

Отзыв

официального оппонента 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.

Диссертация Алсаткина Сергея Сергеевича посвящена развитию практических аспектов исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) на Уникальной научной установке — Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР). В работе рассматриваются основные части цикла исследования ионосферы методом НР от сигнальной информации к морфологическому анализу профилей электронной концентрации в рамках охваченной измерениями части цикла солнечной активности. Результаты диссертационного исследования являются собой развитие метода НР, разрабатываемого в ИЗСФ СО РАН, а ИРНР является частью развивающегося инструментального гелиогеофизического комплекса ИЗСФ.

Метод некогерентного рассеяния позволяет определять параметры ионосферы с высоким пространственным и временным разрешением, и его распространение ограничивается лишь дороговизной создания радаров НР. В мире насчитывается не более десятка таких радаров, среди которых ИРНР выделяется частотным диапазоном, что вместе с особенностями антенной системы определяет возможность независимого определения абсолютной величины электронной концентрации на ИРНР. Частотный диапазон ИРНР совпадает с диапазоном, используемым в РЛС дальнего обнаружения. Последнее обстоятельство значительно расширяет перспективы практического применения результатов диссертационного исследования.

В связи со всем вышесказанным, тема диссертации является **актуальной**.

Диссертация содержит 97 страниц текста, 30 рисунков, 4 таблицы, список литературы включает 113 наименований. Текст разделен на три основные тематические части - главы, каждая из которых обладает новизной, представляет научный и практический интерес.

Во введении определены цель и основные задачи исследования, научная новизна, актуальность, практическая ценность и достоверность полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит необходимые сведения о методе НР, устройстве ИРНР, зондирующих сигналах применительно к методу НР. Приводится описание разработанной методики подбора параметров сложных зондирующих сигналов для получения оптимальных характеристик измерений профиля мощности НР с учётом особенностей антенной системы ИРНР. Необходимость разработки такой методики обусловлена тем, что с течением времени изменяется электронное содержание ионосферы и его распределение, что приводит к существенным изменениям её радиолокационных свойств. Приводится разработанная автором аналитическая радиофизическая модель радиоэхо НР, проанализировав возможные состояния которой автор формулирует критерии выбора оптимальных параметров зондирующего сигнала.

Вторая глава посвящена непосредственно разработке метода восстановления профиля электронной концентрации профилей мощности НР ходе работы ИРНР. Методика основана на подборе параметров малопараметрической модели фарадеевских замираний с использованием инженерных упрощений при учете магнитного поля. Определяются и обосновываются граничные условия подбираемых параметров, применяемых упрощений. Описаны результаты различных научных групп, использовавших данные разработанного в диссертации метода в гелиогеофизических исследованиях. Описаны возникающие дополнительные возможности комплексирования данных двух рупоров ИРНР и дополнительного источника данных — ионозонда DPS - 4. Приводится способ оценки динамических характеристик перемещающихся ионосферных неоднородностей (ПИНВ)

длиной до 50 км при работе с DPS - 4, в том числе, позволяющий оценить параметры нейтрального ветра. Обсуждаются результаты сравнения результатов представленного метода ИР и радиозатменных данных.

Третья глава посвящена анализу результатов применения разработанного метода восстановления профиля электронной концентрации ионосферы $N_e(r)$ на массиве зарегистрированных данных ИРНР собранных в период с 2007 по 2014 г.г. Описываются наблюдаемые на этом периоде морфологические свойства ионосферы над восточносибирским регионом в условиях низкой и умеренной солнечной активности. Приведено сравнение данных, полученных разработанным методом с данными наблюдений (ионозонда DPS-4), а также данными теоретической модели ГСМ ТИП и эмпирико-статистической IRI - 2012.

В Заключение приводятся основные результаты, полученные при работе над диссертацией.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что:

- впервые разработана методика подбора параметров специальных сложных сигналов (длительность, ширина спектра), обеспечивающих оптимальное соотношение между разрешающей способностью и отношением сигнал/шум для Иркутского радара некогерентного рассеяния;

- впервые разработан работающий в автоматическом режиме в масштабе реального времени программный комплекс, реализующий устойчивый метод восстановления высотных профилей электронной концентрации (в том числе при малых ее значениях) по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния;

- впервые проведена автоматическая обработка всего набора данных Иркутского радара некогерентного рассеяния и осуществлено морфологическое исследование поведения электронной концентрации над Восточной Сибирью, в том числе во внешней ионосфере, в различных гелиогеофизических условиях.

Разработанные методика выбора зондирующих сигналов и программный

комплекс автоматической обработки данных ИР повышают качество решения задачи восстановления $Ne(r)$ профиля по данным ИРИР, расширяют диагностические возможности ИРИР для широкого спектра научных задач.

Полученные сведения о многолетних вариациях параметров ионосферы в восточносибирском регионе представляют интерес для развития глобальных и региональных моделей ионосферы. Последние могут быть полезны, в частности, для повышения качества оценки и учета влияния среды распространения в алгоритмическом обеспечении РЛС, дислоцированных в регионе.

Следует отметить высокую прикладную ценность диссертационного исследования для вновь создаваемых и модернизируемых радиолокационных станций метрового диапазона дальнего обнаружения в части разработки и обоснования применения метода ИР для обеспечения непрерывных, независимых ионосферных измерений, что особенно важно, т.к. зоны действия таких РЛС, как правило, расположены над морями и океанами, территориями сопредельных государств, где применение других методов определения параметров среды распространения затруднено.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректностью изложенных математических моделей, сходимостью сравнения результатов с другими измерительными средствами, моделями ионосферы различных классов, соответствием литературным описаниями наблюдаемых явлений, а также апробацией представленных результатов на российских и международных научных конференциях.

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК или в международные реферативные базы Scopus и Web of Science. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Диссертационная работа Алсаткина С.С. 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 ...»

К недостаткам диссертации можно отнести:

1. Одним из выводов главы 2 автором заявлены границы устойчивости алгоритма расчета высотного хода $NmF2$ от $2 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^6$ см⁻³. Из текста не понятно, как были определены эти цифры. Отметим, что, учитывая универсальность подхода и приведенные в главе 2 случаи успешного применения разработанного метода в более широком диапазоне концентраций, сомнений в работоспособности метода в указанных границах не возникает.

2. Результаты разработанного метода сравниваются с данными моделирования ионосферы. Среди выбранных моделей ионосферы (ГСМТИП и IRI-2012) отсутствует класс корректируемых моделей (например, IRTAM, SIMP-2), сравнение с которыми придало бы исследованию, вероятно, еще более прикладной характер.

3. Раздел 3.3 посвящен сравнению результатов метода с данными ионозонда DPS-4. Ионозонд, реализующий метод вертикального радиозондирования ионосферы, позволяет с высокой точностью определять значения плазменных частот ионосферы, хоть и обладает известными ограничениями. Одно из этих ограничений – определение параметров ионосферы только ниже высоты максимума ионизации, о чем автор упоминает в обсуждении результатов главы 2. В связи с этим, непонятно, с какой целью автор обращается к сравнительному анализу интегральной концентрации в двух высотных диапазонах, один из которых (250 - 600 км) заведомо включает значительную часть верхней ионосферы.

4. В разделе 2.2, в контексте описания возможности исследования ПИВ, автор сравнивает вариации параметров критической частоты $foF2$ и максимума $hmF2$, определенных одновременно ионозондом DPS-4 и разработанным методом, и характеризует это сравнение как «хорошее согласие». Украшением работы

(и логичным дополнением раздела 3.3) могли бы стать количественные характеристики такого сравнения.

Перечисленное выше, в целом, носит рекомендательный характер, не подвергает сомнению основные выводы и положения диссертации и не снижают высокую научную ценность диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Сергея Сергеевича Алсаткина представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой достигнута цель исследований и решены все поставленные задачи. В ней содержится решение актуальной научной задачи, имеющей значение для развития метода НР диагностики ионосферной плазмы на ИРНР, исследования ионосферы над восточносибирским регионом.

Тема диссертационного исследования является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны.

Научные результаты диссертации полностью опубликованы и корректно отражают сущность выполненных исследований. Основные результаты диссертационной работы доложены на научных конференциях различного уровня. Научные и практические результаты получены автором самостоятельно.

Автореферат соответствует диссертации и в достаточном объеме отражает положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе.

Диссертация Алсаткина Сергея Сергеевича «Метод восстановления высотного профиля электронной концентрации на основе малопараметрической модели фарадеевских замираний», представляет собой цельное исследование, выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям пунктов «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к дис-

сертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Алсаткин Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 - Радиофизика.

Официальный оппонент

ведущий инженер-аналитик, отдел 039/4/1 НТЦ ПАО,

АО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца» (АО РТИ),

кандидат физико-математических наук,

Филиппов М.Ю.

25.00.29 — Физика атмосферы и гидросферы

127083, г.Москва, ул.8 Марта, дом 10, стр.1

Тел. +7(926)364-59-31, e-mail: mfilippov@rti-mints.ru

Подпись Михаила Юрьевича Филиппова заверяю

Учёный секретарь АО РТИ, д.т.н.



Д.И. Буханец

« 07 » сентября 2023 г