

ОТЗЫВ официального оппонента на диссертационную работу
Першина Александра Владимировича
«Экспериментальное исследование и моделирование распространения
коротких радиоволн в спокойной и возмущенной ионосфере»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Коротковолновая (КВ) радиосвязь сохраняет свою актуальность и востребованность несмотря на интенсивное развитие в последние десятилетия других видов связи, использующих спутниковые и оптоволоконные каналы. К ее несомненным достоинствам следует отнести значительную дальность действия, живучесть, относительно низкую стоимость и простоту организации связи с подвижными объектами. Исходя из вышеперечисленного особое значение КВ радиосвязь имеет для применений, связанных с обеспечением обороноспособности государства. Кроме того КВ радиоканалы используются и в задачах сверхдальней загоризонтной радиолокации.

В то же время, так как для функционирования КВ радиоканалов используются резонансные свойства среды распространения, а именно ионосферы Земли, то различные нестационарные ионосферные неоднородности как естественного, так и искусственного происхождения оказывают значительное влияние на качество связи. При этом, в сильно возмущенных условиях из-за поглощения радиосигнала связь на коротких волнах становится практически невозможной. По этой причине для обеспечения надежной работы радиоэлектронных систем в различных геофизических условиях важнейшей задачей является мониторинг ионосферного канала и выбор оптимального диапазона частот по результатам зондирования для организации радиолинии и обеспечения требуемой надежности КВ радиосвязи.

Таким образом, исследования особенностей распространения КВ сигналов на стратегически важных трассах наклонного зондирования для определения границ ионосферных изменений при воздействии солнечной и геомагнитной активности различной интенсивности, а также моделирование распространения радиоволн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной ионосфере в условиях волновых возмущений различной природы и развитие методов прогнозирования и экстраполяции параметров ионосферного канала **несомненно являются крайне актуальными задачами.**

Диссертационная работа хорошо структурирована и состоит из введения, трех содержательных глав, заключения и списка цитируемой литературы.

В **первой главе** представлен обзор аппаратно-программного комплекса для наклонного зондирования ионосферы сигналами с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) и рассмотрены преимущества такого зондирования в сравнении с традиционными (импульсными) ионозондами. С использованием созданного комплекса обеспечено проведение непрерывного многомесячного мониторинга ионосферы на трассах в различных геофизических условиях. Создана база данных ионограмм наклонного ЛЧМ зондирования и ключевых параметров ионосферного канала на субавроральных и среднеширотных трассах с доступом по сети Интернет.

Показана возможность использования сети зондов с ЛЧМ для регистрации и оценки скорости и направления движения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИНВ).

Во **второй главе** приведены результаты экспериментальных исследований в различных геофизических условиях и моделирования распространения коротких радиоволн на трассах наклонного зондирования в приближении распространения сигнала в плоскости дуги большого круга (ДБК) с пренебрежением влияния поперечных градиентов.

Выполнена экстраполяция максимально применимой частоты на трассы, не оснащенные средствами диагностики, путем адаптации ионосферной модели IRI-2007 (IRI-2016) при сопоставлении реальных экспериментальных данных наклонного зондирования с результатами моделирования распространения сигнала в плоскости ДБК в ионосфере, задаваемой моделью. Показано, что при спокойной геомагнитной обстановке данный метод может быть достаточно эффективным с ошибкой прогноза ~ 2-8 %.

Исследовано распространение КВ сигналов в условиях геомагнитной возмущенности в высоких и средних широтах. Показано, что влияние магнитных бурь проявляется в уменьшении максимальной наблюдаемой частоты F -моды. Изучено влияние частного солнечного затмения на характеристики ионосферного канала.

Третья глава посвящена моделированию ионосферного распространения коротких радиоволн в условиях трехмерно-неоднородной ионосферы при наличии поперечных градиентов электронной концентрации. Результаты моделирования влияния ПИНВ на характеристики КВ радиосигналов при слабонаклонном распространении сопоставлены с экспериментальными данными и сделаны оценки направленно-скоростных характеристик перемещающихся возмущений. Продемонстрировано образование многолучевости сигнала при наличии ПИНВ.

Представленная Першиным А.В. диссертация является результатом сложного, значительного по объему полученных данных, целенаправленного исследования и

представляет его логическое завершение. Диссертант получил **важные с теоретической и практической точки зрения результаты**, существенно расширяющие и углубляющие научные знания об эффектах распространения коротковолнового радиоизлучения в спокойной и возмущенной ионосфере.

Научная новизна работы определяется полученными оригинальными результатами и заключается в следующем:

1. разработаны и экспериментально проверены методы прогнозирования и экстраполяции максимальной применимой частоты на трассы, неоснащенные средствами диагностики, путем адаптации ионосферной модели IRI к условиям распространения радиоволн по данным наклонного ЛЧМ-зондирования на субавроральных трассах;
2. определены направленно-скоростные характеристики ПИВ по данным наклонного ЛЧМ зондирования на слабонаклонной среднеширотной трассе;
3. определен диапазон изменений максимальной и наименьшей наблюдаемых частот в различных гелиогеофизических условиях по данным наклонного ЛЧМ-зондирования на субавроральных трассах и даны рекомендации для нейтрализации неблагоприятных воздействий возмущений на работу систем КВ радиосвязи.

Соискатель по теме диссертации имеет 24 опубликованные научные работы, в том числе: 7 статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также 17 работ в материалах международных, всероссийских и региональных научных конференций.

Диссертационная работа **соответствует паспорту специальности 1.3.4 – Радиофизика. Тема диссертации соответствует отрасли физико-математических наук.**

Все основные научные положения и выводы, сделанные в диссертации, достаточно полно и убедительно обоснованы.

Достоверность и обоснованность результатов, определяемая использованием значительного объема экспериментальных данных, использованием современных методов математического моделирования и статистических методов обработки данных, а также согласованием с результатами других авторов, **не вызывает сомнений.**

Автореферат соответствует содержанию диссертации, а основные положения и результаты работы опубликованы.

Несмотря на высокий научный теоретический и экспериментальный уровень диссертационной работы Першина А.В., по ней можно сделать ряд вопросов и замечаний:

1. Для экспериментального исследования ионосферы в качестве базовой радио приемо-передающей станции зондирования использовано оборудование фирмы «SITKOM» LLC (г. Йошкар-Ола). Обоснования выбора этого производителя и сравнения с другими ЛЧМ-ионозондами в работе не представлено.
2. В диссертационной работе исследуются вопросы распространения коротких радиоволн в спокойной и возмущенной ионосфере. При этом рассмотрены только естественные гелиогеофизические возмущения. В какой мере можно использовать полученные результаты для искусственных ионосферных возмущений?
3. Результаты определения направленно-скоростных характеристик ПИВ по данным наклонного ЛЧМ зондирования на слабонаклонной среднеширотной трассе сопоставлены только с усредненными оценочными параметрами среднемасштабных ПИВ. Не ясна погрешность определения параметров ПИВ по данному методу. Кроме того, для полноценной валидации этих результатов, следовало бы провести измерения характеристик ПИВ в одном эксперименте различными методами и сопоставить полученные результаты.
4. В работе встречаются опечатки и орфографические ошибки, к примеру, на стр. 17 «... для исследования ионосферы с использование ионозонда с ЛЧМ» или на стр. 23 «Частота F_p разностного сигнала $A(t)$ можно получить...».

Указанные вопросы и замечания не умаляют научной ценности диссертационной работы и не затрагивают ее основных положений.

Диссертационная работа Першина Александра Владимировича «Экспериментальное исследование и моделирование распространения коротких радиоволн в спокойной и возмущенной ионосфере» **соответствует критериям**, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. В соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней диссертационная работа Першина А.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития знаний в области ионосферного распространения коротковолнового радиоизлучения и обеспечения надежной работы соответствующих радиоэлектронных систем в различных геофизических условиях.

Считаю, что диссертационная работа «Экспериментальное исследование и моделирование распространения коротких радиоволн в спокойной и возмущенной ионосфере» **удовлетворяет всем требованиям**, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, а ее автор, Першин Александр Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.



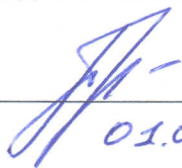
(01.04.03 - радиофизика)

Белов Алексей Сергеевич,
кандидат физико-математических наук,
заместитель начальника научно-исследовательского отделения – начальник научно-исследовательского отдела разработки антенно-фидерных систем филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»,
603952, Россия, г. Нижний Новгород,
Бокс № 486, тел. (831) 469-52-20,
e-mail: aBelov@niiis.nnov.ru.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», 607188, Нижегородская обл., г. Саров, проспект Мира, д. 37.

Подпись Белова Алексея Сергеевича заверяю:

Ученый секретарь филиала,
кандидат технических наук



01.09.2018



Г.В. Труфанова