

## ОТЗЫВ

официального оппонента **Мальцевой Ольги Алексеевны**, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета, отдел радиофизики и космических исследований, на диссертацию Данильчук Екатерины Игоревны «Метод индикации ионосферных неоднородностей по спектру вариаций фазы трансionoсферных сигналов с высокой частотой регистрации измерений» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

### 1.3.4 – Радиофизика.

Такие понятия, как космос, космическая погода прочно вошли в повседневную жизнь человека, даже в сводках погоды сообщают о солнечных вспышках и возможных геомагнитных бурях. Всё это зависит от состояния ионосферы, которое характеризуется ее полным электронным содержанием (ПЭС). Для измерения ПЭС используются глобальные системы навигационных спутников и наземных приемников. Однако, чтобы удовлетворить разнообразные современные технологические потребности, знания только ПЭС недостаточно, поскольку этот параметр позволяет определять довольно «грубую» структуру ионосферы.

**Актуальность** темы диссертации. Актуальной является задача определения тонких эффектов, связанных с измерением неоднородностей ионосферы различных масштабов, которые являются причиной возникновения сбоев и искажений рабочих характеристик систем позиционирования, радиолокации, радионавигации, космической связи.

Необходимо отметить, что даже не всем современным приемникам под силу решать такую задачу в связи с низкой частотой регистрации измерений. Достоинством работы является смелость автора взяться за решение исключительной сложной задачи, а, главное, ее успешное решение, связанное с использованием высокой частоты регистрации измерений. Полученные результаты находятся в прямой связи с планами развития проекта

ГЛОНАСС, которым занимается Государственная корпорация «Роскосмос» и различные министерства и ведомства России по мониторингу окружающей среды, отслеживанию таких природных явлений, как землетрясения, геомагнитные бури и др. Особую актуальность результаты представляют в связи с направленностью новых космических запусков в нашей стране на исследование ионосферы, а, следовательно, структуры неоднородностей в результате воздействия неблагоприятных факторов.

**Научная новизна.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Первая глава носит фактически обзорный характер. Результаты, отражающие новизну, содержатся в главах 2-4 и заключаются в следующем. В главе 2 разработана методика исследований ионосферных возмущений на границе уровня шумов по данным измерений фазы несущей сигналов навигационных спутников с высокой частотой регистрации и представлена авторская многокомпонентная модель фазы несущей трансionoсферного сигнала. Хочется особо отметить использование второй производной фазы  $d^2\phi$ , которая позволяет выделять шумы измерений фазы несущей и является основой нового индекса ионосферных мерцаний. В модели учитываются неоднородности различных масштабов в виде перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) крупного (КМ ПИВ), среднего (СМ ПИВ) и промежуточного (ПМ ПИВ) масштабов. Особое внимание в последующей части работы уделяется мелкомасштабным ММ (в т.ч. френелевским) неоднородностям. В главе 3 разработан метод индикации ионосферных неоднородностей по спектру вариаций фазы несущей на основе анализа поведения частоты девиации в этом спектре. Необходимо отметить, что введенная частота девиации является новым параметром исследования ионосферы. Эта частота определяется, как граница между информативной частью спектра, в которой можно выделить ионосферные возмущения, и областью неинформативных шумов измерений. Значение частоты девиации определяется как точка на спектрах вариаций фазы несущей сигнала

навигационного спутника, в которой спектральный наклон изменяется от отрицательного наклона до практически нулевого.

Показано принципиальное значение увеличения частоты регистрации параметров сигналов, при котором расширяется диапазон изменения частоты девиации и увеличивается вероятность и надежность обнаружения мелкомасштабных неоднородностей.

Работоспособность метода подтверждена по измерениям реальных спутников и по данным моделирования. Глава 4 носит экспериментальный характер: эксперименты по оценке частоты девиации проведены с использованием сигналов навигационных спутников GPS, ГЛОНАСС, Galileo и навигационных приемников двух типов, различающихся частотой регистрации измерений в среднеширотном пункте Иркутск. Обработывались данные сигналов в трех частотных диапазонах L1, L2 и L5. Эксперименты проводились как в спокойных условиях, так и в условиях слабых геомагнитных бурь. Показано, что более высокая частота регистрации параметров сигнала навигационного спутника позволяет обнаружить более слабые мелкомасштабные ионосферные неоднородности на спектрах вариации фазы несущей сигнала навигационного спутника.

Научные положения, отражающие новизну результатов, являются обоснованными и достоверными.

**Значимость для науки и производства.** В научном плане полученные результаты важны для более точного определения индексов мерцания, а также для разработки более точных моделей ионосферы. Для производства разработанная модель фазы несущей и алгоритм обработки фазовых измерений с высокой частотой могут быть использованы для настройки процедур расчета различных индексов мерцаний.

Часто в мощных цельных креативных работах упускаются из вида мелкие детали. В этом случае есть, что отметить:

1.Страница 8: в методах исследования указано, что исследования, выполненные в диссертации, получены, в том числе, на основе данных

китайских спутников BeiDou. Имеются ли результаты по этим спутникам? Если да, то чем отличаются от результатов для других спутников?

2. Страница 9: в положениях, выносимых на защиту, и везде по тексту отмечается, что целью работы является обнаружение и исследование мелкомасштабных (в т.ч. френелевских) ионосферных неоднородностей. Что означает такое выделение?

3. Страница 26, рисунок 1.2: что означает параметр  $dI$ ?

4. Страница 35: в формуле (2.1) вводится выражение для фазы  $\varphi_i^k(t)$ , однако не указано, что означают индексы  $k$  и  $i$ . То же и для автореферата.

5. Страница 41: когда присутствует один прямой и один отраженный сигналы, то какая в этом случае многолучевость?

6. Страница 60, последняя строка первого абзаца: правильно ли указаны углы  $\beta_o$  и  $\beta_n$ ?

7. Страница 62, рисунок 2.13: не понятно, что означают точки с интенсивностью, указанной в вертикальной шкале справа от графика?

8. Страницы 90-92, по поводу различной длительности измерений (30 и 60 мин): а разве за это время параметры неоднородностей не могут измениться?

#### Мелкие недочеты

1. Страница 5: пропущена ссылка [10].

2. Страница 25, таблица 1.2: частота ГЛОНАСС указана с ошибкой.

3. Страница 72, рисунок 2.18: отсутствует рисунок 2.18б.

4. Страница 86, 3-я строка сверху: отсутствует рисунок 2.26е.

5. Страница 95, рисунок 3.2: не указано, что представляют собой частоты  $f_{Nq}$  и  $f_{dg}$ .

6. Страница 123: перепутаны обозначения  $f_{per}$  и  $f_{cp}$ .

7. Не обошлось без достаточного количества орфографических ошибок.

8. Замечание по оформлению автореферата сводится к тому, что нужно было сделать список публикаций автора с буквой А.

Эти вопросы и замечания не являются принципиальными и не влияют на положительную оценку результатов диссертации, которые имеют большое научное и прикладное значение.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 16 работах, 3 из которых в научных изданиях, включенных в список ВАК или в международные реферативные базы данных Scopus и Web of Science.

Результаты диссертационной работы целесообразно внедрить для модернизации систем мониторинга типа сети SibNet ИСЗФ СО РАН на основе приемников с частотой регистрации измерений 100 Гц с использованием разработанных в диссертации методов. Продолжить и развивать подобные исследования можно рекомендовать таким организациям, как ИЗМИРАН, ИПГ, ИСЗФ СО РАН и другие.

### **Заключение**

Таким образом, диссертационная работа Е.И. Данильчук «Метод индикации ионосферных неоднородностей по спектру вариаций фазы трансionoсферных сигналов с высокой частотой регистрации измерений» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством доктора технических наук Демьянова Владислава Владимировича, содержащей новое решение актуальной научной задачи – разработки новой технологии для индикации ионосферных неоднородностей, основанной на использовании трансionoсферных сигналов с высокой частотой регистрации измерений, имеющей существенное значение для специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Автор продемонстрировала широкий спектр знаний и компетенций от программиста и инженера до физика, радиофизика, математика.

По своей актуальности, новизне, научно-практической значимости диссертация Данильчук Екатерины Игоревны на тему «Метод индикации

ионосферных неоднородностей по спектру вариаций фазы трансionoсферных сигналов с высокой частотой регистрации измерений» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Данильчук Екатерина Игоревна достойна присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Согласна на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник,

доктор физико-математических наук **О.А. Мальцева**

Научно-исследовательского института физики ФГАОУ ВО Южного федерального университета, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42,

Тел. +79185772533, Эл. Почта oamaltseva@sfnedu.ru

Диссертация защищена по специальности: 04.00.22 – Геофизика.

*Мальцева*

Подпись Мальцевой Ольги Алексеевны заверяю:

