

**Акционерное общество
ВРЕМЯ-Ч**

(АО «Время-Ч»)

Ошарская ул., д. 67, Н. Новгород, 603105

тел./факс: (831) 421-02-94

e-mail: admin@vremya-ch.com

<http://www.vremya-ch.com>

Ученому секретарю
Диссертационного совета
32.1.004.01

к.ф.м.н. Балаханову М.В.

141570, п.о. Менделеево,

Солнечногорский р-он, Московская область,
промзона ФГУП ВНИИФТРИ, корпус 11

office@vniiftri.ru

balah@vniiftri.ru

10.10.24 № 1469

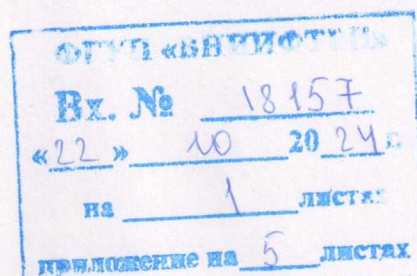
Уважаемый Михаил Валентинович!

Направляю Вам Отзыв официального оппонента, д.т.н. Сахарова Бориса Александровича, на диссертацию Парёхина Данила Александровича на тему: «Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение

С уважением

Генеральный директор

А.А. Беляев



ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н. Сахарова Бориса Александровича,
на диссертацию

Парёхина Данила Александровича

на тему:

«Методы стабилизации параметров квантового дискриминатора стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение

Актуальность работы

Диссертация Парёхина Д.А. посвящена актуальной теме решению вопросов разработки и исследованию методов, обеспечивающих новые (лучшие) метрологические характеристики квантового стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости в парах рубидия (КСЧ КПН).

Стандарты частоты, работающие на основе эффекта когерентного пленения населённости (КПН), являются относительно новым перспективным вариантом малогабаритных высокостабильных КСЧ.

Эффект КПН был теоретически предсказан и подтверждён экспериментально в 1976 году и послужил основной для создания в 1981 году КСЧ на парах Na, что привело к увеличению количества работ по исследованию эффекта КПН во всём мире.

Огромная программа по развитию технологии данного научного направления была предпринята в 1990-х–2000-х годах американским оборонным агентством новых исследовательских проектов DARPA по созданию уникальных атомных часов, уместающихся в объеме 1 см³, с потреблением 30 мВт и с долговременной стабильностью 10^{-11} за час.

Этой группе предприятий удалось создать самую маленькую в мире оптическую часть атомных часов, с объемом 9.5 мм³, с энергопотреблением 75 мВт и долговременной стабильностью 2.5×10^{-10} . На основе этих работ американская фирма Symmetricom начала выпускать стандарт частоты под названием ChipScale Atomic Clock, объемом 15 см³ и погрешностью по частоте $< 5 \cdot 10^{-11}$. Конструкция и схмотехнические решения прибора были засекречены и не публиковались.

В связи с этим научно-техническая задача создания отечественного готового к серийному производству стандарта частоты подобного типа с характеристиками, не уступающими лучшим зарубежным аналогам, является актуальной и востребованной

Объектом исследования являются квантовые стандарты частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости в парах атома рубидия.

Цель работы: улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения

населённостей на основе новых методов стабилизации параметров квантового дискриминатора частоты.

Предмет исследования: процессы и физические явления в квантовом дискриминаторе, влияющие на метрологические и эксплуатационные характеристики КСЧ на основе эффекта когерентного пленения населённостей.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, указаны цели и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, обозначена практическая значимость и личный вклад автора.

В первой главе рассмотрены основные типы малогабаритных источников опорной частоты, применяемые в современных электронных устройствах, приведён анализ литературы по исследованиям эффекта когерентного пленения населённостей и применению его в квантовых стандартах частоты, перечислены основные составные части прибора с указанием их функционального назначения и определена структурная схема работы КСЧ КПН

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям влияния параметров отдельных узлов КСЧ КПН на действительное значение частоты, предложен критерий для уменьшения их влияния. Приведены результаты исследований влияния параметров на действительное значение и нестабильность частоты КСЧ КПН при изменении режимов работы составных частей КСЧ КПН. Разработан новый метод стабилизации КПН - резонанса, основанный на результатах исследования работы КСЧ КПН, обеспечивающий воспроизводимость частоты от включения к включению в пределах $\pm 4,0 \times 10^{-11}$

Третья глава диссертации посвящена методам стабилизации КПН - резонанса и обеспечению воспроизводимости действительного значения частоты КСЧ КПН. Рассмотрены два метода перестройки длины волны поверхностно-излучающего лазера с вертикальным резонатором, проведены детальные исследования каждого из методов. С учётом проведённого анализа предложен метод управления длиной волны лазера, в котором регулировка происходит температурой лазера, а пробная модуляция его током. Данный метод позволяет исключить погрешность измерений температуры лазера, связанную с местом размещения датчика температуры.

Приведены оригинальные результаты исследований влияния асимметрии оптического спектра лазера, вызванной паразитной амплитудной модуляцией интенсивности излучения лазера при пробной модуляции током лазера, на метрологические характеристики КСЧ. Показана необходимость введения поправки в систему стабилизации длины волны лазера по спектру поглощения

из-за асимметрии оптического спектра лазера, вызванной паразитной амплитудной модуляцией интенсивности излучения лазера при пробной модуляции током лазера.

В четвертой главе диссертации представлены результаты влияния температуры окружающей среды на действительное значение частоты, приведены результаты измерений метрологических характеристик разработанного опытного образца КСЧ КПН, описан метод его термокомпенсации.

Научная новизна выполненных в диссертации исследований состоит в следующем:

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.

Впервые разработан метод стабилизации частоты поверхностно-излучающего лазера с вертикальным резонатором в квантовых стандартах частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости путем подстройки температуры лазера по сигналу детектирования пика поглощения в ячейке Rb^{87} .

Практическая значимость

Впервые в России создан КСЧ КПН с нестабильностью частоты менее $5,0 \times 10^{-13}$ на интервале времени измерений 1000 секунд при энергопотреблении менее 300 мВт.

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».

Кроме того, разработанные автором методы используются при выполнении других НИОКР ФГУП «ВНИИФТРИ».

Личный вклад автора

Все экспериментальные результаты, диссертационной работы, получены автором лично, либо при решающем его участии. Автор принимал активное участие в разработке и исследовании КСЧ КПН и лично разработал алгоритмы, методы и программное обеспечение для работы КСЧ КПН, принимал участие в проведении всего цикла наземных (транспортных) и лётных (вертолёт) испытаниях.

Достоверность результатов работы

Достоверность результатов подтверждена при испытаниях разработанного прибора с применением аттестованных высокоточных средств измерений утверждённого типа, используемых в лаборатории ФГУП «ВНИИФТРИ», а

также при апробации и обсуждении разработанных алгоритмов и программного обеспечения.

Апробация работы

Материалы диссертации докладывались на Международных конференциях «Лазерные, плазменные исследования и технологии» ЛаПлаз (2019, 2020, 2021 НИЯУ МИФИ г. Москва), Европейский форум по частоте и времени IEEE EFTF-IFCS (2021), на научной практической конференции молодых учёных, аспирантов и специалистов «Метрология в XXI веке» (2020, 2021, п. Менделеево), на двух Всероссийских конференциях «Радиотехнические технологии в приборостроении» (Туапсе-2022, Белокуриха 2022). Материалы диссертации были представлены на конкурсе на соискание премии им. С.А. Христиановича по направлению «Исследование параметров времени и частоты», проводимой среди молодых учёных ФГУП «ВНИИФТРИ» в 2021 году.

Содержание работы опубликовано в рецензируемых журналах. Результаты диссертационного исследования содержатся в 14 публикациях, среди которых 7 публикаций входят в список рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК.

В ходе исследований по теме диссертации было получено два патента на полезную модель (RU197054U1 26.03.2020 и RU195880U1 07.02.2020) и два свидетельства о регистрации программы для ЭВМ (RU2019667330 23.12.2019 и RU2019667332 23.12.2019).

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

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 долгосрочной перспективе и разработки методов компенсации, что позволит повысить точность КСЧ при длительном применении.

Заключение

Однако, 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.

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.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

Официальный оппонент:

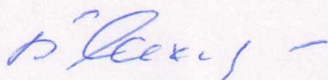
д.т.н. Борис Александрович Сахаров,

первый заместитель генерального директора – технический директор
Акционерного Общества «Время-Ч»,

Адрес: 603105, Нижегородская область, г. Нижний Новгород,
ул. Ошарская, 67

Тел. +7 (831) 421-02-94

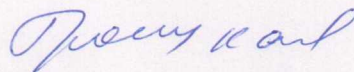
e-mail: sakharov@vremya-ch.com



/Борис Александрович Сахаров/

Подпись первого заместителя генерального директора – технического директора АО «Время-Ч», доктора технических наук Бориса Александровича Сахарова удостоверяю

Нач. отдела кадров



/В.В. Троицкая/

Дата 10.10.2024

