

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Ханьковой 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

Круг задач, решаемых с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), в том числе, отечественной системы ГЛОНАСС, постоянно расширяется. При этом неуклонно растут требования потребителей к точности и доступности координатно-временных определений по сигналам навигационных космических аппаратов (НКА) ГНСС. Выполнение этих требований достигается совершенствованием аппаратуры приема и измерения параметров навигационных сигналов, алгоритмов обработки результатов измерений на основе углубленного исследования факторов, влияющих на погрешность координатно-временных определений, а также привлечением дополнительной информации о состоянии орбитальных группировок НКА (например, технологии Precise Point Positioning – PPP).

Одним из факторов, существенным образом влияющих на погрешность координатно-временных определений, является нестабильность часов, находящихся на борту НКА. Для успешной компенсации погрешности, вносимой дрейфом бортовых часов необходимо привлекать расширенные математические модели нестабильностей часов, учитывающих дополнительно влияние факторов гравитационной и релятивистской природы.

Именно этим вопросам: исследованию нестабильности бортовых часов, разработке алгоритмов параметрической идентификации математических моделей нестабильностей, разработке алгоритмов текущего оценивания

уходов бортовых шкал времени и алгоритмов прогнозирования этих уходов посвящены исследования диссертации.

Необходимо отметить, что у автора имелась редкая возможность использования в качестве исходных данных для исследований результатов измерений параметров сигналов НКА, полученных в условиях синхронизации приемной аппаратуры от эталона времени и частоты, что обеспечивает отсутствие погрешности, обусловленной неконтролируемым отклонением опорной частоты аппаратуры от номинального значения.

Всё это делает тему диссертационных исследований Ханьковой Е. А. актуальной, а полученные результаты важными для применения в спутниковых навигационных технологиях.

Цель и задачи диссертационных исследований полностью соответствуют решаемой научно-практической задаче, заключающейся в повышении точности оценивания параметров нестабильности бортовых часов по результатам беззапросных дальномерных измерений.

Основной научный результат диссертационных исследований автора видится в решении задач выбора математических моделей нестабильности частоты бортовых часов, находящихся под воздействием гравитационных и релятивистских эффектов, а также построения алгоритма оценивания этих параметров по данным беззапросных измерений параметров сигналов НКА и исследование аналитическими и экспериментальными методами метрологических характеристик этих алгоритмов. Решение указанной задачи позволит обеспечить потребителей навигационных услуг точной и оперативной частотно-временной информацией для оценивания и построения прогнозных значений моментов шкал времени бортовых часов НКА ГНСС.

Наиболее значимые результаты диссертации

Первая глава посвящена принципам функционирования глобальных навигационных систем и особенностям получения частотно-временной информации из результатов псевдодальномерных измерений, выполненных радиотехническими средствами. Приведенный анализ факторов, порождающих нестабильность частоты бортовых часов, и обзор применяемых математических моделей обосновывает необходимость разработки более точной модели. При этом важным направлением исследований является рассмотрение параметров, как собственной

нестабильности часов, так и определение влияния гравитационных и релятивистских эффектов.

Проведен анализ факторов, влияющих на погрешность результатов беззапросных дальномерных измерений. Дано аналитическое описание способов компенсации этих факторов для задач синхронизации шкал времени пространственно-разнесенных часов, а также для сравнения частот.

Во **второй главе** приведен алгоритм параметрической идентификации нестабильности часов. Даны определения параметрам долговременной и кратковременной составляющим нестабильности частоты, а также параметрам, возникающим из-за неоднородности гравитационного поля Земли.

Также во второй главе представлены результаты оценивания уходов бортовых шкал времени относительно момента шкал времени государственного вторичного эталона времени ВЭТ 1-19 по данным беззапросных траекторных измерений, проведенных на базе Государственной службы времени и частоты.

В **третьей главе** исследованы вопросы предварительной обработки дальномерных измерений. Проведен анализ влияния многолучевости распространения навигационного сигнала на результаты беззапросных дальномерных измерений.

В **четвертой главе** диссертации рассмотрены и исследованы разработанные алгоритмы параметрической идентификации нестабильности частоты бортовых часов по данным беззапросных дальномерных измерений с применением уточненной математической модели. Предложенная автором методика оценивания текущих параметров отклонения бортовых шкал времени и частот навигационных спутников, обеспечивающая погрешность менее 1 нс, применялся в условиях работы со шкалой времени вторичного эталона ВЭТ 1-19. Указанный уровень погрешности был достигнут с использованием фазовых и кодовых беззапросных дальномерных измерений в частотных диапазонах L1 и L2.

Практическая реализация разработанного автором алгоритма проиллюстрирована результатами эксперимента по оцениванию частоты квантового стандарта частоты в разных уровнях гравитационного потенциала Земли.

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

Основное содержание диссертационной работы и ее результатов полностью отражено в 26 печатных работах, в том числе: 6 статей в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Министерства образования и науки РФ; 17 публикаций – в сборниках научных трудов и материалов Международных и Российских конференций.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания:

1. При обосновании актуальности темы диссертационного исследования следовало дать более подробный анализ современного состояния вопроса, проиллюстрировав его конкретными числовыми значениями достигнутых и требуемых значений погрешности представления шкал времени бортовых часов НКА.
2. Применение термина «ресивер» вместо «приемник» в тексте диссертации выглядит неоправданным.
3. При п. 1.4.2.3 при расчете изменения координат потребителя вследствие поворота Земли за время распространения сигнала от НКА до потребителя используется значение времени распространения, при этом не показано, как данное значение получается.
4. Для указанного в п. 1.4.2.6 метода компенсации влияния задержки сигнала в ионосфере не указаны значения остаточной погрешности после компенсации с учетом возможного различия задержки сигналов различных частотных диапазонов в приемной аппаратуре, а также флуктуационной составляющей, обусловленной шумами в составе входного сигнала.
5. Сформулированный в п.1.6 тезис об исчерпанности возможностей совершенствования аппаратуры спутниковых навигационных технологий чересчур категоричен. Совершенствование приемной аппаратуры ГНСС, методов обработки навигационных сигналов продолжается и преследует на современном этапе, в том числе, цели уменьшения погрешности за счет многолучевого распространения

сигналов, калибровки абсолютных значений и обеспечения стабильности задержки сигнала в аппаратуре, а также уменьшения погрешности «привязки» шкалы времени приемника к внешней шкале времени, например, к шкале квантовых стандартов частоты.

6. В п. 1.7.5 сделан вывод о перспективности использования метода Precise Point Positioning (PPP), однако в тексте 1 главы об особенностях использования данного метода для решения задач сравнения частот пространственно-разнесенных часов не говорится.
7. На диаграмме погрешности частотно-временных поправок (рис. 2.4) отмечаются значительные (десятки наносекунд) различия в значениях математического ожидания погрешности, полученных на различных наблюдательных пунктах, при этом данное обстоятельство никак не прокомментировано.
8. В п. 2.5.4 подчеркивается, что разработанный алгоритм оценивания уходов шкал времени бортовых часов позволяет рассчитать дополнительные частотно-временные поправки в режиме Ultra-rapid, однако в тексте диссертации об этом режиме ничего не сказано.
9. При указании на согласованность полученных автором результатов с данными, приведенными в бюллетенях Информационно-аналитического центра ГЛОНАСС, либо с результатами аналитических расчетов, следовало бы привести численные значения совпадения/расхождения указанных данных.
10. В тексте диссертации неоднократно делаются ссылки на опубликованные работы автора с указанием полученных в них результатов без сколько-нибудь подробного описания проведенных исследований и аргументации заявляемых тезисов.

Отмеченные замечания не затрагивают сути исследований и принципиально не влияют на результаты.

Выводы

Диссертация Ханыковой Екатерины Андреевны посвящена разработке и исследованию алгоритма оценивания параметров нестабильности бортовых часов, что соответствует п. 5, п. 10, п.11 специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация», имеет внутреннее единство и является завершенной 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 Ханыкова Екатерина Андреевна достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,
начальник сектора разработки перспективных
направлений навигационной техники
Акционерного общества «Научно-
производственное предприятие «Радиосвязь»,

кандидат технических наук

Гребенников
Андрей Владимирович

23.01.2017

660021, ул. Декабристов, 19,
г. Красноярск
Тел.: 8 (391) 221-22-78,
Факс: 8 (391) 221-62-56
e-mail: kniirs1@mail.kts.ru

Подпись Гребенникова А.В. заверяю:



Заместитель
генерального директора
АО «НПП «Радиосвязь»
В.Г. Коннов