



“УТВЕРЖДАЮ”

Зам. директора Института лазерной физики СО РАН,

 к.ф.-м.н. Денисов В.И.

“ 27 ” 01 2017 г.

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Ханыковой Екатерины Андреевны

«Разработка и исследование алгоритмов оценивания параметров нестабильности бортовых часов навигационных спутников ГЛОНАСС по данным траекторных измерений»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

Актуальность темы диссертации

Частотно-временные измерения составляют основу спутниковых навигационных технологий. Возрастающие требования к информативности и производительности этих технологий стимулируют выявление, анализ и учёт факторов, влияющих на параметры системы ГЛОНАСС, в том числе на точность формирования бортовых и наземных шкал времени.

Диссертационная работа Е. А. Ханыковой посвящена решению задачи оценивания параметров нестабильности бортовых часов навигационных спутников глобальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС).

Предметом диссертационных исследований автора является анализ причин, определяющих нестабильность характеристик бортовых часов, построенных на основе квантовых стандартов частоты (КСЧ), и разработка алгоритмов идентификации отклонений этих часов с помощью математических моделей.

Предложенные автором подходы и алгоритмы позволили оценивать погрешности уходов бортовых шкал времени и компенсировать их с помощью частотно-временных поправок, предоставляя потребителям навигационных услуг уточненные параметры нестабильности бортовых часов СРНС в целях повышения точности координатно-временных определений.

Всё это позволяет считать тему диссертационных исследований актуальной.

Наиболее значимые результаты диссертации

Особенностью подхода автора к решению поставленной задачи является использование в качестве исходных данных беззапросных траекторных фазовых и кодовых измерений, использование в качестве опорного стандарта частоты Государственного вторичного эталона ВЭТ 1-19, привлечение высокоточных эфемерид навигационных спутников СРНС и построение уточненных математических моделей нестабильности частоты КСЧ.

В **первой главе** диссертации автором излагаются основные теоретические положения о задаче оценивания шкал времени и частот бортовых часов по данным беззапросных траекторных кодовых и фазовых измерений, используемых математических моделях и мерах нестабильности часов, а также необходимости определения отклонений положений шкал времени бортовых часов в СРНС.

Во **второй главе** приведено описание параметрической идентификации нестабильности часов и прогнозирование уходов бортовых часов с помощью адекватных математических моделей нестабильности КСЧ. Заслуживает внимание разработанный в работе алгоритм оценивания текущих значений уходов бортовых часов по результатам беззапросных траекторных измерений с пунктов Государственной службы времени и частоты (п. Менделеево, г. Иркутск, г. Новосибирск). Результаты оценивания уходов бортовых шкал времени СРНС показали, что разработанный автором алгоритм хорошо осуществляет контроль качества частотно-временной информации для целей Государственной службы времени и частоты.

В **третьей главе** исследованы вопросы предварительной обработки траекторных измерений. Предложен адаптивный фильтр Калмана, обладающий робастностью и показавший целесообразность предварительной медианной фильтрации исходных данных перед применением линейного фильтра. Результаты обработки реальных сигналов показали уменьшение шумовой составляющей сигнала и исключение аномальных значений, что привело к повышению точности результатов оценивания уходов бортовых шкал времени навигационных спутников ГЛОНАСС. Был проведен анализ влияния многолучевости распространения навигационного сигнала и предложен способ удаления указанного фактора из результатов траекторных измерений.

К числу основных результатов третьей главы следует отнести разработанные алгоритмы формирования шкал групповых хранителей времени на основе измеренной разностей шкал времени и разностей частот хранителей, образующих группу.

В заключительной **четвертой главе** диссертации рассмотрены и исследованы вопросы параметрической идентификации нестабильности частоты бортовых часов по данным беззапросных траекторных измерений с применением уточненной математической модели. Автором предложена методика оценивания текущих параметров отклонения бортовых шкал времени и частот навигационных спутников от эталонных шкал по результатам траекторных фазовых измерений в частотных диапазонах ГЛОНАСС L1 и L2 в условиях применения вторичного эталона ВЭТ 1-19 с погрешностью менее 1 нс.

Особое внимание автором уделено практическим исследованиям влияния гравитационных и релятивистских эффектов на частоту перевозимого КСЧ. Перемещение водородного стандарта частоты на высоту в 830 м, что соответствует изменению уровня гравитационного потенциала $8432 \text{ м}^2/\text{с}^2$, привело к отклонению частоты $7,964 \cdot 10^{-14}$.

В качестве **новых научных результатов** соискателем выдвинуты следующие положения:

1. Теоретически обоснована необходимость построения и использования уточненной математической модели нестабильности частоты, включающей как параметры собственной нестабильности, так и учитывающей эффекты гравитационной и релятивистской природы, вызывающих отклонения частоты бортового стандарта.

2. Предложен алгоритм параметрической идентификации показаний бортовых часов на основе беззапросных траекторных фазовых и кодовых измерений, выполняемых в условиях применения эталона ВЭТ 1-19, с использованием уточненной математической модели.

Степень обоснованности научных положений

Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации обоснованы результатами теоретических и экспериментальных исследований. Полученные теоретические результаты хорошо согласуются с данными обработки натуральных измерений и с результатами модельных исследований. Достоверность результатов подтверждается компьютерным моделированием с использованием разработанного программного обеспечения, данными экспериментальных исследований и в сравнении с существующими решениями, публикациями в рецензируемых изданиях, апробацией на всероссийских и международных конференциях.

Выдвинутые автором положения представляют собой научно-обоснованные разработки в области глобальных радионавигационных спутниковых систем.

Ценность научных работ соискателя состоит в том, что в опубликованных работах отражены результаты научного исследования, создающие теоретические и методологические основы совершенствования алгоритмов оценивания параметров нестабильности бортовых часов спутников ГЛОНАСС по данным беззапросных кодовых и фазовых траекторных измерений. Разработанные в диссертационной работе алгоритмические подходы и методики оценивания параметров нестабильности часов навигационных спутников ГЛОНАСС используются в работе Государственной службы времени, частоты и определении параметров вращения Земли.

Практическая значимость диссертационной работы несомненна, так как её результаты получены при выполнении ОКР «Шкалы» и ОКР «Совмещение» в рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 гг.», а разработанные алгоритмы используются в штатной работе Государственной службы времени и частоты ФГУП «СНИИМ» (г. Новосибирск).

Материал диссертации изложен на достаточном научном уровне, представляет собой серьезную, аргументированную работу, выполненную на актуальную тему и содержащую важные теоретические и практические результаты.

По теме диссертации автором опубликовано 26 работ, из них 6 изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания:

1. Не ясно, как осуществлялось разрешение фазовой неоднозначности.
2. Каким образом разработанный алгоритм построения групповой шкалы времени применяется при оценивании параметров нестабильности бортовых часов (глава 3).

3. Общая математическая модель учитывает, кроме параметров нестабильности частоты, влияние релятивистских и температурных эффектов. Почему автор не рассматривает влияние температуры на частоту бортовых квантовых стандартов?

4. В работе есть повторы, а компоновка некоторых тематик разделена по разным главам, что затрудняет целостное восприятие работы.

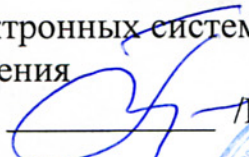
Однако сделанные замечания не являются принципиальными, носят технический характер и не влияют на общую высокую оценку работы.

Выводы

Диссертация Ханьковой Екатерины Андреевны на тему «Разработка и исследование алгоритмов оценивания параметров нестабильности бортовых часов навигационных спутников ГЛОНАСС по данным траекторных измерений» обобщает самостоятельные исследования автора и является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему. Диссертация соответствует пп. 5, 10, 11 *паспорта* специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация» и является научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты в области радионавигационных спутниковых технологий.

Считаю, что диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842) для ученой степени кандидата наук, а её автор Ханькова Екатерина Андреевна достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,
д-р техн. наук, старший научный сотрудник,
и. о. заведующего лабораторией лазерных электронных систем
Института лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук,

 /Б. Д. Борисов/

Подпись д-ра техн. наук Борисова Бориса Дмитриевича заверяю:




Адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. академика Лаврентьева, 13/3, Тел.: (383) 333-24-89, 330-61-10
Факс: (383) 333-24-89, 333-20-67 , e-mail: borisov@laser.nsc.ru
Веб-сайт: <http://www.laser.nsc.ru>