

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Крюковского Андрея Сергеевича

на диссертационную работу

**«РАЗВИТИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИЕМНИКОВ СИГНАЛОВ
ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ И КОРРЕКЦИИ ИОНОСФЕРНОЙ ОШИБКИ
В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

Ясюкевича Юрия Владимировича,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.4. – «Радиофизика»

Рецензируемая диссертация посвящена применению радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для исследования состояния ионосферы Земли и для коррекции ошибок, которые вносит ионосфера в работу радиотехнических систем различного назначения. Это системы радиолокации, радиосвязи и радионавигации, важность устойчивой работы которых очевидна. Поэтому тема диссертации, выбранная автором и его консультантом, современна и **актуальна**. К сожалению, в настоящее время технические возможности не позволяют вести мониторинг ионосферы (например, методами радиотомографии) и получать данные о трёхмерной структуре ионосферы в реальном времени, а существующие модели ионосферы, в том числе и адаптивные, не обеспечивают необходимую точность. Поэтому автор диссертации сосредоточился на исследовании полного электронного содержания (ПЭС) – интегрального параметра, знание которого позволяет до известной степени решать существующие проблемы. Для этой цели под руководством автора разработана система дистанционного мониторинга ионосферного абсолютного ПЭС в восточносибирском регионе РФ, что может рассматриваться как **решение важной народно-хозяйственной задачи** (Глава 3). Система включает в себя сеть приемных устройств, способных принимать и обрабатывать радиосигналы всех четырех, существующих в настоящее время, ГНСС, включая, разумеется, ГЛОНАСС.

Для корректного определения абсолютного ПЭС в диссертации разработан **новый метод** на основе данных отдельных приемников ГНСС (Глава 2), особенностями которого являются получение заведомо неотрицательного ПЭС, что является проблемой при ассимиляции данных в

ионосферные модели, а также возможность использования метода в одночастотном режиме. Разработанный метод имеет преимущество перед аналогичными подходами, особенно когда до 30% данных при альтернативных способах могут быть потеряны. Также **новыми результатами**, полученными в работе, являются:

результат систематизации методической информации об использовании ионосферных ГНСС-измерений для коррекции технических систем, встречавшейся ранее разрозненно в литературе (Глава 4);

методика использования абсолютных данных ПЭС для интерпретации и устранения ионосферных эффектов в радиоастрономических наблюдениях (Глава 4);

результаты исследований уровней и динамики срывов сопровождения фазы и плотности сбоев ПЭС во время экстремальных солнечных радиовспышек (Глава 5).

Иные результаты, представленные в диссертационной работе, также являются **новыми** и получены автором.

Достоверность и обоснованность положений основана на использовании корректных математических методов, привлечением современных моделей, детальной проверкой на экспериментальном материале, полученном как в спокойных и возмущенных условиях. Результаты диссертации не входят в противоречие с результатами, опубликованными ранее.

Полученные результаты имеют значительный потенциал для внедрения в рамках служб обеспечения геофизической информацией.

Среди положительных сторон диссертационной работы можно отметить:

- 1) Детальность изложения, позволяющую специалистам, работающим в смежных областях, получить информацию об аналогичных исследованиях как в РФ, так и зарубежом.
- 2) В целом, хорошее оформление работы, в том числе использование (в оригинальных рисунках) русскоязычных подписей, цветных иллюстраций.
- 3) Наличие независимого применения разработанных методов и распространение полученных результатов в научной среде.
- 4) Использование современных методов машинного обучения для решения задач.

Среди недостатков можно отметить:

- 1) В работе не указывается, как мелкомасштабные ионосферные возмущения будут менять получаемые оценки ПЭС.
- 2) В тексте используются различные модели ионосферы. При этом нет некоторого единства или рекомендаций, какие модели следует выбирать для решения тех или иных задач.
- 3) В работе не рассматривается использование аналогичных методов в случае геостационарных спутников, а также объединение с успешно себя зарекомендовавшими данными низкоорбитальной радиотомографии.
- 4) Автором выбран конкретный вид функции преобразования наклонного ПЭС в вертикальное ПЭС. При этом не указано, насколько существенно это сказывается на результатах.
- 5) Автор рассмотрел значительное количество источников по теме работы (что является достоинством диссертации), но он не только сосредоточил эти ссылки в первой главе, но и в большом количестве разместил их в остальных главах, сопровождая порой излишними подробностями. Это обстоятельство затрудняет понимание вклада автора в рассматриваемые вопросы.
- 6) Некоторые вопросы, рассматриваемые в диссертации, следовало бы пояснить подробнее. Например, на стр. 88, где рассматривается основная модель автора, есть фраза: «При этом смешанными производными можно также пренебречь». Никакие пояснения не приводятся. На стр. 228 рассматривает модель линейной регрессии, но сама модель не записана, и смысл обозначений a , b и r не пояснен.
- 7) Основная модель автора построена с помощью метода наименьших квадратов (МНК). По существу, это регрессионная модель, а применение формулы Тейлора носит формальный характер – ведь функция неизвестна. Для регрессионной модели можно провести статистическое исследование: проверить значимость коэффициентов регрессии, найти их дисперсии, найти коэффициент детерминации и т. д. Это либо подтвердило бы эффективность модели, либо указало пути ее улучшения. Такие же исследования следовало бы провести для модели МНК с ограничениями, тем более что для классического метода МНК гарантируются состоятельность, эффективность и асимптотическая несмещённость оценок. А для МНК с ограничениями?

8) Отдельные замечания по оформлению работы: есть синтаксические ошибки, на некоторых рисунках не ясно, что отложено по осям (например, рис. 1.5), в твердой копии большинство рисунков слишком мелкие и поэтому трудно различить кривые на них, на стр. 69 утверждается, что данные GPS – черный цвет, а ГЛОНАСС – серый, а на стр. 70 – наоборот.

Указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают значимости работы и корректности результатов.

Автореферат соответствует тексту диссертации и корректно описывает полученные результаты.

Работа прошла апробацию на большом количестве российских и международных конференций и широко представлена в печати. Всего на основе полученных результатов опубликовано 27 статей, включенных в список ВАК или в международные реферативные базы Scopus и Web of Science, 2 монографии, 1 глава в коллективной монографии, и получены 2 свидетельства государственной регистрации программы ЭВМ. Работы автора признаны международным научным сообществом, а программные средства используются различными научными коллективами.

Отмеченное выше позволяет утверждать, что диссертационная работа Ясюкевича Юрия Владимировича «Развитие диагностических возможностей приёмников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки в радиотехнических системах», соответствует всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям (пункты 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»), а её автор безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «Радиофизика».

Лауреат Государственной премии СССР,
профессор, д.ф.-м.н.



Юрюкевич А.С.

ПОДПИСЬ

УДОСТОВЕРЯЮ

АНО ВО «Российский новый университет»

Зам. Начальника отдела кадров

Соломатина Н.В.

Крюковский Андрей Сергеевич

«11» 05 2023 г.

Официальный оппонент

Крюковский Андрей Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Российский новый университет (РосНОУ), кафедра Информационных технологий и естественнонаучных дисциплин, зав. кафедрой.

Диссертация защищена по специальности: 01.04.03 – Радиофизика

Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22

Телефон: +7-903-245-51-37

E-mail: kryukovsky56@yandex.ru