

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



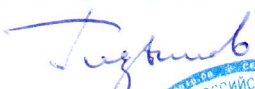
660041, РОССИЯ, Красноярск, проспект Свободный, 79
телефон (391)2-44-82-13, тел./факс (391)2-44-86-25
<http://www.sfu-kras.ru>, e-mail: office@sfu-kras.ru

_____ № _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет»


Михаил Иванович Гладышев
«29» _____ 2018 г.


ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Печерицы Дмитрия Станиславовича

«Метод калибровки навигационной аппаратуры потребителей

ГЛОНАСС с использованием эталонов, прослеживаемых

к государственным первичным эталонам единиц величин»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение

Актуальность темы исследований для науки и практики

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС является основой координатно-временного и навигационного обеспечения в Российской Федерации. Повсеместное использование технологий спутниковой навигации в жизни современного общества предъявляет повышенные требования к метрологическому обеспечению. При этом одним из важных направлений является обеспечение единства измерений приемной навигационной аппаратуры потребителей (НАП) системы ГЛОНАСС. Отличительная особенность системы ГЛОНАСС от зарубежных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), связанная с частотным разделением сигналов,

обуславливает наличие дополнительной аппаратурной погрешности измерений НАП. Навигационные сигналы системы ГЛОНАСС, передаваемые на литерях рабочих частот от минус 7 до 6, имеют различные временные задержки при распространении в частотно-зависимых элементах приемного тракта НАП, при этом дополнительная погрешность измерений может достигать единиц метров. С учетом перспектив развития системы ГЛОНАСС, связанных с обеспечением субметровой точности определения местоположения потребителей, требуется уменьшать влияние аппаратурной погрешности измерений НАП. Автором предложено использование для этой цели калибровки НАП. Таким образом, тема диссертационной работы, а также решаемая научная задача, заключающаяся в разработке и исследовании методов и средств измерений для определения инструментальной погрешности измерения текущих навигационных параметров НАП, являются актуальными.

Объектом исследований в диссертации являются эталоны и средства измерений, обеспечивающие калибровку НАП системы ГЛОНАСС. Методы измерений для определения инструментальной погрешности измерения текущих навигационных параметров НАП системы ГЛОНАСС являются предметом исследований.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 97 наименований. Текст работы изложен на 123 листах, включает 29 рисунков и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы и решаемая научная задача, представлены частные научные задачи и положения, выносимые на защиту, а также сведения о практической значимости и апробации полученных результатов исследований. Исходя из перспектив развития системы ГЛОНАСС автором сделан вывод о необходимости уменьшения погрешности измерения текущих навигационных параметров (псевдодальности) НАП до значения не более 0,2 м.

В первой главе представлен анализ составляющих погрешности измерения первичных навигационных параметров и требований к этой погрешности измерения. Установлено, что основной причиной инструментальной погрешности измерений псевдодальности являются различные значения временных задержек навигационных сигналов в приемном тракте НАП. С учетом результатов анализа существующих методов и средств оценки инструментальной погрешности измерений псевдодальности НАП автором разработана схема передачи единицы времени от государственных первичных эталонов единиц величин к НАП при измерении задержки навигационного сигнала.

Предложен дифференциальный метод измерений с использованием «эталонного» комплекта НАП для решения задачи калибровки НАП в местах штатного размещения. Для калибровки «эталонного» комплекта НАП автор обосновывает разработку метода на основе использования полунатурного моделирования с помощью имитатора сигналов ГЛОНАСС. Для калибровки имитатора сигналов также требуется разработка соответствующего метода, при этом необходимо добиться суммарной стандартной неопределенности в части систематической погрешности формирования псевдодальности, не превышающей 0,03 м.

Во второй главе изложены результаты разработки метода калибровки имитатора сигналов ГЛОНАСС. В главе представлены основные принципы работы имитаторов сигналов ГНСС и существующие методы их калибровки.

Для достижения необходимой точности калибровки имитаторов сигналов автором предложено использовать аналого-цифровое преобразование на высокой частоте и демодуляцию сформированного навигационного сигнала с целью снижения влияния неравномерности группового времени запаздывания в радиочастотном тракте. В качестве аналого-цифрового преобразователя использовался высокочастотный цифровой запоминающий осциллограф с требуемыми для этой цели метрологическими характеристиками.

Как следует из представленных автором данных, разработанный метод калибровки может быть распространён на имитаторы сигналов зарубежных ГНСС, обеспечивает прослеживаемость результатов к государственным первичным эталонам единиц величин и позволяет достичь суммарной стандартной неопределённости в части систематической погрешности формирования псевдодальности не более 0,03 м.

В третьей главе изложены основные принципы работы НАП и применяемые в настоящее время методы ее калибровки в части систематической инструментальной погрешности измерения псевдодальности. В разработанном автором методе калибровки НАП предлагается оценка калибровочных поправок приёмно-измерительного устройства и калибровочных поправок антенно-фидерного устройства с последующим вычислением суммарных калибровочных поправок для комплекта НАП в целом. Метод также может быть использован для калибровки НАП по сигналам зарубежных ГНСС, обеспечивает прослеживаемость результатов к государственным первичным эталонам единиц величин и позволяет достичь суммарной стандартной неопределённости в части систематической погрешности измерения псевдодальности не более 0,06 м.

В четвёртой главе представлены результаты использования калибровочных поправок НАП при проведении сличений эталонов единиц времени и частоты, а также при определении координат местоположения по сигналам ГЛОНАСС. Результаты свидетельствуют, что использование калиброванных «эталонных» комплектов НАП позволяет осуществлять сличение эталонов единиц времени и частоты по сигналам ГЛОНАСС с погрешностью в пределах ± 1 нс. Также показано, что использование калибровочных поправок НАП при решении навигационной задачи позволяет снизить погрешность определения координат по сигналам ГЛОНАСС более чем на 30 %.

В заключении представлены основные полученные результаты, сделан вывод о достижении цели, поставленной в диссертационной работе.

Наиболее значимые научные результаты работы и научная новизна

Автором впервые:

1. Разработан метод калибровки имитатора навигационного сигнала ГЛОНАСС для обеспечения возможности использования его в качестве эталона для определения инструментальной погрешности измерения НАП. В отличие от применяемых в настоящее время методов калибровки используется многоканальное высокочастотное аналого-цифровое преобразование с последующей демодуляцией оцифрованного сигнала с целью выделения квадратурных составляющих и фильтрация. Метод и программное обеспечение, разработанные автором, обеспечивают точное определение перехода фронта навигационного сигнала через ноль, что впервые позволило достичь значения суммарной стандартной неопределенности калибровки не более 0,03 м и проводить калибровку по навигационному сигналу с обеими квадратурными составляющими.

2. Разработан метод калибровки НАП системы ГЛОНАСС на основе использования эталонов, прослеживаемых к государственным первичным эталонам единиц величин. В отличие от применяемых в настоящее время методов калибровки впервые обеспечивается оценка значений абсолютных калибровочных поправок НАП как временных задержек навигационных сигналов от фазового центра антенны до выхода секундной метки внутренней шкалы времени приемно-измерительного устройства с суммарной стандартной неопределённостью не более 0,06 м.

3. Проведены исследования влияния учета калибровочных поправок к измерениям псевдодалности НАП на метрологические характеристики канала сличений эталонов единиц времени и частоты. Впервые на конкретных образцах НАП установлено, что использование в алгоритме работы аппаратуры сличений калибровочных поправок, рассчитанных для каждой литейной частоты для частотных диапазонов L1 и L2, для сигналов с открытым и

санкционированным доступом, обеспечивает сравнение шкал времени эталонов по сигналам системы ГЛОНАСС с погрешностью в пределах ± 1 нс.

Практическая значимость проведенных исследований

Разработанные методы калибровки имитатора навигационных сигналов и НАП системы ГЛОНАСС использовались при создании исходного средства для обеспечения калибровки беззапросных измерительных средств системы ГЛОНАСС, а также НАП специальных потребителей, при калибровке аппаратуры частотно-временного назначения ТТС-4, принадлежащей Международному бюро мер и весов BIPM, при аттестации рабочих эталонов координат по ГОСТ Р 8.750-2011.

Автор диссертации лично:

- разработал методы калибровки имитатора навигационных сигналов и НАП системы ГЛОНАСС;
- провел экспериментальные работы по апробации разработанных методов, подготовил публикации по теме работы, участвовал в различных международных и всероссийских научных конференциях;
- разработал программный комплекс, обеспечивающий моделирование решения навигационной задачи НАП, и исследовал с помощью него влияние учёта калибровочных поправок на погрешность определения координат местоположения.

Все результаты, приведенные в диссертации, получены либо непосредственно автором, либо с его существенным участием.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Результаты и выводы диссертационной работы в дальнейшем могут быть использованы для калибровки имитаторов навигационных сигналов, а также НАП как изготовителями, так и пользователями. Кроме этого целесообразно применять метод калибровки имитатора сигналов ГЛОНАСС в методиках аттестации рабочих эталонов координат по ГОСТ Р 8.750-2011.

Недостатки и замечания

Вместе с тем, по диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. В первой главе (стр. 16 диссертации) дана слишком оптимистическая оценка степени компенсации ионосферной задержки многочастотным способом. (99.9% с остаточной погрешностью 0.1 м). Однако остаточная погрешность ионосферной компенсации определяется разностью задержек в различных частотных каналах аппаратуры и превышает ее в несколько раз.

2. В тексте диссертации (стр. 48) утверждается, что для снижения случайной погрешности систематической задержки должно использоваться несколько фронтов анализируемого сигнала. Однако не приводится обоснование, сколько фронтов достаточно для обеспечения требуемой точности и какова потенциальная точность измерения.

3. В тексте диссертации (стр. 48) упоминается систематическая погрешность имитатора, обусловленная дискретизацией дальномерного кода при формировании сигнала, однако не приводятся данные, какова величина этой погрешности и как она проявляется.

4. Измеряемым параметром при калибровке имитатора является разность фаз опорного и принятого сигналов. При этом используется режим с внешним опорным генератором, и опорный сигнал также формируется от этого опорного генератора. В результате, при правильной работе системы синхронизации, частоты входного и опорного сигналов должны совпадать с точностью до фазы. Однако в работе (стр. 50) приводится алгоритм оценки частоты имитатора по первой производной от полученной разности фаз.

Вместе с тем, отмеченные недостатки не снижают ценности диссертационной работы.

Заключение

Оценивая диссертационную работу Печерицы Дмитрия Станиславовича в целом, можно сделать следующее заключение:

- тема диссертации актуальна, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача;

- результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, в достаточной степени представлены в опубликованных научных трудах автора;

- автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание;

- использование результатов работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации;

- отмеченные замечания не снижают научную значимость диссертации и общую положительную оценку работы;

- диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор, Печерица Дмитрий Станиславович, достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Диссертационная работа Печерицы Д.С., автореферат и настоящий отзыв обсуждены и одобрены на заседании Научно-образовательной лаборатории «Системы навигации, управления и связи» СФУ 24 октября 2018 г. (Протокол № 17 от 24.10.2018г.).

Заведующий НОЛ «Системы навигации, управления и связи»

Канд. техн. наук, профессор



Вейсов Евгений Алексеевич

Старший научный сотрудник НОЛ «Системы навигации, управления и связи»

Д-р техн. наук, доцент



Фатеев Юрий Леонидович