

ОТЗЫВ

официального оппонента – Зернова Николая Николаевича,
доктора физико-математических наук, профессора – на диссертацию Конечкой Елены
Викторовны «**Эффекты магнитного поля Земли в измерениях глобальных
навигационных спутниковых систем**»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.03 –«Радиофизика»

Диссертационная работа Е.В. Конечкой посвящена исследованию современной проблемы повышения точности и надежности работы спутниковой навигационной системы.

Несмотря на весьма долгую историю развития и совершенствования спутниковых навигационных систем и большое количество работ, методик и подходов в рамках этой тематики, в задачах описания высокочастотного стохастического трансионосферного канала распространения радиоволн остается ряд проблем, требующих своего дальнейшего прояснения и уточнения. Здесь речь идет о высокоточных измерениях дальности и оценке погрешностей измерения дальностей спутниковой навигационной системы. К числу эффектов, обуславливающих ошибки измерения дальности, относятся как эффекты, связанные с магнитным полем Земли регулярные задачи, так и эффекты флуктуаций электронной плотности ионосферы (стохастические задачи).

Эффект магнитного поля Земли - это наличие в выражении для вклада ионосферы Земли в полный набег фазы навигационного сигнала собственно члена, обусловленного присутствием магнитного поля Земли, а также его зависимостью от соотношения направлений магнитного поля Земли и трассы распространения высокочастотного навигационного сигнала. Эти эффекты принято называть эффектами второго порядка (они имеют порядок минус третьей степени рабочей частоты навигационного сигнала).

Дополнительным фактором, обусловленным магнитным полем Земли, является анизотропный характер присутствующих в ионосфере локальных ионосферных неоднородностей, которые, к тому же, имеют случайный характер. Рассеяние навигационного сигнала на таких неоднородностях носит случайный характер и требует

стохастического описания.

Решению задачи аккуратного учета отмеченных выше эффектов и тем самым повышения точности измерения дальности спутниковой навигационной системой посвящена представленная к защите работа. Сказанное выше подтверждает несомненную **актуальность** этого исследования. В работе автор ставит **своей задачей** исследование указанных двух эффектов, обусловленных присутствием магнитного поля Земли, и предлагает решения этих задач.

Первая из поставленных в работе задач трансионосферного распространения высокочастотного поля в детерминированном канале (Глава 2) традиционно решается в виде ряда по обратным степеням рабочей частоты сигнала. Анализируется главный по магнитному полю Земли член такого ряда, определяющий основной вклад магнитного поля Земли в полную фазу монохроматического навигационного сигнала (фазовые измерения). Путем детальных вычислений для двух моделей ионосферы (слой Чепмена и эмпирическая модель NeQuick) оценивается возможность перехода от точной формулы (2.16) для эффектов магнитного поля к упрощенной формуле (2.21), которую в соответствующей литературе принято называть приближением тонкого (ионосферного) слоя. Таким образом, подтверждается известный из соответствующей научной литературы факт о возможности, с малой и контролируемой погрешностью, считать магнитное поле Земли постоянным (вдоль любой фиксированной трассы распространения) по направлению и величине.

В свою очередь, это позволило автору предложить процедуру включения эффектов магнитного поля в схему двухчастотных измерений дальности, позволяющую почти полностью избавиться от ионосферной ошибки второго порядка. Это, несомненно, является одним из важных результатов работы.

Другая важная часть результатов представленной работы (Глава 3) относится к числу наиболее сложных для исследования проблем трансионосферного распространения высокочастотных полей. Это – эффекты, обусловленные флуктуациями электронной плотности ионосферы. В частности, здесь принципиально важной является оценка дополнительной ошибки измерения дальности, обусловленной флуктуациями электронной плотности ионосферной плазмы в случае одночастотного режима измерений,

а также оценка ошибки измерения дальности в двухчастотном режиме измерений. В последнем случае необходимо также учитывать кросскорреляционные свойства полей двух частот, участвующих в измерениях дальности.

Кардинально важными с точки зрения обеспечения надежности работы навигационной системы являются исследования закономерностей возникновения так называемого канонического фединга – эффекта, когда большое и резкое ослабление амплитуды сигнала сопровождается быстрым изменением фазы. Эти быстрые изменения являются основной причиной возможной потери навигационного сигнала. После этого приемнику требуется заметное время для восстановления сопровождения фазы сигнала. При исследовании этих явлений, наряду с дисперсией флуктуаций фазы ставится вопрос *о скорости* изменения фазы и статистике этой скорости. Известны работы, где исследуются эти вопросы.

Вместе с тем, весьма важным является параллельное получение и накопление эмпирических закономерностей этих эффектов. В работе представлено, проанализировано и систематизировано большое количество расчетных и эмпирических данных. В частности, расчетами подтверждено наличие наблюдаемого эффекта увеличения дисперсии флуктуаций фазы сигнала при приближении направления распространения сигнала к направлению магнитного поля Земли. С другой стороны, экспериментальные данные свидетельствуют об увеличении вероятности потери фазы сигнала при распространении, близком к направлению магнитного поля. Проводится обсуждение этих закономерностей. **Все перечисленное является содержанием третьей главы диссертации.**

Описанные выше результаты определенно являются **новыми**. Они представляют **научную и практическую ценность** и могут быть использованы как для совершенствования методики высокоточных спутниковых измерений, так и при проектировании и создании соответствующей аппаратуры новых поколений.

Физическая обоснованность постановки рассмотренных в работе проблем, грамотное использование имеющихся методов решения и численного моделирования задач трансферного распространения высокочастотных полей, сопоставления с экспериментальными результатами и известными расчетными результатами других авторов позволяет утверждать о **высокой степени достоверности представленных в работе результатов, выводов и рекомендаций.**

По содержанию диссертации и автореферата можно высказать ряд замечаний:

1. Хотелось бы видеть более ясные комментарии на стр. 40, относящиеся к обсуждению вкладов второго и третьего порядков в результат вычисления фазового пути. В частности, почему эффект третьего порядка не рассматривается, хотя отмечается, что он может оказаться соизмерим с эффектами второго порядка.
2. В отношении третьего из положений, выносимых на защиту, которые сформулированы на стр. 9, из приведённых в работе расчётов следует лишь, что при наличии магнитно-ориентированных ионосферных неоднородностей возрастает дисперсия флуктуаций фазы, когда направление распространения сигнала приближается к направлению магнитного поля. Следовало бы добавить, что вывод о возрастании вероятности сбоев делается в рамках принятой в работе модели этой зависимости от дисперсии флуктуаций фазы (формула (3.4) на стр. 85), а не глобально.
3. Появление формулы (3.4) на стр. 85 определенно требует комментариев, которые полностью отсутствуют в тексте. В частности, неясно появление значения ρ_i в качестве порогового значения фазы. Хотелось бы также понять, что является основанием считать распределение флуктуаций фазы нормальным.
4. Наряду с оценкой дисперсии флуктуаций собственно фазы сигнала, важной характеристикой процесса, приводящего к потере сигнала, является также скорость изменения фазы (с учетом ее стохастической компоненты).

Приведенные замечания не препятствуют общей положительной оценке работы.

Заключение

Диссертация Е.В. Конечкой является законченным научным исследованием, вносящим заметный вклад в решение проблем повышения точности и надежности функционирования спутниковых навигационных систем.

Общий объем диссертации составляет 113 страниц. Она состоит из 3-х глав, введения, заключения, списка литературы и одного приложения. Работа содержит 29 рисунков, 2 таблицы. Список литературы содержит 112 ссылок. Изложенные в диссертации результаты достаточно полно отражены в 17 публикациях. Из этих публикаций 5 работ индексируются в

базе данных Scopus; 2 – в Web of Science; 3 статьи опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Результаты работы представлены и опубликованы в трудах большого числа конференций разного уровня, в том числе таких престижных, как Всероссийская конференция по распространению радиоволн и Генеральная Ассамблея Международного Радиосоюза (URSI). Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа «**Эффекты магнитного поля Земли в измерениях глобальных навигационных спутниковых систем**» отвечает требованиям пп. 9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. От 02.08.2016). Автор работы - Конецкая Елена Викторовна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика».

На обработку персональных данных согласен.

Заведующий кафедрой радиофизики

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный университет», (СПбГУ),

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 «Радиофизика»),

профессор

Н.Н. Зернов

199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9.

18 января 2018 г.

Тел.: +7 812 4287289; e-mail: n.zernov@spbu.ru

Подпись Зернова Николая Николаевича заверяю:

Личную подпись заверяю

начальник отдела кадров №3

Н. И.



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей