

Отзыв

официального оппонента Фролова Владимира Леонтьевича на диссертационную работу Мыльниковой Анны Александровны «Восстановление абсолютного значения, пространственных градиентов и временной производной полного электронного содержания по данным GPS/ГЛОНАСС», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03- «Радиофизика»

Актуальность тематики диссертационной работы

Решение целого ряда прикладных задач радиосвязи, радиолокации, радионавигации и радиозондирования требует измерения с необходимой точностью параметров канала распространения радиоволн. При этом в случае ионосферного распространения радиоволн такой канал характеризуется значительной изменчивостью, связанной с большими сезонными, суточными и широтными вариациями его характеристик и их зависимостью от уровня геомагнитной активности. Это обуславливает необходимость непрерывного мониторинга ионосферы и коррекции значений параметров, используемых в ионосферных моделях. В последние десятилетия для этих целей стали широко использоваться глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Одна из задач, которая решается с их помощью, это определение полного электронного содержания (ПЭС) на трассе спутник-приемник. Эти данные используются для выполнения коррекции параметров ионосферы и расчета трасс распространения радиоволн различных диапазонов. Здесь по двухчастотным измерениям сравнительно легко вычисляются относительные вариации ПЭС, однако с абсолютным измерением ПЭС возникают определенные трудности, поскольку они требуют проведения фазовых измерений, точность которых зависит от систематических ошибок, связанных со временем прохождения сигналов различных частот в приеме-передающих трактах навигационных спутников и приемников. Данные ошибки в литературе известны как «дифференциальные кодовые задержки» (ДКЗ). Существенно, что их величина априорно неизвестна и может существенно отличаться для различных спутников и приемников даже в одной навигационной системе. Кроме того, для выполнения разного рода прогнозов необходимо знание пространственной структуры ионосферы и возможных временных вариаций ее параметров. В регионах с малым числом развернутых приемников это сводится к решению задач об определении пространственных градиентов ПЭС и его временной производной.

В диссертации Мыльниковой А.А. предложен новый метод оценки абсолютного значения ПЭС, имеющий лучшее на сегодня временное разрешение (до 10 мин), а также развитые на его основе методы определения величин ДКЗ, пространственных градиентов ПЭС и его временной производной.

Актуальность настоящей диссертационной работы и практическая важность решаемых в ней задач не вызывает сомнений.

Новизна исследований и научных результатов

В диссертационной работе впервые разработан метод, позволяющий по данным двухчастотных измерений отдельных станций приема сигналов GPS/ГЛОНАСС осуществлять с высоким временным разрешением (до 10 мин) расчет абсолютного вертикального ПЭС в области размером 20° по долготе и 10° по широте, а также ДКЗ приемников и спутников.

Впервые выявлены недостатки определения абсолютного ПЭС по данным ГЛОНАСС при использовании ДКЗ, которые получаются в результате расчетов на основе Глобальных Ионосферных Карт. Предложен альтернативный вариант решения этой проблемы на основе разработанного автором диссертации метода оценки ДКЗ.

На основе проведенного анализа имеющихся данных отмечена ограниченность во времени выполняемых калибровок приемников для получения абсолютного наклонного ПЭС и обоснована необходимость регулярного обновления данных о ДКЗ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений

Достоверность результатов, представленных в настоящей работе, обусловлена использованием физически обоснованных методов и подходов, а также физической адекватностью полученных результатов. Важно отметить, что проверка работоспособности предложенной модели осуществлялась на основе ее тестирования как с использованием современной международной справочной модели ионосферы IRI-2012, так и с привлечением независимых экспериментальных данных Глобальных Ионосферных Карт. Полученные с помощью разработанного метода результаты не противоречат результатам исследований, опубликованным в работах других авторов, а в ряде случаев они более адекватно отражают проходящие в ионосфере процессы.

Все основные результаты диссертационной работы Мыльниковой А.А. опубликованы в научных изданиях, отвечающих требованиям ВАК. Всего по результатам работы опубликованы 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций, кроме того имеется 6 иных публикаций. Мыльникова А.А. является автором свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ (по теме диссертации). Результаты работы докладывались и обсуждались на крупных международных и Российских конференциях.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из Введения, 4 глав основного материала и Заключения. Общий объем диссертации составляет 98 страниц, включая 5 таблиц и 36 рисунков; список цитируемой литературы содержит 71 ссылку.

Во Введении дана общая характеристика работы и обоснована ее актуальность, сформулированы цели диссертации и решаемые в ней задачи,

приведены основные положения, выносимые на защиту, отмечен личный вклад автора в полученные результаты, приведено краткое содержание диссертации.

В первой главе дан краткий обзор разных методов оценки величины абсолютного вертикального значения ПЭС и ДКЗ, определены имеющиеся здесь проблемы. Показано, что величины ДКЗ могут достаточно сильно меняться во времени и в зависимости от метеорологических условий.

Во второй главе приводится анализ длительных рядов ДКЗ в каналах спутников и приемников по данным публикуемым службой IGS. Показано, что пределы изменения погрешности определения ПЭС из-за ДКЗ составляют десятки TECU с годовым ее трендом до 10 TECU. Обосновывается необходимость регулярных оценок ДКЗ измерительных сетей и выполнения калибровки приемников.

В третьей главе приводится описание разработанной автором диссертационной работы методики оценки значения абсолютного вертикального ПЭС, его пространственных градиентов и временной производной, а также оценки величин ДКЗ. В ней детально описывается каждый этап разработанного метода, обосновывается выбор количества членов в разложении поля ПЭС в ряд Тейлора, выбор функции преобразования величины вертикального ПЭС в наклонное его значение. Приводится линейная система уравнений для определения абсолютного вертикального ПЭС, его линейных и квадратичных градиентов, первой и второй временной производной, а также ДКЗ. На основе разработанной методики создан программный комплекс.

В четвертой главе приведены результаты тестирования предложенной в главе 3 модели с использованием эмпирической модели IRI-2012. Получено хорошее количественное согласование восстановленных значений вертикального ПЭС, а также его пространственного градиента и временной производной. Вторая часть главы 4 посвящена сравнению результатов, полученных с помощью разработанной методики, с независимыми данными Глобальных Ионосферных Карт. Здесь также имеет место соответствие значений абсолютного вертикального ПЭС и его пространственных градиентов с результатами, публикуемыми другими лабораториями. Показано, что полученные с помощью разработанной методики значения ДКЗ для спутников системы ГЛОНАСС являются физически более достоверными по сравнению с данными, публикуемыми лабораторией CODE.

В Заключение сформулированы основные результаты, полученные при работе над диссертацией.

Следует отметить, что все представленные в диссертации результаты исследований достаточно подробно изложены и хорошо проиллюстрированы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Работа соответствует специальности 01.04.03 – Радиофизика.

По представленной Мыльниковой А.А. диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. К сожалению, в диссертационной работе автор ограничивается только анализом имеющейся информации об ионосферных параметрах. При этом для практического применения было бы полезно привести анализ соответствующих значений дополнительного набега фазы, смещения частоты, времени запаздывания КВ и УКВ радиосигналов в реальных каналах их распространения. Также, анализ рассматриваемых в диссертации задач был бы более полным и имел большее практическое значение, если в ней автор представил не только ошибки измерений ПЭС, но и привел обсуждение, какое влияние они оказывают на точность позиционирования, точность привязки по времени и др., а также дал анализ, в каких практических задачах имеющаяся сегодня точность измерения ПЭС достаточна, а в каких требуется ее улучшение.

2. Для разделения дифференциальных кодовых задержек спутников и приемника используется условие «нулевого среднего» (см. стр. 52). Поскольку оно не очевидно, в диссертации следовало бы привести его обоснование и границы применимости.

3. В главе 2 (см. стр. 29) по измерениям с GPS на основе высокой степени положительной корреляции ДКЗ с температурой окружающей приемник атмосферы делается вывод о влиянии изменения параметров окружающей среды на измерение ДКЗ через изменение характеристик приемника. При этом никак не комментируется тот факт, что такое влияние на измерения с помощью системы ГЛОНАСС значительно более слабое и имеет другой знак (см. рис. 2.4). Здесь необходимо было бы дать соответствующие разъяснения.

4. Поскольку сегодня отсутствуют методы абсолютного измерения значений ДКЗ, в диссертации следовало бы сформулировать критерии (признаки) сближения измеряемых величин ДКЗ с истинными их значениями.

5. В целях практического использования было бы весьма полезным провести тестирование разработанной методики на плотной сети приемных станций (например, японской), когда рассчитанные с помощью предложенной методики характеристики вариаций ПЭС по данным одной станции сравниваются с реально измеренными их значениями на всей сети станций.

Стоит отметить, что указанные замечания носят, в основном, рекомендательный характер и не снижают научную значимость полученных в диссертационной работе результатов.

В связи с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа Мыльниковой Анны Александровны «Восстановление абсолютного значения, пространственных градиентов и временной производной полного электронного содержания по данным GPS/ГЛОНАСС» удовлетворяет

