

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Михалёвой Елизаветы Вячеславовны
«Математическое моделирование влияния неоднородной структуры
ионосферы Земли на распространение декаметровых радиоволн»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

Диссертационная работа Михалёвой Елизаветы Вячеславовны посвящена развитию методов расчета и математического моделирования распространения декаметровых радиоволн в условиях влияния перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) на вертикальных и квазивертикальных (слабонаклонных) радиопереходах. **Актуальность решаемой задачи** продиктована тем, что ПИВ оказывают существенное влияние на распространение радиоволн декаметрового диапазона, а совокупный учет явлений, связанных с формированием и распространением ПИВ является сложной задачей, имеющей в настоящее время ряд неизученных вопросов. Несмотря на имеющиеся достижения имеют место также проблемы исследования при моделировании процессов распространения и дифракции электромагнитных волн методом бихарактеристик с учетом нестационарности среды распространения и волновой теории катастроф.

В диссертационной работе Михалёвой Е.В. решена задача разработки методов обработки линейно частотно-модулированных сигналов для определения характеристик перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), учитывающих образование сложных каустических структур, возникающих на ионограммах наклонного и слабонаклонного зондирования.

Методом бихарактеристик получены результаты исследования особенностей распространения радиоволн декаметрового диапазона в ионосфере Земли, содержащей ПИВ, при слабонаклонном радиозондировании. В расчетах показано, что при наличии ПИВ возникает каустическая структура типа «каустическое острие» (волновая катастрофа A_3), что отражается на доплеровских кривых в виде S-образных линий и петель.

Установлено, что на частотах радиосигналов, отражающихся в окрестности максимума Е слоя, а также на частотах, отражающихся в окрестности ПИВ возникает каустика и область трехлучевости. Кривые группового времени запаздывания и угла выхода радиосигнала от частоты в обоих случаях имеют одну и ту же качественную зависимость. Получено, что расходимости и амплитуды принятых сигналов (без учета поглощения), для о- и х-волны приблизительно одинаковы и отличаются только сдвигом по частоте, расходимость резко убывает в окрестности каустики и резко нарастает при приближении частоты к частоте просачивания волны.

Автором предложен амплитудный метод восстановления эффективной частоты соударений электронов в ионосферной плазме по данным об ослаблении и запаздывании частотно-модулированных радиосигналов как при вертикальном, так и при слабонаклонном радиозондировании ионосферы Земли.

Вышеперечисленные результаты определяют научную **новизну** данной работы. Полученные теоретические результаты и модельные расчеты хорошо согласуются с выводами работ других авторов, многократно докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях, что свидетельствует об их **обоснованности**. **Достоверность** сделанных в работе выводов обуславливается тем, что они получены на основе современных лучевых методов (в частности метода бихарактеристик), методов волновой теории катастроф, а также современных методов численного моделирования.

Практический интерес представляют методы и алгоритмы, развитые в диссертационной работе, которые позволяют эффективно моделировать распространение радиоволн, отражающихся от ионосферы Земли между передатчиком и приёмником с учетом неоднородности, анизотропии и нестационарности среды распространения. Разработанные подходы позволяют рассчитывать ионограммы, амплитуды и фазы радиосигналов, восстанавливать эффективную частоту соударений электронов, что с практической точки зрения актуально для решения задач диагностики ионосферы Земли, прогнозирования каналов КВ радиосвязи, решения задач радиолокации и радионавигации.

Научные результаты, вошедшие в основу защищаемых положений диссертации, опубликованы в 27 научных работах, из них 7 статей опубликовано в журналах, рекомендованных ВАК. Результаты также успешно доложены автором на российских и международных конференциях.

К работе имеется ряд **замечаний**:

1. В работе не представлены пояснения о характере исследуемых радиолиний, для которых рассчитывались ионограммы: область анализируемых широт, сезонные условия.
2. Рассмотренные в диссертации характеристики ПИВ, а именно: ориентации, направления их движения недостаточно подробно описаны в работе.
3. В диссертации рассмотрено образование волновой катастрофы A_3 (каустическое остриё) при отражении радиоволн от ПИВ и исследована структура поля в многолучевой области. К сожалению, из текста диссертации неясно, могут ли при определенных условиях образовываться каспoidные катастрофы более высоких порядков.
4. В диссертации не рассмотрено влияние горизонтальных градиентов на восстановление эффективной частоты соударений электронов при слабонаклонном зондировании ионосферы.
5. При рассмотрении особенностей распространения частотно модулированных сигналов, автор приводит анализ частного случая, а именно сигналов с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ).
6. Работа бы выиграла, если были бы включены и рассмотрены вопросы ограничения и области применения разработанных методов.

Перечисленные замечания **не влияют на общую положительную оценку диссертации.**

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно его раскрывает.

Заключение по работе

Считаю, что диссертационная работа Михалёвой Е.В. представляет собой завершённый научный труд, выполненный на высоком профессиональном уровне, в котором решаются важные в научном и практическом плане задачи. Представленные в диссертации результаты достоверны и соответствуют экспериментальным данным других авторов. Ценность полученных результатов также подтверждается наличием публикаций в российских и зарубежных научных журналах с высоким индексом цитирования.

Диссертация Михалёвой Елизаветы Вячеславовны «Математическое моделирование влияния неоднородной структуры ионосферы Земли на распространение декаметровых радиоволн» соответствует паспорту

Официальный оппонент:

Рябова Наталья Владимировна



ЗАВЕРЯЮ
 Специалист по персоналу
 1 категории ДПид
 ФГБОУ ВО «ПГТУ»

Ж. Кус / Желонкин Н. Н.
10.04.2025

Контактные данные:

Адрес места работы:

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
Тел.: + 7 (836) 268-78-08; +7 (836) 245-53-44
e-mail info@volgatech.net