

Диссертационный совет 24.1.197.01
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Ясюкевича Юрия Владимировича
“Развитие диагностических возможностей приемников сигналов
глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга
состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки
в радиотехнических системах”, представленной к защите на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.3.4. - Радиофизика

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе Ясюкевича Ю.В., относятся к общей проблеме радиофизики – дистанционному радиозондированию сред и, в частности, радиофизической диагностике верхней ионизированной части атмосферы - ионосферы Земли. В работе исследуются основополагающие аспекты относительно нового метода трансionoсферного радиозондирования ионосферы – измерений полного электронного содержания (Total Electron Content – TEC) на основе данных геодезических систем с использованием космических платформ (Global Navigation Satellite System – GNSS), который стал интенсивно развиваться с 90-х годов. В настоящее время, благодаря наличию общедоступных глобальных регистраций параметров навигационных сигналов GNSS, методы исследования ионосферной плазмы на основе интегральных измерений TEC становятся таким же распространенным инструментом, как и традиционные наземные и космические средства диагностики ионосферы, при этом требующие гораздо меньших эксплуатационных расходов.

В своей диссертационной работе автор представляет обобщенные результаты многолетних исследований по разработке теоретических, экспериментальных и технологических свойств метода в применении к

Восточно-Сибирской части РФ. Тематика диссертации направлена, прежде всего, на создание базового элемента метода – оценки абсолютного ионосферного полного электронного содержания, пригодного как для одно-, так и двухчастотных приемных средств, что является, безусловно, актуальным направлением, на котором строятся подходы к практическим применениям – корректировке ионосферных моделей на основе ассимиляции результатов диагностики ионосферы, адаптации работы систем связи и радиолокации к текущим ионосферным условиям.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность темы, которой посвящена диссертация, описано современное состояние исследований по данной тематике, научная новизна, актуальность, сведения о публикациях по теме исследований и сформулированы основные положения работы.

В **Главе 1** даны общие сведения о влиянии ионосферы на радиотехнические системы и параметры радиосигнала в различных приложениях, связанных с ионосферным распространением радиоволн. Представлен обзор о методе расчета неабсолютного ТЕС на основе двухчастотных и одночастотных, групповых и фазовых измерений, и проблематике получения абсолютного ТЕС.

Теоретические аспекты базового элемента в методе исследования ионосферы на основе GNSS – расчет абсолютных значений вертикального ТЕС, его временной и пространственных производных в применении к одночастотному и двухчастотному приемникам представлены во **второй** главе диссертации. Дан сравнительный анализ разработанного метода с аналогичными мировыми разработками и показано, что среднеквадратичное расхождение находится на уровне общей погрешности методологии GNSS. Продемонстрирована работоспособность разработанного метода в условиях как высокой, так и низкой солнечной активности, а также в условиях геомагнитной возмущенности, вплоть до экстремально сильных ионосферных возмущений.

Вопросы мониторинга ионосферы на основе разработанного метода, в рамках общих средств экспериментальных исследований ИСЗФ СО РАН – SibNet рассмотрены в **третьей** главе диссертации. Развернутая система мониторинга характеризуется хорошей геометрией, охватывающей практически все азимутальные направления.

В четвертой главе диссертации анализируются возможности использования данных вертикального абсолютного полного электронного содержания для учета ионосферных поправок в радиотехнических системах. Показано, что в задаче определения верхнего предела частотного диапазона прохождения радиоволн (максимальных применимых частот – МПЧ) для односторонних радиотрасс в рамках проведенного эксперимента в условиях минимума солнечной активности имели ошибки $<10\%$ в $40-50\%$ измерений. Для радиоастрономических сигналов данные GNSS позволяют устранять модуляцию профиля регистрируемого излучения на интервалах времени порядка 10 минут. Отмечается сложность определения базового ионосферного параметра (критической частоты слоя F2 ионосферы – foF2) из интегрального значения вертикального TEC.

Пятая глава посвящена исследованиям стабильности работы GNSS в различных гелиогеофизических условиях на примере двух ключевых характеристик: срывы сопровождения фазы сигнала (или вероятности/плотности срывов) и появление физически нереализуемых вариаций TEC (сбоев TEC). Показано, что срывы измерения GNSS радиосигналов не превышают нескольких процентов, в том числе и в возмущенных условиях, и проявляются наиболее значительно в высокоширотной области. Основное число срывов измерений TEC проявляется в условиях максимального развития геомагнитных бурь.

Таким образом, автор последовательно рассматривает вопросы разработки, имплементации метода диагностики ионосферы на основе GNSS измерений, анализирует аспекты поставленной задачи, обосновывает научные положения, вынесенные на защиту. Их достоверность определяется корректностью и проработанностью математических моделей, сходимостью результатов моделирования и натуральных экспериментов, а в практическом аспекте подтверждается доведением разработанного метода до состояния, обеспечивающего мониторинг состояния ионосферы.

Диссертационная работа Ясюкевича Ю.В. соответствует паспорту специальности 1.3.4. Радиофизика, а именно пункту 5: Разработка новых методов и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач. Создание систем дистанционного мониторинга гео-, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы.

Автореферат достоверно отражает содержание диссертации.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы

Научная новизна работы заключается в разработке метода – теории и технологии определения абсолютного ионосферного полного электронного содержания и его производных по данным GNSS на одном приемнике. Метод обладает универсальностью применения к двум наиболее распространенным режимам функционирования: двухчастотного и одночастотного измерений параметров GNSS сигнала и служит основой для построения абсолютного вертикального TEC.

Практическая значимость заключается:

- в создании системы мониторинга ионосферы на измерениях GNSS в рамках общих средств экспериментальных исследований ИСЗФ СО РАН – SibNet;
- разработке методов учета ионосферной составляющей в работе радиотехнических средств, связанных с распространением радиоволн в ионосферной плазме, технологии адаптации ионосферных моделей к текущим ионосферным условиям;

Приведенные в диссертационной работе результаты позволяют сделать вывод о том, что предложенный автором метод регистрации и обработки данных GNSS обладает точностными характеристиками на уровне мировых аналогов.

Апробация работы

Основные результаты достаточно полно обоснованы и опубликованы в реферируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, индексируемых в Scopus и Web of Science, в свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ и использовании данных через центр коллективного пользования “Ангара”. Результаты исследований докладывались на международных и всероссийских конференциях, в том числе на зарубежных. Общий уровень и объем публикаций автора соответствует требованиям пунктов 11 и 13 действующего «Положения о присуждении ученых степеней».

Имеются некоторые замечания и рекомендации по диссертационной работе Ясюкевича Ю.В.:

1. Представляется некорректным использование терминологии “Восстановление МПЧ для наклонных трасс”. Термин “восстановление” применяется, как правило, в обратных задачах, а расчет МПЧ в ионосферных моделях является чисто прямой задачей.

2. На рис. 4.9 представлено сопоставление МПЧ экспериментальных данных наклонного радиозондирования ионосферы и расчетных с использованием данных ТЕС для коррекции ионосферной модели IRI-Plas. Из результатов сложно оценить степень действия операции коррекции, поскольку не приведены чисто модельные расчетные значения МПЧ.
3. На стр. 162. “ГНСС позволяют получать оценки ионосферных параметров даже в условиях сильных магнитных бурь, когда сильное развитие поглощения в D-области приводит к блэкауту на ионозондах”. Данное утверждение более применимо к слою E ионосферы – авроральный E-слой, а увеличение электронной плотности в D-слое может наблюдаться не во время, а после геомагнитного возмущения (постбуревой эффект) или как достаточно редкие “протонные события”.
4. В гл. 5 рассматривается важный аспект работы технологии GNSS в различных гелиогеофизических условиях, но основные результаты, касающиеся срывов измерения фазы, относятся к GPS, а иные системы представлены слабо.

Заключение

Диссертационная работа Ясюкевича Юрия Владимировича на тему “Развитие диагностических возможностей приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки в радиотехнических системах” представляет собой целостное законченное исследование, формирующее новое направление в исследовании ионосферы, обладающее несомненной научной новизной, теоретической и практической ценностью. Диссертация и автореферат содержат совокупность выносимых на защиту положений и полностью соответствуют научной специальности 1.3.4. – Радиофизика.

В целом, диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (п. 9-14), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, в том числе п. 9, а именно, предложено новое научно обоснованное решение в области радиофизической диагностики природных сред – ионосферы. Автор диссертации, Ясюкевич Юрий Владимирович, вполне заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Официальный оппонент,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова Российской академии наук, лаборатория моделирования
волновых полей в ионосфере, и. о. зав. лабораторией

доктор физ.-мат. наук,
01.04.03 - Радиофизика

И.В. Крашенинников

108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4, ИЗМИРАН.
Тел. +7(495)8510279 e-mail: krash@izmiran.ru.

Подпись Игоря Васильевича Крашенинникова заверяю

Ученый секретарь ИЗМИРАН
кандидат физ.-мат. наук



А.И. Рез

“ 10 ” апреля 2023 г.