

## Отзыв официального оппонента

Сажина Виктора Ивановича на диссертационную работу  
Алсаткина Сергея Сергеевича «Метод восстановления высотного профиля электронной концентрации на основе малопараметрической модели фарадеевских замираний»,  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.4— Радиофизика

Радары некогерентного рассеяния — уникальные радиофизические инструменты в исследованиях околоземного космического пространства. Всего в мире насчитывается 11 таких установок, в этом числе Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР)—единственный радар некогерентного рассеяния в России. Радар успешно используется в исследованиях ионосферы, тем не менее, с учетом его уникальности, расширение его возможностей в этой сфере является несомненно актуальным.

Данная диссертация вносит весомый вклад в такое расширение возможностей данного ИРНР. Автор принял определяющее участие в развитии метода восстановления высотного профиля электронной концентрации по данным ИРНР на основе подбора параметров специальных сложных зондирующих сигналов и впервые создал программный комплекс, реализующий устойчивый метод восстановления высотного профиля, работающий полностью в автоматическом режиме в масштабе реального времени.

Созданный комплекс позволил оперативно обработать весь набор данных, измеренных на ИРНР, и получить высотно-временное поведение электронной концентрации в ионосфере над Восточно-Сибирским регионом, благодаря чему автором было проведено исследование поведения электронной концентрации в зависимости от сезона и уровня солнечной активности и получены новые научные результаты, характеризующие закономерности поведения ионосферы в данном регионе. Данные результаты имеют значение для дальнейшего развития теории физических процессов, происходящих в ионосфере в различных геофизических условиях. Важным практическим приложением результатов данной диссертации может стать, во-первых, методика автоматизации измерений высотных вариаций электронной концентрации ионосферы по сигналам некогерентного рассеяния. Во-вторых, полученные автором результаты могут послужить хорошим теоретическим фундаментом для построения и уточнения моделей динамических параметров ионосферы, имеющих как прикладное, так и научно-исследовательское значение. Можно отметить также оригинальное использование в качестве модели высотного хода  $N_e(r)$  слоя Чепмена с различными масштабными высотами выше и ниже максимума  $N_e(r)$ . Такой подход может быть применим при адаптации высотного хода, даваемыми сложными глобальными моделями ионосферы, к текущей ситуации.

Достоинством диссертации являются также полученные с помощью нового алгоритма длинные ряды данных, а именно большой набор профилей электронной концентрации для всех сезонов года в период низкой и умеренной солнечной активности над Восточно-Сибирским регионом, которые уже использовались для решения научных задач не только автором, но и различными исследовательскими коллективами.

Диссертация Алсаткина С.С. состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 97 страниц, 40 рисунков, 4 таблицы и список литературы из 113 наименований.

В первой главе представлены технические характеристики ИРНР, описаны основные его конструктивные особенности, отличающие его от других радаров ИР и способствующие измерению вариаций мощности принятого сигнала, обусловленных эффектом Фарадея. Описывается алгоритм подбора параметров (длительности и ширины полосы) зондирующего сигнала, позволяющий найти компромисс между разрешением по высоте и отношением сигнал/шум в зависимости от состояния ионосферы.

Во второй главе рассмотрена методика восстановления профиля электронной концентрации по измеренному профилю вариаций мощности принятого сигнала, вызванных эффектом Фарадея. Описываются алгоритмы автоматизации процесса вычисления профиля электронной концентрации и метод ускорения вычисления.

В третьей главе диссертационной работы представлены результаты исследований большого набора профилей электронной концентрации, полученных путем обработки экспериментальных данных ИРНР с помощью разработанного автором алгоритма полностью в автоматическом режиме. Данные соответствуют низкой и умеренной солнечной активности и разбиты по четырем временам года (зима, лето, весна и осень). Проводится сравнение суточных вариаций полного электронного содержания (ТЕС) в двух диапазонах высот — от 180 до 250 км и от 250 до 600 км — с данными ионозонда. Также проводится сравнение высотно-суточного хода электронной концентрации с моделями ионосферы IRI и GSM-TIP. На основе анализа экспериментальных данных автором сделаны обоснованные выводы о суточном ходе  $N_e$  при низкой и умеренной солнечной активности.

Основываясь на содержании работы, можно сделать следующие выводы. В диссертации получен ряд новых интересных научных результатов, имеющих определенное практическое значение. Достоверность результатов не вызывает сомнения, она основывается на физически корректных выбранных моделях и подтверждается представительной статистикой данных ИРНР и сопоставлением данных ИРНР и Иркутского ионозонда, показавшим хорошее их соответствие. Сформулированные в диссертации защищаемые положения полностью доказываются приводимыми материалами работы. Это дает основание считать, что полученные результаты достаточно обоснованы.

Основные результаты работы опубликованы в печати. У автора опубликовано 9 научных работ по теме диссертации, входящих в перечень ВАК или международные базы данных Scopus и Web of Science, и имеется одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертационная работа написана достаточно грамотно, содержит четкие, наглядные графики и рисунки.

В качестве замечаний по диссертации отметим следующее.

1. Недостаточно пояснена методика подбора оптимальных значений длительности и ширины спектра зондирующего сигнала на основе сравнения профилей вариаций мощности фарадеевских замираний.
2. Желательно было бы показать как выбор модели высотного хода электронной концентрации в виде слоя Чепмена с двумя значениями масштабных высот улучшает в отдельных случаях точность определения электронной концентрации в максимуме.
3. Приведенные результаты исследования морфологических особенностей поведения электронной концентрации на различных высотах полезно было бы дополнить данными сравнения с измерениями, выполненными на дигизонде, суточных усредненных часовых зависимостей концентрации в максимуме и высоты максимума.
4. Вполне уместным, на наш взгляд, было бы включение краткого описания структурной блок-схемы разработанного программного комплекса с уделением особого внимания его тестированию.

Отмеченные недостатки не снижают ценности и значимости полученных результатов и выводов и не носят принципиального характера.

## 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 актуальных научных и прикладных задач, ориентированных на создание систем дистанционного мониторинга ионосферы и атмосферы (п. 5 Паспорта специальности 1.3.4, а именно — Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач, а также методах дистанционного мониторинга гео-, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы). Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа Алсаткина С.С. удовлетворяет всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор — Алсаткин Сергей Сергеевич — заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 — Радиофизика.

Официальный оппонент  
Сажин Виктор Иванович,  
ФГБОУ ВПО «Иркутский  
государственный университет»,  
кафедра радиофизики и  
радиоэлектроники, профессор,  
докторская диссертация  
защищена по специальности  
01.04.03-«Радиофизика».  
Адрес: 664003, г. Иркутск,  
ул. бульвар Гагарина, 20.  
Телефон: 242194  
E-mail: sazhin@physdep.isu.ru;  
д.ф.-м.н., профессор

*В. Сажин* В.И. Сажин

Подпись Сажина Виктора Ивановича  
заверяю:  
Ученый секретарь университета

Н.Г. Кузьмина

25 сентября 2023г.

