



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ
РАДИОНАВИГАЦИИ И ВРЕМЕНИ»
(АО «РИРВ»)

пр. Обуховской Обороны, д. 120, лит. ЕЦ,
Санкт-Петербург, 192012
Телефон (812)665-58-80,
Канцелярия: факс (812)665-58-88,
тел. (812)665-58-77

Эл. почта: office@rirt.ru, http://www.rirt.ru
ОКПО 07511962, ОГРН 1037843100052

ИНН/КПП 7825507108/781101001

10.06.2020 № 241431-5284

На № 02-15/3084 от 21.04.2020

Г Председателю диссертационного совета
Д 308.005.01 д.т.н., профессору

ФГУП «ВНИИФРТИ»
В.Н. Некрасову

Солнечногорский р-он, Московская обл,
п/о Менделеево 141570

Факс: (495) 944-52-68

Г Отзыв на диссертацию

Уважаемый Виталий Николаевич!

Направляю Вам отзыв на диссертацию Д.М. Федоровой на тему “Разработка волоконно-оптической системы передачи эталонных сигналов частоты с электронной компенсацией возмущений, вносимых волоконной линией, для сличений территориально удаленных эталонов”.

Приложение: Отзыв ... на 5 л. в 2 экз.

С уважением,
Врио Генеральный директор

А.Ю. Брагин

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор АО «РИРВ»,
кандидат экономических наук



Брагин
А.Ю. Брагин

_____ 2020 г.

М.П.

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу ФЕДОРОВОЙ Дарьи Михайловны
«Разработка волоконно-оптической системы передачи эталонных сигналов частоты с электронной компенсацией возмущений, вносимых волоконной линией, для сличений территориально удаленных эталонов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение»

Диссертационная работа Федоровой Дарьи Михайловны выполнена в ФГУП «ВНИИФТРИ» и посвящена решению задачи повышения точности передачи на расстояние до 200 км эталонных сигналов частоты и времени (ЭСЧВ).

Актуальность темы диссертации

Взаимная синхронизация шкал времени элементов глобальных навигационных спутниковых систем лежит в основе функционирования этих систем. Шкалы времени основных элементов системы поддерживаются квантовыми мерами частоты и времени, размещенными на значительном удалении друг от друга. Повышение точности взаимной синхронизации шкал времени достигается совершенствованием квантовых стандартов частоты и методов передачи ЭСЧВ.

Группа методов, основанных на использовании наземных волоконно-оптических линий, является наиболее перспективной для сличений эталонов частоты и времени, находящихся на расстоянии до нескольких сотен километров. В мировой практике получены впечатляющие результаты по точности сличений эталонов, однако очевидна необходимость дальнейшего совершенствования методов и устройств передачи ЭСЧВ, которые должны обеспечивать компенсацию возмущений, вносимых волоконно-оптической

линией. В связи с этим актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Представленная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность поставленной задачи, указаны цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, определен личный вклад автора.

В первой главе проведен анализ способов передачи эталонных сигналов частоты (ЭСЧ) помощью спутниковых и наземных каналов связи. Рассмотрены физические факторы, которые возмущают фазу передаваемого по волоконной оптической линии связи (ВОЛС) эталонного радиочастотного сигнала. Описана схема передачи ЭСЧ в коротких линиях без устройств компенсации. Проанализированы метеорологические данные для Московского региона, где будет располагаться разрабатываемая система передачи ЭСЧ по ВОЛС, показана необходимость создания системы передачи ЭСЧ с активной компенсацией возмущений, вносимых ВОЛС.

Во второй главе представлены методы компенсации возмущений фазы ЭСЧ, вносимых ВОЛС. Обоснованы требования к точности сличения по ВОЛС частот водородных хранителей трех эталонов, расположенных в Московском регионе на расстоянии до 200 км. Дано описание разработанной системы передачи ЭСЧ по ВОЛС с асимметричной электронной компенсацией. Разработана модель для расчёта вклада системы передачи по ВОЛС в суммарную неопределенность измерений при передаче размера единицы частоты. Представлены результаты измерений, проведенных в процессе испытаний системы передачи ЭСЧ по ВОЛС на расстояние 100 км. Показано, что точность компенсации может быть улучшена в несколько раз, если будет стабилизирована температура в местах размещения узлов и электронной аппаратуры, подключаемой к концам ВОЛС.

В главе 3 описаны эксперименты по передаче ЭСЧ при стабилизации температуры в местах размещения аппаратуры, входящей в систему передачи ЭСЧ. Результаты испытаний подтвердили, что погрешность передачи эталонного сигнала по 100 км линии не превышает $3 \cdot 10^{-17}$ на интервале времени измерений 1 сутки.

Глава 4 посвящена системе передачи ЭСЧ по ВОЛС с асимметричной электронной системой компенсации по линиям длиной более 100 км с использованием оптического двунаправленного EDFA усилителя. Представлен проект системы одновременного сличения по оптическому кабелю трех эталонов времени и частоты, расположенных в Московском регионе. Описана доработанная система передачи ЭСЧ по ВОЛС, которая

может быть использована для передачи ЭСЧВ по волоконной линии длиной до 400 км.

В заключении изложены основные результаты выполненной работы.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Автором получены следующие новые научные результаты, имеющие большое значение для совершенствования метрологического обеспечения системы ГЛОНАСС:

1. Впервые разработана система передачи ЭСЧ по ВОЛС с асимметричной электронной компенсацией, обеспечиваемой двумя петлями ФАПЧ. Одна из петель фильтрует шумы сигнала, проделавшего путь по линии туда и обратно, а вторая осуществляет компенсационную коррекцию фазы передаваемого эталонного сигнала.

2. Впервые реализована и исследована система передачи ЭСЧ по ВОЛС по схеме асимметричной компенсации, обеспечивающая передачу сигнала 100 МГц водородного хранителя первичного эталона ГЭТ 1-2018 на расстояние 200 км с неопределенностью $u_{C\text{ сп}}$, вносимой системой передачи размера единицы частоты, не превышающей $1 \cdot 10^{-16}$.

3. Впервые разработана система передачи ЭСЧ по ВОЛС на 400 км с асимметричной электронной компенсацией, в которой используются только лишь два оптических двунаправленных усилителя.

4. Получена оценка вклада системы передачи ЭСЧ по ВОЛС, построенной на основе асимметричной электронной компенсации, в суммарную стандартную неопределенность воспроизведения размера единицы частоты вторичным эталоном. Экспериментально подтверждено, что вклад системы передачи $u_{C\text{ сп}}$, при использовании волоконных линий длиной до 400 км не превышает $3 \cdot 10^{-16}$.

Диссертационная работа имеет прикладной характер. Практическая значимость полученных результатов

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в части создания действующего макета устройства передачи по волоконно-оптической линии эталонных радиочастот с электронной компенсацией возмущений, вносимых линией, а также в части создания системы передачи шкалы времени эталона ГЭТ 1-2018, входящей в комплекс метрологического обеспечения лазерной станции спутниковой дальнометрии.

Рекомендации по дальнейшему использованию результатов и выводов диссертационной работы

Полученные в работе результаты целесообразно применять для модернизации комплекса средств передачи ЭСЧВ первичного эталона ГЭТ 1-2018, при обеспечении сличения группы водородных хранителей первичного эталона ГЭТ 1 - 2018 и оптического репера частоты, находящихся в разных зданиях на территории ФГУП «ВНИИФТРИ». Результаты работы могут быть востребованы при разработке систем передачи эталонных сигналов по ВОЛС между первичным эталоном ГЭТ 1-2018 и Центральным Синхронизатором ГЛОНАСС, между вторичными и рабочими эталонами, принадлежащими Росстандарту, Минобороны России и другим организациям.

Замечания по работе

1. Из текста диссертации не понятно, каким образом решение частной научной задачи номер 5 (стр.14) по разработке системы передачи ЭСЧ на расстояние 400 км способствует решению основной научной задачи.
2. В таблице 1 даны результаты оценки требований к точности сличения стандартов частоты различных типов. Не вполне ясно, почему для сличения эталонов частоты на классическом рубидиевом стандарте требуется система сличений с 10-кратным запасом по точности, на водородных генераторах – с трехкратным, а на рубидиевых стандартах на холодных атомах – с двукратным.
3. Результаты экспериментальной оценки СКДО частоты сигнала на конце ВОЛС (рис. 35, 40, 48) не содержат сведений о доверительных интервалах полученных оценок, что не позволяет оценить корректность выводов к соответствующим главам в части предельной величины погрешности СКДО измерений частоты, вносимой системой.
4. Диссертация оформлена с отклонениями от требований п. 5.3.1, 5.3.7 ГОСТ Р 7.0.11-2011 (отсутствует пункт «методы исследования», форматирование текста), п. 4.3.1 и 4.4.1 ГОСТ 2.105-95 (форматирование подписей к иллюстрациям и таблицам), оформление Библиографии не соответствует ГОСТ 7.1, сам раздел содержит ряд ошибок в названиях источников (например, работы [7, 10, 15, 48]) и выходных данных (например, работы [17, 19, 20, 27, 28, 29, 35]).

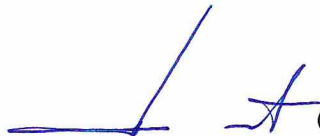
Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы. Выводы, рекомендации и вынесенные на защиту основные положения достаточно обоснованы. Диссертация изложена логично и последовательно, содержит подробное описание экспериментальных результатов. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает ее основные положения.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Заключение

Диссертация обладает внутренним единством, представляет собой законченную научную квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи, имеющей теоретическое и прикладное значение. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Федорова Дарья Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Работа, автореферат и отзыв на нее рассмотрены и одобрены 08.06.2020 на секции «Секция стабилизации и синхронизации частоты и времени» научно-технического совета АО «РИРВ».

Генеральный конструктор, д.т.н.  С.Б. Писарев

Начальник отдела, к.ф.-м.н.  И.А. Кравцов

Начальник лаборатории, к.т.н.  А.Ю. Феокистов