

## ОТЗЫВ

официального оппонента Кафтана Владимира Ивановича  
о диссертационной работе Фам Хоанг Лонга на тему «Разработка методики учета влияния ионосферы при GPS-измерениях на территории Вьетнама»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 - Геодезия

Сегодня проблема изучения ионосферы, как одной из важнейших земных сфер (оболочек), приобретает все большее значение в связи с интенсивным развитием современных спутниковых измерительных средств. Одним из аспектов указанной проблемы является разработка методов учета влияния ионосферы на точность геодезических измерений средствами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Это особенно важно в случае применения одночастотных приемников при значительных (порядка десятков км) взаимных удалениях друг от друга пунктов ГНСС наблюдений. Другой важной особенностью в этой связи является отсутствие надежного учета влияния ионосферы в районах ее экстремальных проявлений. Тема диссертационной работы Фам Хоанг Лонга посвящена разработке подходов учета ионосферных ошибок в близэкваториальном районе, где ионосферные коррекции имеют наиболее высокие значения и быстро меняются во времени, что существенно усложняет их учет и снижает точность ГНСС измерений.

Заметим, что необходимость повышения точности определения параметров ионосферы существует не только в связи с основными геодезическими задачами, но также и с важными геофизическими приложениями, такими как мониторинг ионосферы в связи с сильными сейсмическими событиями и даже раннее предупреждение цунами.

В связи с эти диссертационная работа Фам Хоанг Лонга, посвященная дальнейшему совершенствованию подходов к определению параметров

ионосферы на основе GPS наблюдений в региональном и локальном масштабах, является весьма своевременной, **актуальной** и имеет важное научное и прикладное значение.

Автором диссертационной работы достаточно глубоко и детально изучены и описаны пространственно-временная структура и состояние ионосферы, характер ее возмущений, их источники. Описано влияние ионосферы на распространение электромагнитных волн. Подробно рассмотрено влияние ионосферы на абсолютные и относительные GPS измерения. Представлены основные виды погрешностей GPS измерений, при этом показано, что наибольшим источником погрешностей определения псевдодальности является ионосфера. Показано, что при относительных ГНСС определениях не требуется оценка абсолютного значения ионосферных задержек. Анализ изученных материалов показал, что территория Вьетнама расположена именно в зоне экваториальных возмущений, что подтверждает актуальность избранной темы исследований.

Проанализировав существующие подходы к определению полного электронного содержания (ПЭС), автор делает вывод о том, что ее можно получать с использованием комбинации разностей измерений, что представляет определенные преимущества перед существующими методиками. При этом существенный вклад в общую погрешность будут играть межчастотные временные задержки в аппаратуре спутника и наземного приемника.

В работе Фам Хоанг Лонга исследованы современные возможности построения карт ПЭС на основе наблюдений международных служб и различных спутниковых миссий. Описаны соответствующие международные эксперименты. Возможность применения различных существующих моделей исследована диссертантом на примере территории Вьетнама и с использованием реальных наблюдательных данных наземной сети. Специальный эксперимент позволил автору сделать выводы о целесообразности оценки ПЭС по кодовым измерениям с использованием фазовых, при этом необходимо обеспечить надежный учет

аппаратурных погрешностей. Диссертантом показано, что погрешность однослойной модели ионосферы более существенна для углов места спутника менее  $25^{\circ}$ . Главный вывод диссертанта по результатам эксперимента сделан о том, что применение стандартных подходов моделирования ионосферы для условий Вьетнама не обеспечивает достаточной точности.

Дальнейшие усилия Фам Хоанг Лонг направляет на разработку **собственной оригинальной** методики, учитывающей особенности пространственных и временных изменений ионосферы в регионе, многолучевость и межчастотные аппаратурные задержки. Для этого им была осуществлена оценка возможности применения различных известных формул и сделан вывод, что разность задержек, получаемых по точным и приближенным формулам, незначительна даже во время магнитной бури. Выбор модели восстановления локальной карты ионосферы был осуществлен путем сравнения трех вариантов оценки ПЭС по формулам, содержащим разное число членов полинома. Сопоставление полученных моделей осуществлялось с эталонным вариантом службы IGS. Для получения коэффициентов модели восстановления ионосферы была использована система уравнений с использованием полиномов второго порядка, решение которой осуществлялось с использованием Филтра Калмана. При этом автор сопоставил полученное решение с традиционным решением по методу наименьших квадратов и установил, что калмановская фильтрация приводит к примерно вдвое более точным оценкам в определенном ряде случаев. Исследования показали, что разработанная методика восстановления локальных ионосферных карт позволяет получать надежные значения ПЭС для территории Вьетнама.

Следующим этапом работы Фам Хоанг Лонга является решение проблемы коррекции ионосферной задержки при относительных GPS определениях. Здесь автор использует свойство того, что вторые разности ионосферных задержек, не содержат межчастотной погрешности наземной аппаратуры. Эта особенность

была учтена в новом алгоритме коррекции ионосферной задержки – в одночастотных относительных GPS измерениях.

Для оценки качества методики уточнения одночастотных GPS измерений были проведены специальные эксперименты. Здесь немалой заслугой автора является комплекс программных модулей, обеспечивающих реализацию разработанных алгоритмов. Эксперимент показал необходимость учета многолучевости для повышения точности одночастотных измерений. При этом векторы базовых линий длиной 20-80 км были получены с сантиметровой точностью.

**Научная новизна** диссертационной работы Фам Хоанг Лонга заключается в следующем:

- Доказано, что применение приближенных форму оценки ПЭС вполне удовлетворяет задаче уточнения ионосферных коррекций в одночастотных GPS измерениях.
- Использование вторых разностей ПЭС позволяет исключать ошибки межчастотных задержек в наземной приемной аппаратуре.
- Разработана методика почти автономного учета ионосферы в векторах базовых линий, полученных одночастотными измерениями с использованием измерений одним двухчастотным приемником в условиях отсутствия специальных станций контроля ионосферы.

**Достоверность и обоснованность** сформулированных в диссертационной работе Фам Хоанг Лонга положений, выводов и рекомендаций подтверждается многократными экспериментами, оценками точности, строгостью математических преобразований и корректностью допущений. При этом следует отметить, что автор сопровождает тестовыми сравнениями буквально каждый этап исследований и разработок в рамках диссертации. Приятно заметить, что диссертант вполне объективно характеризует реальную точность ГНСС измерений и не оперирует мифическими миллиметровыми точностями, что, к сожалению, сегодня распространено.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в том, что исследования и разработки автора обеспечили повышение точности односторонних относительных GPS измерений до первых сантиметров при увеличении длин базовых линий до 50 км автономно, а при использовании вспомогательных двухчастотных измерений не грубее 5 см при длинах линий от 20 до 80 км. Эти результаты обеспечивают определенный экономический эффект при массовых геодезических работах.

Можно заключить, что диссертационная работа Фам Хоанг Лонга имеет как фундаментальное, так и прикладное значение.

По содержанию диссертационной работы имеются **следующие замечания:**

- На стр. 11 диссертационной работы имеются неудачные словосочетания, такие как «координаты геомагнитного поля», или «геомагнитное поле направлено горизонтально».
- На стр. 25 непонятно выражение «Псевдодальность, измеренная по фазе несущей ... равна приращению псевдодальности ...».
- Не вполне корректно звучит, к сожалению, распространенное утверждение о том, что в относительном методе при определении вектора базовой линии координаты одного из пунктов должны быть известны (стр. 34). При этом вместо «определения координат» часто применяется такой американизм как «позиционирование».
- В тексте рукописи диссертант применяет разные аббревиатуры, для обозначения одного и того же объекта, например, НИСЗ и НКА.
- На стр. 64 диссертации трудно согласиться с выводом о том, что «ионосферная задержка оказывает существенное влияние только на точность определения высоты».
- На стр. 83 отсутствует ссылка на опубликованную работу.
- Выводы последней главы диссертации, хотя и демонстрируют эффективность авторских разработок, желательно проверить на большем

экспериментальном материале. Можно предполагать, что область применимости методики более широка, чем полагает автор.

Отмеченные недостатки не могут влиять на высокую оценку диссертационной работы.

Соискатель владеет методами научных исследований, современным аппаратом математической статистики, компьютерными средствами и программированием, хорошими знаниями в области физики атмосферы.

Автореферат достаточно полно отражает содержание и основные результаты диссертационных исследований.

Результаты исследований опубликованы в 2 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки Российской Федерации, а также в журнале Вьетнама.

Диссертационная работа Фам Хоанг Лонга является самостоятельной и законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача, имеющая важное научное и прикладное значение. Получены новые научные результаты и разработаны рекомендации по их применению.

Работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему **ученой степени кандидата технических наук** по специальности 25.00.32 – Геодезия.

Главный научный сотрудник  
ФГБУН «Геофизический центр РАН»

д.т.н.

Подпись В.И.Кафтана **заверяю**  
Ученый секретарь ГЦ РАН



Кафтан Владимир Иванович

Татарина Татьяна Александровна

119296, г. Москва, ул. Молодежная, дом 3  
Телефон: +7 (495) 930 05 46  
E-mail: v.kaftan@gcras.ru