

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Терещенко Павла Евгеньевича на тему «Особенности возбуждения и распространения электромагнитного поля в диапазоне частот менее 300 Гц от заземленного или заводненного горизонтального излучателя»

по специальности 1.3.4– Радиофизика

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

В настоящее время диапазон частот ниже 300Гц, включающий в себя крайне низкие частоты (КНЧ, 0-30Гц) и сверхнизкие частоты (СНЧ, 30-300Гц), привлекает многих исследователей. Это связано с рядом специальных задач практики и большими возможностями этого диапазона в исследованиях ионосферы и литосферы. Этим определяется **актуальность** рассматриваемой диссертации.

Новизна исследования и полученных результатов

Новизна исследования определяется тем, что в работе **впервые** проведены комплексные исследования диапазона частот ниже 300Гц, сочетающие уникальные крупномасштабные эксперименты и их интерпретацию с помощью численного моделирования. Это открывает **новые** возможности в исследованиях литосферно-ионосферных взаимодействий.

Достоверность и обоснованность результатов и положений диссертационной работы

- подтверждается использованием современных методов измерений, выбором оптимальных программных сред для разработки вычислительных программ;
- обеспечивается репрезентативным объемом проведенных комплексных измерений и обработанных на их основе данных;
- обеспечивается использованием современных теоретических представлений о процессах в ионосферной плазме и соответствием с результатами, полученными другими авторами.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 2 приложений. Полный объём диссертации составляет 221 страницу, включая 74 рисунка и 6 таблиц.

Список литературы содержит 171 наименование.

В работе условно можно разделить на следующие составные части. Во-первых, здесь имеются экспериментальные исследования и теоретическое осмысление результатов этих исследований. Во-вторых, диапазон 0-300Гц весьма протяженный и включает в себя различные механизмы. Если волны КНЧ (0-30Гц) вблизи источника хорошо описываются

в квазистационарном приближении, то более высокий диапазон СНЧ (30-300Гц) существенно зависит от ионосферы и здесь характеристики распространения приближаются к волноводным. Соответственно работа состоит из четырех глав. Первая и вторая главы посвящены теоретическим вопросам распространения волн без учета ионосферы (первая глава) и с учетом ионосферы (вторая глава). Примерно также разбита экспериментальная часть (третья и четвертая главы).

В первой главе для поля гармонической волны из уравнений Максвелла получены уравнения и граничные условия для векторного потенциала, для которых затем методом разделения переменных получено решение при расположении источника на границе двух однородных сред. Это решение используется для исследования поля под поверхностью раздела двух сред в низкочастотном приближении при расположении линейной антенны на границе раздела. Кроме того, исследуется влияние на поле многослойности среды в нижнем полупространстве. При уменьшении длины волны в нижнем (проводящем) полупространстве найдено асимптотическое выражение для магнитного поля на границе раздела.

Во второй главе приводится аналогичное решение задачи при наличии вышележащей среды (ионосферы). Это решение используется для оценки влияния ионосферы на низкочастотное поле. Отмечается, что даже на малых расстояниях имеется связь горизонтальных компонент КНЧ поля с состоянием ионосферы.

В главе 3 приводятся результаты экспериментальных исследований СНЧ волн, возбуждаемых горизонтальной заземленной антенной в волноводе Земля-ионосфера. Для интерпретации результатов используются формулы (3.1) для нулевой моды, полученные в отличие от результатов первых двух глав с учетом сферичности волновода Земля-ионосфера. Также показано, что существенным при описании распространения СНЧ поля в волноводе Земля-ионосфера является корректный учет проводимости литосферы, особенно в областях с пониженной проводимостью. Полученные результаты отражают чувствительность радиоволн СНЧ диапазона, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера к состоянию ионосферы и к ее изменениям при смене условий освещенности Солнцем во время затмения, а также показывают потенциальные возможности использования контролируемых СНЧ источников для мониторинга состояния нижней ионосферы. Экспериментально обнаружена связь характеристик СНЧ сигнала с геологическими разломами.

В главе 4 исследуется распространение низкочастотных волн на расстоянии, превышающем несколько высот ионосферы, где влияние ионосферы возрастает. Приводятся результаты эксперимента, показавшие качественное соответствие измеряемых

зависимостей амплитуды магнитного поля и теоретических расчетов по формулам главы 2, учитывающих волноводное распространение. В измерениях поляризационных характеристик отмечается лучшее согласие с теоретическими расчетами для частот выше 10 Гц, что свидетельствует о неоднородности подстилающей поверхности. Это показано на двухслойной модели. Приведены исследования структуры альвеновских резонансов и наблюдения эффектов горизонтальной неоднородности и суббури.

Для интерпретации экспериментальных данных используется решение двухмерного телеграфного уравнения для плоского однородного изотропного волновода с источником в виде горизонтального электрического диполя, из которого с помощью асимптотик и разложения в ряд получены формулы для поля волны на различных расстояниях.

В **заключении** изложены основные результаты, полученные в ходе исследований. Несмотря на все сильные стороны диссертационной работы, имеется ряд замечаний:

1. В теоретической части отсутствует оценка влияния сферичности задачи, хотя на низких частотах эта сферичность может быть существенной даже на малых расстояниях.
2. Вызывает сомнение использование понятий амплитуды и фазы в низкочастотной части диапазона, где используется квазистатическое приближение.
3. Недостаточно полно используются результаты разрабатываемой теории при интерпретации экспериментальных данных.
4. Нет обоснования для использования здесь параметров Стокса, которые обычно используются для поперечных компонент плоской квазимонохроматической волны.

Диссертация написана в основном четким ясным языком, но встречаются некоторые шероховатости в изложении:

- 1) Во Введении (стр. 14) фразу «Произведен переход от системы дифференциальных уравнений к интегральной форме электрического вектор-потенциала» лучше было заменить более принятой «Получено решение системы дифференциальных уравнений».
- 1) На рисунках часто плохо различимы обозначения.
- 2) Нет определения характеристики диполя Δx в (1.22), оно появляется в конце диссертации.
- 3) На стр. 66 неудачная фраза «...позволило оценить эффективность подхода к определению поля, опирающегося на малость **длины волны** в проводящей среде по сравнению с **вакуумом**».

4) Некорректный номер уравнения (13) на стр. 132.

5) Нет вывода или ссылки для уравнения 4.18 на стр. 170.

Однако данные недостатки несущественны для высокой оценки работы. В работе получены и проинтерпретированы очень интересные экспериментальные данные о распространении низкочастотных волн СНЧ и КНЧ диапазонов, что открывает **новое направление** в использовании этих еще малоизученных диапазонов в исследовании процессов в ионосфере и литосфере. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Считаю, что работа Терещенко Павла Евгеньевича «Особенности возбуждения и распространения электромагнитного поля в диапазоне частот менее 300 Гц от заземленного или заводненного горизонтального излучателя» полностью соответствует всем требованиям ВАК к докторским диссертациям (пункты 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»), а диссертант заслуживает присуждения искомой степени.

Официальный оппонент, д. ф.-м. н., профессор,

Иркутский государственный университет,

Научно-исследовательский институт прикладной физики

Главный научный сотрудник

М.В. Тинин

664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 20,

тел: (3952) 521268, e-mail: mtinin@api.isu.ru

Диссертация защищена по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Подпись Тинина Михаила Валентиновича заверяю:

