновационных технологий Новосибирского государственного университета (г. Новосибирск): - отзыв положительный, без замечаний.

В отзывах отмечена актуальность темы, высокую степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленной задачи, дана положительная оценка проведенных исследований.

В целом авторы всех отзывов заключают, что автореферат достаточно хорошо и полно освещает поставленные перед диссертантом задачи, методы их решения и достигнутые им результаты, представленная диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и соответствует всем требованиям ВАК, автор работы — С.А. Парёхин заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их известностью, компетентностью, авторитетом и наличием публикаций в научно-техническом направлении, к которому относится диссертация Парёхина С.В., а также способностью однозначно определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан метод стабилизации КПН - резонанса, основанный на изменении выходной мощности СВЧ - генератора и тока лазера, обеспечивающий воспроизводимость частоты выходного сигнала от включения к включению в пределах $\pm 4,0 \times 10^{-11}$ при времени выхода на рабочий режим менее 180 с.

2. Предложен и реализован метод настройки КСЧ КПН, основанный на определении экстремумов зависимостей частоты от интенсивности лазера, выходной мощности СВЧ - генератора и температуры ячейки,

обеспечивающий нестабильность частоты КСЧ КПН меньше $3,0 \times 10^{-11}$ на интервале времени измерения 1 с.

3. Разработан метод стабилизации длины волны лазера по линии поглощения рубидия, основанный на регулировании мощности нагрева лазера, обеспечивающий нестабильность частоты меньше $3,0 \times 10^{-12}$ на интервале времени измерения 100 с.

4. Разработан метод калибровки системы стабилизации длины волны лазера, основанный на измерении асимметрии пика поглощения в ячейке, обеспечивающий нестабильность частоты меньше $1,0 \times 10^{-12}$ на интервале времени измерения 1000 с.

Научная новизна полученных в работе результатов заключается в следующем:

1. Впервые в России создан квантовый стандарт частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости (КСЧ КПН) с нестабильностью частоты менее $5,0 \times 10^{-13}$ на интервале времени измерений 1000 секунд при энергопотреблении менее 300 мВт.

2. Разработаны методы и алгоритмы, позволяющие обеспечить воспроизводимость частоты от включения к включению КСЧ КПН в пределах $\pm 4,0 \times 10^{-11}$ при времени выхода на рабочий режим менее 180 секунд.

3. Впервые разработан метод стабилизации температуры поверхностно-излучающего лазера с вертикальным резонатором в квантовых стандартах частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости по сигналу детектирования пика поглощения в ячейке.

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

разработанные алгоритмы и методы КСЧ внедрены в метрологически значимое программное обеспечение КСЧ КПН в составе серийного выпускаемого изделия «Квантовый стандарт частоты МГФК.408484.026 НАП-КПН».

Результаты работы внедрены в ФГУП «ВНИИФТРИ», что подтверждено Актом об использовании результатов диссертационной работы при создании сверхминиатюрного квантового стандарта частоты для прецизионной аппаратуры потребителей системы ГЛОНАСС МГФК.408484.026 в рамках ОКР «НАП-КПН», а именно программы прошивки НАП-КПН МГФК.00641-01, разработанной автором лично и реализующей выносимые на защиту положения 1, 2, 3 и 4 диссертационной работы.

Достоверность результатов исследования подтверждается применением аттестованных высокоточных средств измерений утверждённого типа и аттестованных методик измерений, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях при проведении апробации разработанных алгоритмов и программного обеспечения. Проведён сопоставительный анализ метрологических характеристик, полученных в диссертации с опубликованными в литературе данными, полученными в результате применения других альтернативных подходов.

Личный вклад соискателя состоит:

- в участии в разработке квантового стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населенной,
- в его отладке и связанных с этим экспериментальных исследованиях, в частности, в исследовании влияния интенсивности излучения лазера, температуры ячейки с парами щелочного металла, мощности СВЧ - генератора на сдвиг частоты регистрируемого сверхтонкого перехода атома рубидия, наблюдаемого посредством эффекта КПН,
- в исследовании зависимости контраста КПН-резонанса от выходной мощности и девиации частоты СВЧ - генератора, а также от интенсивности излучения лазера,

- в исследовании влияния эффекта Зеемана на сдвиг частоты КПН-резонанса, обусловленное взаимодействием атомов ^{87}Rb с магнитными полями, создаваемыми катушками подмагничивания,

- в подготовке и проведении экспериментов, обработке их результатов, в разработке алгоритмов, методов и программного обеспечения для работы КСЧ КПН.

Диссертант принимал активное участие в проведении всего цикла испытаний КСЧ КПН, а также в наземных (транспорт) и лётных (вертолёт) испытаниях. Диссертант также выступал с докладами на различных международных и всероссийских научных конференциях.

В ходе защиты диссертации соискатель Парёхин Д.А. согласился с большинством замечаний и рекомендаций, изложенных ведущей организацией, оппонентами и в отзывах специалистов, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию по ряду замечаний.

На заседании 20 ноября 2024 г. диссертационный совет пришёл к выводу, что тема диссертации соответствует паспорту научной специальности «2.2.10 Метрология и метрологическое обеспечение» по направлению исследований 5: «Совершенствование системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры страны», а сама диссертационная работа Парёхина Д.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвящённую решению актуальной научной задачи в области квантовой метрологии - задачи разработки обеспечивающих работу стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости методов стабилизации параметров квантового дискриминатора - и полностью соответствующую критериям, которые установлены Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

За решение актуальной научной задачи - создание методов стабилизации параметров квантового дискриминатора, обеспечивающих работу стандарта частоты (на основе эффекта когерентного пленения населённости) с заданными метрологическими и эксплуатационными характеристиками, имеющее существенное значение для развития в стране квантовой метрологии, повышения точности измерений времени и частоты, а также для повышения эффективности отечественных спутниковых систем, Диссертационный совет 32.1.004.01 принял решение присудить Парёхину Данилу Александровичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **11** человек, из них **7** докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из **15** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - **11**, «против» - **нет**, недействительных бюллетеней - **нет**.

Председатель диссертационного совета

А.Н. Щипунов

Учёный секретарь диссертационного совета

М.В. Балаханов



20 ноября 2024 г.

М.П.