

Отзыв официального оппонента 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

Актуальность темы.

В современном развитии «всемирной» глобальной спутниковой радионавигационной системы (GNSS) возникает ряд особо перспективных направлений, на которые и необходимо ориентироваться в первую очередь всем странам, которые располагают своими «национальными» спутниковыми навигационными системами и имеют серьезные глобальные интересы. Среди таковых приоритет принадлежит развитию и широкому внедрению технологий высокоточной навигации (PPP, RTK, e-GNSS). В настоящее время потенциальные возможности, которые могут дать технологии PPP, RTK, e-GNSS, явно недооценены. В первую очередь необходимо отметить высокую целесообразность внедрения высокоточной навигации в такие области, как: комплексные системы общественной безопасности; интеллектуальные транспортные системы; сельское хозяйство и управление водными ресурсами; управление городской инфраструктурой и мониторинг ее текущего состояния; синхронизация национальных стандартов времени и частоты. Другое не менее важное направление – это научные исследования в таких областях, как геодинамика, GNSS-мониторинг природных сред Земли, обнаружение опасных природных явлений по ионосферному или сейсмическому отклику.

Учитывая сказанное можно не сомневаться в актуальности любых исследований, направленных на повышение качества измерений средствами высокоточной навигации и GNSS-мониторинга. Поэтому можно утверждать, что и тема настоящей диссертации несомненно является **актуальной** и лежит в общем тренде научно-технического развития.

Оценка научной новизны и их значимости для теории и практики.

Основными положениями научной новизны настоящей диссертационной работы можно считать:

1. Впервые проведена комплексная оценка влияния точности определения высоты максимума электронной концентрации (ЭК), полного электронного содержания (ПЭС), а также региональных и ракурсных условий наблюдения с учетом действия геомагнитного поля Земли на ионосферную плазму на итоговую точность вычисления ионосферной погрешности дальномерных измерений второго порядка.

2. Предложена новая простая и работоспособная методика устранения ионосферной дальномерной погрешности второго порядка, которая позволяет наряду с ионосферной погрешностью первого порядка уменьшить остаточную ошибку двухчастотных измерений, обусловленную эффектами анизотропии ионосферы. При этом, особенностью предложенной методики является отсутствие необходимости в информации о полном электронном содержании ионосферы вдоль луча «спутник-приемник», что является важным отличительным признаком научной новизны в сравнении с известными методиками того же назначения.

Значимость полученных в настоящей диссертации результатов для теории состоит в том, что была показана принципиальная возможность использовать приближение ионосферы в виде тонкого слоя для вычисления таких «тонких» ионосферных эффектов распространения радиоволн, как ионосферная дальномерная погрешность второго порядка.

При этом оказалось возможным учесть и вклад эффектов магнитного поля Земли на остаточную погрешность дальномерных измерений в двухчастотном режиме.

Практическое преимущество предложенной методики заключается в том, что возможно одновременно устранять ионосферные дальномерные погрешности первого и второго порядков в режиме двухчастотных измерений без выполнения оценок текущего состояния полного электронного содержания. Полученные в настоящей работе результаты, а также методику обработки экспериментальных данных двухчастотных фазовых измерений глобальных навигационных спутниковых систем можно использовать в любых практических и научно-исследовательских приложениях высокоточной навигации при использовании двухчастотной аппаратуры GNSS.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлена тем, что:

- 1) При проведении моделирования автором использованы известные и теоретически обоснованные приближения, такие как сферически-слоистое представление ионосферы, адекватный выбор моделей геомагнитного поля Земли, известные физические представления о неоднородной структуре и широтных особенностях ионосферы, в которых могут содержаться анизотропные неоднородности ЭК, контролируемые геомагнитным полем;
- 2) Экспериментальным подтверждением ожидаемых эффектов влияния анизотропных неоднородностей ЭК на качественные характеристики фазовых измерений трансionoсферных сигналов в области низких широт;
- 3) Хорошим качественным и количественным согласием результатов модельных расчетов, приведенных в настоящей диссертации с данными, опубликованными в работах других авторов.

Кроме сказанного, обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается тем, что результаты, которые получены в ходе работы и вынесены на защиту, обсуждались на научных семинарах, публиковались в рецензируемых журналах и докладывались на всероссийских и международных конференциях.

Рекомендации по использованию полученных результатов.

Полученные в настоящей диссертации результаты можно рекомендовать для использования в следующих направлениях развития технологий спутниковой навигации:

- 1) Принципиальный переход от концепции: качество вместо количества. В настоящее время есть тенденция наращивания технических средств и рабочих сетей со стороны национальных спутниковых радионавигационных систем и их функциональных дополнений. Имеется огромный рынок навигационной аппаратуры сегмента пользователя от простейшей до геодезического класса или специальных приемников-мониторов. Вместе с тем пока недостаточно развиваются технологии более глубокого использования всех возможных потенциальных возможностей будущей «всемирной» спутниковой навигационной системы. Есть проблемы с построением эффективных унифицированных алгоритмов «внутреннего» и «внешнего» контроля целостности спутниковых навигационных систем. Имеются большие сложности с разрешением «межсистемных» помех и искажений при синхронных измерениях по сигналам спутников отдельных систем навигации в рамках мультисистемной «унифицированной» аппаратуры пользователя GNSS. Предложенное решение можно рекомендовать, для включения в состав типового программно-алгоритмического обеспечения мультисистемной «унифицированной» аппаратуры пользователя GNSS.

- 2) Имеется проблема «несостыковок» национальных подвижных геоцентрических систем координат (WGS-84, ПЗ-90), которая вызвана регулярным движением континентальных плит. Работы по ежегодной коррекции параметров национальных систем координат приводят к большим расходам с точки зрения «глобальной навигации». Предложенную упрощенную методику коррекции ионосферных дальномерных погрешностей первого и второго порядка можно рекомендовать для использования при проведении геодезических и геодинамических измерений в рамках работ по уточнению подвижных геоцентрических, а также геодезических систем координат.

Можно рекомендовать результаты настоящей диссертации к ознакомлению и возможному внедрению на следующих предприятиях промышленности: НПО ПМ им. Академика М.Ф. Решетнева (г. Железногорск, Красноярского края), ФГУП НПО Радиосвязь (г. Красноярск). Предложенный метод может быть полезен для усовершенствования методик экспериментальных исследований в направлении GNSS- радиозондирования ионосферы и атмосферы Земли и рекомендован в соответствующих НИУ РАН указанной научной специализации.

Замечания по диссертационной работе.

- 1) Неясно изложена решаемая задача 3 (стр.7): «Сравнение остаточных ошибок...с аналогичными данными, полученными с помощью существующих методик устранения». Остается только догадываться, что и с чем сравнивалось.
- 2) Имеются сомнения в формулировках первого пункта научной новизны, где утверждается, что «Впервые произведена оценка влияния параметров ионосферы, оказывающих значительное влияние на точность ионосферной ошибки второго порядка». Необходимо, чтобы автор уточнил, что нового здесь он внес?
- 3) Научное положение № 3, выносимое на защиту сформулировано недостаточно четко и корректно, а именно: «Вероятность возникновения сбоев в системе GPS в определенных областях...». Неясно, о каких областях речь? В связи с чем эти «области» для исследования выбраны? Если речь идет об увеличении количества (т.е. и вероятности) сбоев измерений фазы сигнала спутников GPS при определенных ракурсных условиях относительно магнитоориентированных «пузырей» ЭК в низкоширотной ионосферы, то это уже давно известно. Поэтому неясно, что именно здесь выносится на защиту автором.
- 4) На стр. 38 содержится непонятное утверждение: «...ГНСС сигнал, распространяющийся посредством как обыкновенной волны (... когда спутник находится южнее, чем приемник), так и необыкновенной волны (...когда спутник находится севернее приемника)». Известно, что «ГНСС сигнал» имеет правостороннюю круговую поляризацию, вид которой никак не зависит от того, где находится спутник относительно приемника. Поэтому неясно, о чем ведет здесь речь автор?
- 5) Рис.16, 17 и Рис 18 демонстрируют существенно различные результаты. Так, согласно Рис.16, 17 наблюдается рост погрешности вычисления D2 от неточности задания ПЭС с ростом широта. А на экваторе эта погрешность минимальна. А вот на Рис.18 наблюдается почти противоположная картина. Хотелось бы понять почему?
- 6) В выводах к главе 2 (стр 70) автором заявляется, что «...при применении предложенной методики ионосферные ошибки второго порядка устраняются на 99%». Это весьма спорное утверждение, поскольку при моделировании автором не учитывались такие важные источники погрешности, как тропосфера, многолучевость

и внутренние шумы приемника. Хотелось бы, чтобы автор конкретизировал, при каких допущениях достигается такая высокая точность расчетов и какова ожидаемая точность с учетом реальных условий измерения;

- 7) Непонятно происхождение выражения (3.4): это вывод самого автора или же данное выражение позаимствовано из какого то источника (какого?), и почему использован порог устойчивой работы следящего измерителя фазы, равный π , а не 2π , как утверждалось ранее?
- 8) В тексте диссертации встречается много опечаток, неточностей и некорректных формулировок, а именно:
 - используется неясная и некорректная терминология, определения и странно звучащие фразы, такие, как: «ошибки ГНСС», «ГНСС измерения», «ионосферные ошибки второго порядка ГНСС», «методики устранения», «спутниковые инструментальные задержки», «ошибка, обусловленная многолучевостью, является особенно важной для фазовых измерений, поскольку в них учитывается каждая проходящая волна», «тропосферные ошибки, благодаря их слабой частотной зависимости...», «неполный учет таких параметров, как модель магнитного поля Земли» и т.д.;
 - На стр 23 утверждается, что типичные значения тропосферной ошибки составляют от 1 до 10 м. Неясно для какого радионавигационного параметра (кодовой псевдозадержки огибающей или фазы несущей) и откуда взялись такие огромные значения. На этой же странице содержится и другое странное утверждение: «когда флуктуации фазы превышают целое число циклов 2π , происходит срыв слежения за фазой». Это утверждение верно, только если период флуктуаций соизмерим или меньше, чем время интегрирования;
 - На стр 24 автор утверждает, что «...на ошибки в измеряемых дальностях оказывают большое влияние.....т.н. геометрический фактор». Геометрический фактор оказывает влияние на итоговую ошибку определения местоположения, но никак не связан с погрешностью дальномерных измерений по каждому отдельному спутнику.
 - При написании формул (1.4) и (1.5). стр 25, допущен ряд неточностей, Таких, как: перед погрешностью многолучевости должен быть знак \pm , а не $+$; флуктуационные компоненты кодовых и фазовых измерений отличаются на порядки, а здесь это одна и та же величина $-\varepsilon$; Здесь же неясно, что понимает автор под инструментальными ошибками, возникающими на спутнике и приемнике;
 - При объяснениях в тексте смешано понятие абсолютного и дифференциального режима позиционирования;
 - При объяснениях в тексте смешаны методы коррекции расхождения бортовой шкалы времени спутника (устраняется с помощью модели ухода часов спутника) и шкалы времени приемника (эта погрешность устраняется просто включением четвертого уравнения в систему навигационных функций, а не за счет использования «математических моделей» и «дифференциальной коррекции», как утверждает автор);
 - Используются понятия «Спутниковые инструментальные ошибки» и «инструментальные ошибки приемника». Остается только догадываться, что имеет здесь в виду автор;
 - Автор утверждает, что «.... Эффективным считается использование режима дифференциальной коррекции при удалении приемника от эталонной точки не более, чем на 500 км». Неясно, откуда эта цифра, т.к. на практике расстояние между опорной станцией и пользователем дифференциальной системы должно составлять на порядок меньше;

- На стр.30 содержится странное утверждение: «... в результате увеличения количества частот.....погрешность ГНСС уменьшается с десятков метров до нескольких см». Во-первых, неясно на какую «погрешность ГНСС» оказывается такое позитивное влияние за счет наращивания количества используемых частот? Во-вторых, известно, что сложение сигналов из двух и более каналов ведет и к сложению дисперсий шумов этих каналов.
- На стр 85 использована неверная ссылка на первоисточник (ссылка 108), а также имеются опечатки: в слове «спутник» пропущена буква «с», а в словосочетании «полное электронное содержание» пропущено слово «электронное»;
- В выводах к главе 2 и в общих выводах к диссертации также отсутствует пункт о зависимости эффективности расчетов по предложенной методике, в зависимости от заданной модели геомагнитного поля.

Все указанные замечания не препятствуют признанию основных положений, выносимых на защиту, а также не вызывают сомнений в научной новизне и значимости полученных результатов для теории и практики и позволяют дать положительное заключение по настоящей диссертации.

Заключение.

Рассмотренная диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как решение актуальной научной и прикладной задачи, ориентированной на создание теоретических основ для модернизации систем спутниковой навигации с учетом нелинейных процессов распространения радиоволн в ионосфере (п.п. 2 и 7 Паспорта специальности 01.04.03). Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения в достаточной степени обоснованы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор - Конечкая Елена Викторовна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиопизика.

Официальный оппонент,

профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)», доктор технических наук по специальности 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация», доцент по специальности 01.04.03 «Радиопизика»

Демьянов Владислав Владимирович

Почтовый адрес: 664009, Иркутск, ул. Советская 176/181-7

Тел. +7-950-051-3095, e-mail sword1971@yandex.ru



Подпись *Демьянов В.В.*

ЗАВЕРЯЮ:

Начальник общего отдела ИрГУПС

Подпись *Иванов*

« *22* » *01* 20 *18* г.