

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Федоровой Дарьи Михайловны по теме «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».

Актуальность научно-технической задачи

Рецензируемая диссертационная работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям по сличению территориально разнесенных эталонов частоты через волоконно-оптическую систему передачи. Актуальность темы обусловлена необходимостью радикального повышения точностных характеристик сличений за счет электронной компенсаций возмущений, вносимых волоконной линией. Работа направлена на выполнение мероприятий, предусмотренных Программой развития системы ГЛОНАСС на 2012 – 2020 гг. и требованиями Федерального закона «Об исчислении времени» в части использования ВОЛС.

Существующие методы сличений (дифференциальный метод сличений с использованием сигналов ГЛОНАСС (метод «common-view») и метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты с использованием дуплексного канала космической связи) обеспечивают сравнение шкал времени с погрешностью в единицы наносекунд. Однако, из-за отсутствия альтернативных решений по доставке эталонных сигналов, возможные преднамеренные (spoofing, jamming) или непреднамеренные воздействия (физические или электромагнитные, включая чрезмерную активность Солнца) на такие системы могут привести к катастрофическим последствиям в части функционирования различных технологий, обороны и безопасности страны, неустойчивой работе сетей связи.

Актуальность научно-технической задачи, решаемой в диссертационной работе, безусловна, имеет существенное государственное значение и определяется:

- наличием потребности в улучшении эксплуатационных характеристик системы ГЛОНАСС путем создания наземного сегмента сличений государственных эталонов времени и частоты;

- созданием когерентных сетей связи общего пользования в соответствии с последними Рекомендациями МСЭ-Т.

Оценка содержания диссертации

Тема, цель, объект и предмет исследования, научные задачи диссертационного исследования сформулированы четко, правильно отражают содержание работы.

В диссертационной работе поставлена и решена актуальная научно-техническая задача: разработка и исследование систем передачи эталонных радиочастотных сигналов на оптической несущей по волоконным линиям длиной до 200 км и более с активной электронной компенсацией. Сделан вывод, что вклад таких систем в суммарную стандартную неопределенность измерений при сличениях частот территориально удаленных эталонов не должен превышать $1 \cdot 10^{-16}$, что не достижимо в известных методах.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 69 наименований, в которых последовательно доказываются положения, представленные к защите. Общий объем диссертации составляет 144 страницы, включая список цитированной литературы. Диссертация содержит 54 рисунка и 8 таблиц.

В качестве **первого научного положения** автор обосновывает, что метод передачи ЭСЧ 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 размера единицы частоты, не превышающей $1 \cdot 10^{-16}$.

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

В третьем **научном положении** утверждается, что 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 ЭСЧ по ВОЛС, не превышающей $9 \cdot 10^{-17}$.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы, как следует из списка научных трудов, достаточно полно апробированы на научно-практических конференциях и семинарах, опубликованы в научно-технических изданиях. В списке 9 наименований, среди них 4 публикации, входящие в список реферируемых журналов, рекомендованных ВАК. К сожалению, нет единоличных работ автора.

Достоверность основных выводов и результатов диссертации

Все основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно полно и убедительно обоснованы. Полученные в итоге работы результаты подтверждаются сравнительными результатами измерений с использованием аттестованных методик и сертифицированных измерительных средств, не противоречат общеизвестным.

Ценность для науки и практики проведенной соискателем работы

Полученные в диссертации новые научные и практические результаты позволяют перейти на более высокий уровень знаний в области сличения удаленных эталонов по ВОЛП, значительно повысить точность сличений. Вселяют уверенность в реализации когерентной сети связи общего пользования – основы сквозных цифровых технологий в соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т, например G.825 (2020 г.), в совершенствовании метрологического обеспечения технических средств Единой системы координатно-временного и навигационного обеспечения Российской Федерации, в существенном улучшении тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС» и других применений.

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

Автореферат в достаточной степени отражает основное содержание диссертации.

В качестве замечаний по диссертации необходимо отметить:

1. Отсутствует оценка выбора оптических несущих в прямом и обратном направлениях, а также возможной асимметрии соответствующих задержек. На стр. 6, абзац 2 автореферата отмечается, что принципы построения систем передачи и применяемые методы компенсации зависят от того, в каком диапазоне частот находится передаваемый сигнал. Пояснения нет.

2. Нет обоснования требований к динамическим характеристикам систем ФАПЧ, определяющим условия прокладки кабеля – допустимый диапазон и скорость температурных изменений. Автор ограничилась только указанием полосы пропускания в цепи обратной связи ФАПЧ и соответствующим утверждением в таблице 2 – «Неограниченный диапазон коррекции фазы ЭСЧ с большим быстродействием».

3. Следовало бы пояснить выбор номинала частоты модуляции 100 МГц. Почему, например, не 10 МГц или 1000 МГц?

4. Хотелось бы знать мнение автора о применимости в реализации цели, поставленной в работе, протокола RTPv3 или протокола SIRF с высокой разрешающей способностью, подобной разрешающей способности используемого при измерениях и аттестации компаратора. Эти протоколы, как известно, обеспечивают сличение не только частот, но и шкал времени. Из работы не ясно как это вопрос будет решаться непосредственно на сличаемом в точке В эталоне частоты.

5. Хотелось бы также знать мнение автора о применимости сличения на одной несущей для определения круговой задержки в волокне с использованием временного разделения передачи и приема.

6. Строго говоря, употребление в тексте работы понятия «сличение» не всегда является корректным. На самом деле речь идет о высокоточной передаче номинала частоты из точки А в точку В с последующим сличением у потребителя. Сличение производится компаратором по соответствующей методике. В названии работы использовано корректно и правильно.

7. В п.1 раздела «Научная новизна» ... а вторая осуществляет компенсационную (корректнее было бы предкомпенсационную) коррекцию фазы, передаваемого эталонного сигнала. Компенсация происходит непосредственно в волокне.

Заключение

В целом диссертация Федоровой Д. М. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Представляет собой серьезное обобщение, содержит ряд новых научных и практических результатов. В работе решена важная **научная задача**:

- впервые разработана система передачи ЭСЧ по ВОЛС с асимметричной электронной компенсацией, обеспечиваемой двумя петлями ФАПЧ;
- впервые реализованы и исследованы системы передачи ЭСЧ по

ВОЛС по схеме асимметричной компенсации, обеспечивающие передачу сигнала 100 МГц водородного хранителя первичного эталона ГЭТ 1-2018 на расстояния 100, 200 и 400 км с неопределенностями, вносимыми системой передачи размера единицы частоты, не более $4 \cdot 10^{-17}$, $1 \cdot 10^{-16}$, $3 \cdot 10^{-16}$, соответственно.

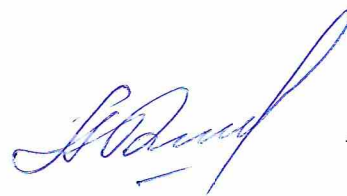
Эти результаты показывают, отношу к достоинствам работы, что дальнейшее снижение неопределенности, если потребуется, будет связано с уменьшением влияния аддитивного шума линии передачи, обусловленного, кроме температуры, рядом других факторов (дисперсия в волокне, шумы усилителей и т.п.), указанных на стр. 31 диссертации. Но это чисто технологическая задача соответствующих специалистов, не имеющая отношения к данной работе.

В итоге, диссертационная работа отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Федорова Д.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник научно-исследовательской части Московского технического университета связи и информатики
доктор технических наук, профессор

« 3 » июня 2020 г.



А.В. РЫЖКОВ

Подпись доктора технических наук, профессора Рыжкова А.В. заверяю
Ученый секретарь Диссертационного совета
Доктор технических наук



М.В. Терешонок