

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и  
исследовательской деятельности  
Южного федерального университета,  
доктор химических наук, доцент  
А.В. Метелица

« 16 » января 2018 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Южный федеральный университет»  
о диссертационной работе Конецкой Елены Викторовны  
«Эффекты магнитного поля Земли в измерениях глобальных навигационных  
спутниковых систем», представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.03 - радиофизика

**Актуальность темы исследования.** Работа посвящена важной проблеме – повышению точности местоопределения с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). В основу исследований положен фазоразностный метод, позволяющий обеспечить высокую точность измерений.

На рабочих частотах ГНСС магнитное поле Земли влияет на поляризацию волн и показатель преломления ионосферной плазмы (эффект анизотропии). Кроме того, вытянутость ионосферных неоднородностей (анизомерия) вдоль силовых линий магнитного поля приводит к ракурсному рассеянию сигналов. Влияние анизотропии на показатель преломления в большинстве ГНСС измерениях не учитывается и соответствующую остаточную ошибку прецизионных измерений приходится устранять дополнительно при постобработке измерений. Эффекты анизотропии являются следующими по порядку малости после эффектов анизотропии и также не принимаются во внимание при анализе измерений ГНСС. Однако в прецизионных измерениях при оценке вклада случайных магнитоориентированных неоднородностями в ошибку измерений необходимо учитывать ракурсный характер рассеяния сигнала на таких неоднородностях, т.е. зависимость флуктуаций фазы от ориентации трассы «спутник-приемник» относительно геомагнитного поля. Поэтому

комплексное исследование влияния магнитного поля Земли на качество работы глобальных навигационных спутниковых систем, а именно, на точность местоопределения и условия возникновения сбоев сопровождения фазы сигналов ГНСС, безусловно, *является актуальным как в практическом, так и в теоретическом плане.*

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 112 наименований, подписей к 29 рисункам, одного приложения. Общий объем работы 113 стр.

**Во введении** изложены рассуждения, подтверждающие актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научные положения, выносимые на защиту, а также информация о личном вкладе автора, объектах, предмете и методах исследования, степени достоверности работы и апробации научных результатов.

**В первой главе** описываются ошибки ГНСС измерений и причины их возникновения. Приведены типичные значения для каждой группы ошибок, кратко перечислены методики устранения ошибок, имеющих не связанное с ионосферой происхождение. Наряду с этим, довольно подробно описаны подходы, используемые для устранения ионосферной ошибки, обусловленной анизотропией ионосферы.

**Во второй главе** описан процесс распространения высокочастотных сигналов ГНСС в анизотропной среде и выполнен подробный анализ ионосферной ошибки второго порядка: исследованы ее пространственное распределение по Земле; проверена допустимость использования приближения тонкого слоя для ее вычисления; а также выбраны параметры моделей ионосферы и геомагнитного поля, влияющие на точность непосредственного ее вычисления. На основании полученных результатов предложена и описана методика, позволяющая в двухчастотных измерениях наряду с ионосферными ошибками первого порядка устранить ионосферную ошибку второго порядка. Выполнено сравнение эффективности предложенной методики с существующими в настоящее время.

**В третьей главе** приведен краткий литературный обзор, посвященный проблеме фазовых флуктуаций высокочастотных сигналов и исследованиям анизомерии ионосферных неоднородностей. Выполнен сравнительный анализ эффектов, возникающих в измерениях фазы при рефракции на изомерных и анизомерных неоднородностях. Отдельное внимание уделено исследованию условий возникновения флуктуаций фазы и сбоев сопровождения сигналов ГНСС на территории Японии и анализу связи

дисперсии фазовых флуктуаций со степенью вытянутости анизомерных неоднородностей.

В **заклучении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы. Анализ результатов исследования и опубликованных работ автора позволяет сделать вывод, что цель диссертационного исследования достигнута.

Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание диссертации.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в том, что впервые:

- проведен комплексный анализ влияния параметров моделей ионосферы и геомагнитного поля на точность непосредственного вычисления ионосферной ошибки второго порядка с учетом потенциальных точностей фазовых измерений;
- предложена методика учета в двухчастотных измерениях эффектов анизотропии ионосферы одновременно с ионосферными эффектами первого порядка.
- впервые с помощью численного моделирования показана связь сбоев измерений ГНСС с флуктуациями фазы, возникающими при прохождении через магнитоориентированные неоднородности.

Показано, что при анализе измерений информация о полном электронном содержании ионосферы не требуется, что является преимуществом методики.

**Практическая значимость** работы заключается в возможности использования предложенной автором методики учета эффектов анизотропии ионосферы в двухчастотных измерениях ГНСС для повышения их точности. Благодаря замеченной ранее связи ионосферных ошибок первого и второго порядков, устранение их в данной методике проводится совместно.

Использование установленной связи сбоев измерений ГНСС с флуктуациями фазы, возникающими при прохождении через магнитоориентированные неоднородности, возможно для диагностики тонкой структуры ионосферы.

**Достоверность научных положений и выводов**, представленных в диссертационном исследовании не вызывает сомнений, подкрепляется большим объемом статистических данных, полученных при моделировании, а также общим согласованием с результатами других авторов. Результаты исследования достаточно полно отражены в статьях автора в журналах,

включенных в список ВАК, а также – в системы индексирования Web of Science и Scopus.

**Личный вклад автора** заключается в анализе литературных данных, разработке алгоритмов численных расчетов, подборе моделей ионосферы и магнитного поля для вычислений и непосредственного выполнения этих вычислений. Автором самостоятельно выполнен анализ и интерпретация полученных результатов моделирования, оценка эффективности созданных алгоритмов и разработанной методики, сделаны выводы о результатах исследования.

Несмотря на очевидные достоинства, по диссертационной работе имеются **замечания**:

1. На наш взгляд, было бы желательно указать для формулы (2.4) ссылку на соответствующий источник.

2. Вместо коэффициента поляризации  $\rho$  использован термин поляризация (стр. 38).

3. Отсутствует обоснование выбора при моделировании довольно высокого значения критической частоты для слоя Чепмена.

4. Вызывает сомнение, указанное автором утверждение «...предложенная методика позволяет устранить ионосферные ошибки второго порядка на 99%» (стр. 69).

5. Не совсем понятно, как повышенная точность определения поправки второго порядка, достигаемая предлагаемой методикой, может проявиться на фоне учета других ошибок позиционирования, имеющих величины такого же порядка, а то и больше.

6. Вызывает вопросы использование только приближения геометрической оптики при описании в главе 3 флуктуаций фазы сигналов, вызванных наличием магнитоориентированных ионосферных неоднородностей. Почему не учитываются эффекты мелкомасштабных неоднородностей?

7. В автореферате в формуле (13) имело бы смысл верхние индексы представить в скобках.

Также стоит отметить, что, несмотря на грамотное изложение, в тексте работы имеется небольшое количество орфографических и стилистических ошибок и неточностей:

- стр. 58, пятая строка снизу – перепутаны местами предлог «с» и  $h_m$ ;
- не на всех страницах стоят номера страниц (стр. 44, 48, 52 – 54, 56, 62 - 65, 68 – 69, 79, 84 – 85).

Высказанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Конечной Е.В., выполненной на высоком уровне и

содержащей оригинальные результаты, расширяющие представление о возможностях повышения точности местоопределения, а также – о связях сбоев сопровождения сигналов ГНСС с магнитоориентированными неоднородностями.

**Заключение.** Диссертационная работа «Эффекты магнитного поля Земли в измерениях глобальных навигационных спутниковых систем» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая по актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает критериям, сформулированным в Положении о присуждении ученых степеней (пп. 9 - 14), утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор - Конечкая Елена Викторовна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета д.ф.-м.н. (01.04.03 - радиоп физика), профессором Денисенко Павлом Федоровичем (344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194, НИИ физики ЮФУ, тел. 89882569343, 8(863)2975063, e-mail: denis@sfedu.ru).

Отзыв обсужден и утвержден на объединенном научном семинаре отдела радиоп физики и космических исследований Научно-исследовательского института физики и кафедры радиоп физики физического факультета Южного федерального университета 16 января 2017 г. (Протокол № 1).

Зав. кафедрой радиоп физики  
Южного федерального университета,  
д.ф.-м.н., профессор,  
председатель заседания

Геннадий Филиппович Заргано

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5, физфак ЮФУ  
Тел. 8(918)5507151 E-mail: zargano@yandex.ru

*Диссертация защищена  
по специальности  
01.04.03 - Радиоп физика*

