



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
г. Мытищи, Московская обл., 141006

«13» 05 2020 г. № 23/1702

Председателю диссертационного совета  
Д 308.005.01  
при ФГУП «ВНИИФТРИ»  
В.Н.НЕКРАСОВУ

п/о Менделеево, Солнечногорский р-н,  
Московская обл., 141570

Высылаю отзыв на диссертационную работу Федоровой Дарьи Михайловны выполненную на тему: «Разработка волоконно-оптической системы передачи эталонных сигналов частоты с электронной компенсацией возмущений, вносимых волоконной линией, для сличения территориально удаленных эталонов».

Приложение: Отзыв..., в 3 экз., на 4 л. каждый, экз. № 1,2 – адресату,  
экз. № 3 – в дело.

Врид начальника Главного центра

Т. Мамлеев

УТВЕРЖДАЮ  
Врид начальника  
ФГБУ «СРМЦ» Минобороны России



Т. Мамлеев

« 13 » мая 2020 г.

### Отзыв

на диссертационную работу ФЕДОРОВОЙ Дарьи Михайловны «Разработка волоконно-оптической системы передачи эталонных сигналов частоты с электронной компенсацией возмущений, вносимых волоконной линией, для сличения 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 научной задачи заключающейся в исследовании систем передачи эталонных радиочастотных сигналов на оптической несущей по волоконно-оптическим линиям связи длиной до 200 км с активной электронной компенсацией.

#### *Актуальность темы диссертации*

В настоящее время основные технологии сравнения шкал времени (ШВ) эталонов, рекомендованные Международным бюро мер и весов, основаны на использовании специализированных приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем или дуплексного метода передачи сигналов через геостационарный спутник. Кроме неоспоримых преимуществ, спутниковые методы имеют ряд существенных недостатков, основным из которых является то, что дальнейшее совершенствование этих методов очень дорогостоящий процесс. Минимальная достижимая погрешность спутниковых методов сравнения ШВ составляет порядка 1 нс, а относительная погрешность сравнения частот двух территориально – разнесённых эталонов на интервале времени измерения несколько суток – не ниже  $1 \cdot 10^{-15}$ .

Неопределенность измерений при сличениях территориально удаленных эталонов спутниковыми методами обусловлена не характеристиками применяемых в них квантовых стандартов частоты, а свойствами спутниковых СВЧ каналов связи и устанавливаемой на его концах аппаратуры, обеспечивающей передачу эталонных сигналов частоты и времени (ЭСЧВ). Поэтому крайне важны исследования и внедрение новых методов передачи ЭСЧВ, использующих иные каналы связи.

Таким образом, решаемая в работе научная задача разработки и

исследования систем передачи эталонных радиочастотных сигналов на оптической несущей по волоконным линиям длиной до 200 км с активной электронной компенсацией **является актуальной**, а результаты ее решения - своевременными и востребованными практикой.

Рассматриваемая диссертационная работа Федоровой Д.М. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введение обоснована актуальность поставленной задачи, указана цель и задачи диссертационного исследования, сформулированы основные положения выносимые на защиту, указана практическая значимость и внедрение полученных результатов, определен личный вклад автора.

В первой главе последовательно излагаются и исследуются способы решения задачи передачи эталонного сигнала частоты наземными и спутниковыми методами. Данные теоретические исследования является принципиально важными при решении задачи создания системы передачи эталонных радиочастотных сигналов на оптической несущей по волоконным линиям длиной до 200 км с вкладом в суммарную стандартную неопределенность измерений при сличениях частот территориально удаленных эталонов не более  $1 \cdot 10^{-16}$ .

Вторая глава посвящена методам компенсации вносимых каналом ВОЛС возмущений фазы передаваемого эталонного сигнала.

В третьей главе описаны эксперименты по передаче эталонных сигналов частоты при поддержании постоянства температуры в местах размещения аппаратуры, входящей в систему передачи.

Четвертая глава посвящена системе передачи эталонных сигналов частоты по ВОЛС с асимметричной электронной системой компенсации по линиям длиной более 100 км с использованием оптического двунаправленного EDFA усилителя.

В заключении диссертационной работы изложены основные результаты работы.

*Научная новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации*

Диссертационную работу отличает сочетание теоретической и прикладной направленности. Автором лично получены следующие выносимые на защиту **новые научные результаты**:

1. Метод передачи эталонных сигналов частоты по ВОЛС, использующий асимметричную электронную компенсацию, обеспечивает передачу по линиям длиной до 100 км частоты 100 МГц сигнала водородного хранителя первичного эталона ГЭТ 1-2018 с неопределенностью измерений, вносимой системой передачи единицы частоты, не превышающей  $1 \cdot 10^{-16}$ .

2. Выполнение технического требования по термостабилизации электронной аппаратуры на концах линии в пределах  $\pm 0,2$  °С обеспечивает передачу на расстояние до 100 км частоты 100 МГц сигнала водородного хранителя первичного эталона ГЭТ 1-2018 с неопределенностью измерений, вносимой системой передачи эталонных сигналов частоты по ВОЛС, не превышающей  $4 \cdot 10^{-17}$ .

3. Система асимметричной электронной компенсации при использовании одного промежуточного двунаправленного оптического усилителя обеспечивает передачу по 200 км линии сигнала 100 МГц водородного хранителя первичного эталона ГЭТ 1-2018 с неопределенностью измерений, вносимой системой передачи эталонных сигналов частоты по ВОЛС, не превышающей  $9 \cdot 10^{-17}$ .

**Научная новизна** полученных лично автором результатов заключается в том, что:

1. Впервые разработана система передачи ЭСЧ по ВОЛС с асимметричной электронной компенсацией, обеспечиваемой двумя петлями фазовой автоподстройки частоты. 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  $\alpha_{\text{ССП}}$ , вносимой системой передачи 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 два оптических двунаправленных усилителя. (Обычно при такой длине линии применяют от 4 до 6 оптических усилителей).

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

#### *Практическая значимость полученных результатов*

Разработанная система передачи эталонных радиочастотных сигналов на оптической несущей по волоконным линиям длиной до 200 км с активной электронной компенсацией обеспечивает вклад в суммарную стандартную неопределенность измерений при сличениях частот территориально удаленных эталонов не более  $1 \cdot 10^{-16}$ . Результаты выполненных исследований использовались при создании системы передачи ЭСЧ на территории НПО ВНИИФТРИ для сличений, входящих в состав ГЭТ 1-2018 водородных хранителей и стандартов частоты.

#### *Замечания по работе*

1. В анализе экспериментов метрологических центров по передаче ЭСЧ по ВОЛС, разработанных в различных зарубежных лабораториях, указаны погрешности меньше чем достигнутые автором, при этом не приведен сравнительный анализ данных результатов с результатами полученными автором.

2. В автореферате не раскрывается, почему автор выбрал именно метод активной электронной асимметричной компенсации возмущений фазы, вносимых каналом связи.

3. В работе не приведен диапазон температур, в которых может находиться аппаратура на концах ВОЛС, а только к погрешности ее поддержания.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы. Выводы, рекомендации и вынесенные на защиту основные положения достаточно обоснованы. Диссертация изложена логично и последовательно.

По теме диссертации опубликованы 9 работ, в том числе 4 – в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Диссертационная работа аккуратно оформлена, содержит подробное описание основных научных результатов. **Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение»** по которой она представлена к защите. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает ее основные положения.

#### *Заключение*

Диссертационная работа написана самостоятельно, обладает внутренним единством, представляет собой законченную научную квалификационную работу, содержащую новое решение актуальной научной задачи, имеющей теоретическое и прикладное значение. Выводы, рекомендации и выносимые на защиту основные положения достаточно обоснованы. По уровню решения важной научно-технической задачи и её практической значимости диссертационная работа удовлетворяет критериям «Положения о присуждении учетных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Федорова Дарья Михайловна, достойна присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции № 2 научно-технического совета ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, протокол № 10 от 12 мая 2020 года.

Начальник 23 отдела  
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России  
кандидат технических наук

Дрига Игорь Анатольевич

Начальник 232 лаборатории  
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Фокин Антон Павлович

Подписи Дриги И.А. и Фокина А.П. удостоверяю

Начальник отделения кадров и строевого

« » \_\_\_\_\_ 2020 г.



Л. Ставинская

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, 13), тел.: 8 (495) 583-99-23, эл. почта: 32gnii@mil.ru