

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Петрова Александра Анатольевича «Методы улучшения точностных характеристик квантовых стандартов частоты», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

1. Актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнений. Работа посвящена разработке новых методов, направленных на улучшение точностных (метрологических) характеристик квантовых стандартов частоты (КСЧ), являющихся ключевыми компонентами в задачах обеспечения точности и стабильности временной информации. В настоящее время происходит интенсивное развитие КСЧ, обусловленное, как развитием и освоением новых технологий и материалов, так и стремительным повышением требований к системам, использующим эти приборы.

Прецизионные КСЧ являются продукцией стабильного спроса во всём мире. Они используются в фундаментальных научных исследованиях, инфраструктуре национальных и всемирных служб, отвечающих за вопросы геодезии, времени и частоты, параметров вращения Земли, гравиметрии и др., входят в состав наземного комплекса управления и функциональных дополнений, а также бортовых часов космических аппаратов навигационных и геодезических спутниковых систем, исследовательских космических аппаратов дистанционного зондирования дальнего космоса, выполняют функции первичных эталонных генераторов и вторичных задающих генераторов в цифровых телекоммуникационных системах.

Особую актуальность имеет задача создания на основе КСЧ систем и средств единого времени и синхронизации с улучшенными точностными характеристиками, реализующих требования перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники.

В диссертационной работе А.А. Петрова на основе проведенных им исследований предложены новые методы, которые позволили не только разработать новые системы, улучшить параметры отдельных составных частей КСЧ и найти оптимальные схемотехнические решения по модернизации конструкции КСЧ, но и также улучшить точностные характеристики КСЧ на атомах цезия-133 и рубидия-87.

2. Обоснованность и новизна научных результатов диссертационной работы.

В диссертационной работе А.А. Петров проводил комплексные исследования, которые сочетали в себе как проведение экспериментов, так и теоретические рассмотрения новых поставленных в исследовании задач. Такой подход к исследованиям позволил ему получить ряд новых существенных результатов, которые позволили разработать ряд новых методов, позволяющих улучшить метрологические характеристики квантовых стандартов частоты. Из наиболее значимых полученных новых результатов А.А. Петровым, я бы выделил следующие:

1. Разработана новая схема построения цифрового синтезатора частоты, позволяющая получать выходной сигнал с установкой менее десятитысячных долей герца. По сравнению с предыдущими схемами построения подавление боковых составляющих в спектре выходного сигнала синтезатора частоты улучшено на 28 дБ, диапазон получаемых частот выходного сигнала синтезатора частоты увеличен на два порядка (до 500 кГц);
2. Установлены основные факторы, оказывающие существенное влияние на чистоту спектральных характеристик выходного сигнала синтезатора частоты при использовании в нем метода прямого цифрового синтеза;
3. Использование новой схемы построения синтезатора частоты позволило улучшить температурную стабильность выходной частоты КСЧ. Температурный коэффициент частоты КСЧ улучшен в 4 раза;
4. Разработана математическая модель процесса синтеза выходной частоты синтезатора частоты, учитывающая особенности использования в нем метода прямого цифрового синтеза;
5. Разработана математическая модель для проверки разработанного программного обеспечения и имитации выходных сигналов синтезатора частоты, а также для оценки максимально достижимого уровня подавления боковых составляющих в спектре выходного сигнала синтезатора частоты;
6. Разработан принципиально новый метод автоматической стабилизации магнитного поля для цезиевых и рубидиевых атомных часов, позволяющий поддерживать на заданном уровне значение магнитного поля, исключая его дрейф. Его использование позволило улучшить одну из главных метрологических характеристик КСЧ на атомах цезия - суточную нестабильность частоты на 15 % по сравнению с ранее используемыми конструкциями КСЧ;
7. Разработан принципиально новый метод многопозиционной девиации работы кольца АПЧ в квантовом стандарте частоты на атомах рубидия-

87 для улучшения долговременной нестабильности частоты выходного сигнала КСЧ;

Достоверность и обоснованность полученных результатов, выводов и рекомендаций представленных в диссертационной работы подтверждается многочисленными научными публикациями в изданиях (SCOPUS, Web of Science, ВАК и т.д.). Обсуждения результатов диссертационной работы А.А. Петрова на международных и всероссийских конференциях, семинарах и научных школах.

3. Научная ценность и практическая значимость результатов диссертационной работы.

Научная ценность результатов диссертационной работы заключается в разработке новых, комплексных методов и систем по улучшению метрологических характеристик КСЧ.

Так, в совокупности разработанные методы и системы позволили улучшить характеристики выходного сигнала КСЧ, что позволяет проводить более точные измерения и исследования, направленные на установление фундаментальных ограничений по определению нестабильности частоты в течение определенных интервалов времени.

Кроме этого установлено влияние особенностей различных методов синтеза частот на выходные характеристики КСЧ, разработан новый метод подстройки магнитного поля в атомно-лучевой трубке КСЧ на атомах цезия-133 и система стабилизации магнитного поля на его основе, реализован алгоритм многопозиционной девиации работы кольца АПЧ в КСЧ на атомах рубидия-87.

Практической значимостью результатов диссертационной работы Петрова А.А. является то, что на их основе были изготовлены и внедрены новые функциональные узлы в конструкции квантовых стандартов частоты, которые в совокупности позволили улучшить одну из главных метрологических характеристик КСЧ – стабильность выходной частоты. На основе новых методов реализован новый цифровой синтезатор частоты, система стабилизации магнитного поля, а также реализован новый алгоритм многопозиционной девиации работы кольца автоматической подстройки КСЧ на атомах рубидия-87.

Кроме этого практическая значимость диссертационной работы заключается еще в том, что её результаты могут быть использованы для

разработки не только моделей КСЧ на атомах цезия – 133 и рубидия – 87, а также других типов КСЧ, основанных на иных физических принципах.

4. Структура диссертационной работы, публикации и апробация

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 120 наименований, трех приложений. Работа содержит 34 рисунка и 4 таблицы, полный объем диссертации с приложениями – 145 страниц.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях, конгрессах, симпозиумах и других научных встречах, всего было сделано 34 доклада. Основные результаты диссертационной работы изложены в 33 публикациях, из них 5 в научных журналах, рекомендованных ВАК, 14 в изданиях, индексируемых базами цитирования SCOPUS и Web of Science.

5. По рецензируемой диссертации можно сделать следующие замечания:

1) В названии диссертации и далее по тексту употреблено слово «точностные» характеристики, по сути являющее слэнгом, и не раскрывающим количественные оценки характеристик выходного сигнала КСЧ;

2) В тексте диссертации желательно представить сравнительный обзор по реализованным методам синтеза СВЧ-сигнала возбуждения и стабилизации магнитного поля в КСЧ на атомах цезия-133 и рубидия-87, которые выпускаются в США, Китае и Европейских странах;

3) В тексте диссертации представлены результаты проверки системы стабилизации магнитного поля только в течение 16 дней. Не ясно почему не представлены результаты работы данной системы за более длительный промежуток времени (миссия спутника длится более десяти лет).

6. Заключение по работе

Сделанные замечания не снижают значимость выносимых на защиту положений, а также не оказывают влияния на общую положительную оценку работы. Представленная к защите диссертационная работа, являющаяся законченным научным исследованием, содержит как оригинальные результаты, так и развитые известные прикладные методы и подходы.

Результаты, полученные в работе, и использованные методы решения поставленных задач, полностью соответствуют специальности: 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Автореферат и публикации А.А. Петрова отражают содержание диссертационной работы.

Диссертация А.А. Петрова полностью удовлетворяет требованиям и критериям п. 9 Положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней» (Утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (редакция от 28.08.2017)), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Петров Александр Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

д.ф.-м.н., профессор ф-ка «Фотоники»

федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский университет ИТМО»

Роздженецкий Юрий Владимирович

Адрес организации:
197101, Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., д. 49
телефон: +7 812 251-76-01
E-mail: rozd-yu@mail.ru



Роздженецкого Ю.В.
И.О. Подпись
УСПЕНСКАЯ О.В.