

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Лукина Дмитрия Сергеевича

на диссертационную работу

«Прямой вариационный метод для расчета траекторных характеристик КВ радиотрасс в ионосфере»

Носикова Игоря Анатольевича,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.03 – «Радиофизика»

1. Актуальность темы диссертации и соответствие специальности

Диссертация Носикова Игоря Анатольевича посвящена моделированию лучевых характеристик на основе вариационного подхода и разработке на этой основе методов расчета распространения радиоволн коротковолнового диапазона. Отметим, что в течении свыше ста лет лучевые методы являются главным инструментом решения многих важных задач распространения коротких радиоволн в ионосфере Земли, к которым следует отнести прогнозирование коротковолновой радиосвязи, задачи загоризонтной радиолокации, позиционирования и радионавигации, а также проблемы мониторинга ионосферы – верхней части атмосферы Земли.

В настоящее время традиционным методом построения лучевых траекторий в неоднородных магнитоактивных средах является метод бихарактеристик, развитый в наших работах. Зарубежным аналогом такого подхода является метод Дж. Хазельгроф, первоначально полученный на основе работ Льва Анатольевича Жекулина тридцатых годов о взаимных поверхностях фазового и группового фронта волны в ионосферной плазме. Простота и универсальность метода бихарактеристик позволяет определить все лучи, приходящих из источника в приёмники,

расположенные в любой точке области засвечиваемой диаграммой направленности передатчика, определить интерференционную и дифракционную структуру волнового поля, групповое запаздывание сигнала, доплеровское смещение частоты сигнала (если источник или точка наблюдения движутся), что особенно актуально для задач загоризонтной радиолокации.

Несмотря на то, что в настоящее время разработаны пакеты программ, уверенно решающие эти задачи в рамках метода бихарактеристик, проблема оперативной коротковолновой связи между двумя точками, разнесёнными на большое расстояние не перестала быть актуальной. Поэтому разработка автором диссертации альтернативного вариационного подхода, позволяющего решать двухточечную задачу с заданными положениями передатчика и приёмника, не обращаясь напрямую к методу бихарактеристик, является **актуальной**.

Тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

2. Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка цитируемой литературы, содержащего 130 ссылок, списка рисунков, приложения и благодарностей. Основные результаты работы изложены в выводах в конце каждой главы, а также в заключении.

Во введении дана общая характеристика работы: сформулированы актуальность темы диссертации, цель и задачи диссертационной работы, научные положения, выносимые на защиту, научная новизна работы, практическая значимость, достоверность полученных результатов и личный вклад автора, приведены данные о структуре и объеме

диссертационной работы и публикациях автора. Кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе автором изложены общие сведения о распространении коротких радиоволн в ионосфере. Кратко рассмотрены различные асимптотические подходы к описанию распространения радиоволн в ионосфере. Упомянуты метод канонического оператора Маслова, теория катастроф, метод фазового экрана, приближение геометрической оптики, метод гауссовых пучков и др. Опираясь на уравнение Гельмгольца, приведен вывод бихарактеристической системы, сформулирована задача Коши о расчете лучевых траекторий и приведены различные примеры лучевого распространения в ионосфере Земли. Дан обзор методов и моделей, использующих приближение геометрической оптики в задачах о распространении радиоволн. В последнем разделе рассмотрены два метода решения двухточечной задачи: метод «пристрелки», который автор упорно называет методом стрельбы, и вариационный подход, основанный на принципе Ферма и первоначально наиболее последовательно рассмотренный К. Коулманом.

Во второй главе рассмотрен новый вариант прямого вариационного метода для решения граничной задачи Коши о расчете лучевых траекторий распространения радиоволн в ионосфере, основанный на прямой минимизации функционала фазового пути. Предложенный вариант вариационного метода позволяет определять по терминологии автора «верхние» и трансionoсферные лучи. В главе рассмотрены типы экстремумов функционала радиолуча и предложена методика идентификации экстремумов.

Третья глава посвящена изложению основных методов и алгоритмов, разработанных в диссертации для расчета лучевых траекторий на основе вариационного принципа Ферма. Описан метод определения «нижних лучей», основанный на новом способе расчета вектора фиктивной обобщенной силы. Сформулирован единый подход к поиску как минимумов, так и седловых точек, основанный на понятии обобщенной силы и оптимальном выборе начальных приближений. Показано применение предложенного метода для поиска «верхних» и «нижних» лучей в модельной ионосфере, в том числе на примере трехмерной модели.

В четвертой главе приведены результаты численного моделирования радиотрасс с использованием методов вариационного подхода, разработанных автором. В первом разделе рассмотрены особенности построения лучевых траекторий в параболическом слое, как в среде, где присутствуют разрывы производной функции электронной концентрации. Выполнено исследование двухслоевой экспоненциальной модели ионосферы, в которой образуются два «верхних» и два «нижних» луча. Также рассмотрена модель, содержащая ионосферную неоднородность и позволяющая выявить восемь лучей в точке приёма.

Во втором разделе проведен численный расчёт радиотрасс в модели IRI-2007 и выполнено сравнение результатов расчетов с методом стрельбы. Рассмотрен пример моделирования с учётом плавных ионосферных возмущений. В третьем разделе кратко описана методика синтезирования дистанционно-частотных характеристик наклонного зондирования.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационных исследований.

В целом диссертация является завершённым научным трудом, хорошо оформленным, результаты которого полностью соответствуют

поставленным целям и задачам. Диссертация и автореферат написаны ясным языком, стиль изложения – последовательный, строгий.

3. Новизна исследований и полученных результатов, научная и практическая ценность

Новизна исследований состоит в следующем:

1. Предложен новый вариант прямого вариационного метода для решения граничной задачи о расчете лучевых траекторий распространения радиоволн коротковолнового диапазона в ионосфере.

2. Показано, что так называемые «нижние» лучи в вариационной задаче соответствуют седловым точкам функционала фазового пути. Разработан и реализован алгоритм поиска как минимумов, так и седловых точек, основанный на понятии обобщенной силы.

3. Выполнено численное моделирование радиотрасс с использованием методов вариационного подхода как для простых модельных задач, так и для модели IRI-2007 с учётом вертикальных и горизонтальных неоднородностей среды распространения. Разработана методика синтезирования дистанционно-частотных характеристик наклонного зондирования на основе вариационного подхода.

Созданные методы и модели способствуют более глубокому пониманию особенностей распространения радиоволн в ионосфере и решению важных практических задач.

Практическая значимость. Разработанные в диссертации методы и алгоритмы найдут применение при определении радиотрасс в ионосфере в прямых задачах связи между передатчиком и приёмником и могут способствовать улучшению качества радиосвязи. Их применение может оказаться также востребованным при исследовании и моделировании динамики ионосферной плазмы, в частности, при моделировании радиотрасс наклонного зондирования ионосферы.

Разработанный автором комплекс программ может быть также использован для решения прикладных задач в различных областях радиофизики.

4. Достоверность полученных результатов исследования

Достоверность следует из корректного использования в диссертации математического аппарата и методов моделирования, из качественного и количественного сопоставления результатов, полученных автором вариационным методом и результатов, полученных в рамках традиционного подхода – метода бихарактеристик.

5. Личный вклад автора

Основные результаты диссертационной работы Игоря Анатольевича Носикова получены лично автором под руководством научного руководителя. Им построены численные схемы исследования функционала оптической длины пути и показано существование минимумов и седловых точек функционала фазового пути радиолуча, разработаны метод обобщенной силы и алгоритм глобальной оптимизации, реализован комплекс программ на языке C++ для расчта радиотрасс в ионосфере, проведены численные результаты по расчету радиотрасс, осуществлена верификация и валидация созданного комплекса программ.

6. Апробация работы

Результаты диссертационной работы неоднократно докладывались автором на всероссийских и международных конференциях и симпозиумах. **По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из которых 4 – в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК**

Минобрнауки России для публикации основных научных результатов.

Ценность научных работ соискателя вытекает из научной новизны и практической значимости работы, а также подтверждается публикацией её результатов в рецензируемых научных журналах и включением докладов по теме диссертации оргкомитетами в программы ведущих всероссийских и международных конференций. Достоинством работы является привлечение автором результатов из других областей физики, в которых решаются аналогичные задачи.

7. Замечания по работе

1. К сожалению, методы, предложенные автором диссертации, не реализованы в случае распространения радиоволн в анизотропной ионосфере, а также в условиях многоскачкового распространения.
2. В диссертации и положениях, выносимых на защиту, автор указывает на преимущество вариационного подхода по сравнению с рассмотренным им методом пристрелки. Это утверждение преждевременное. Существуют реализации пристрелки методом характеристик, позволяющие за приемлемое время не только найти все ионосферные каналы распространения сигнала между источником и приёмником, но и учесть каналы связи, возникающие при многоскачковом распространении. При этом включаются в рассмотрение различные модели магнитного поля. В данном случае правильнее было бы отметить, что построенная автором реализация метода пристрелки, оказалась менее эффективной, чем вариационный подход.
3. В работе не описана эффективность алгоритмов и программ на количественном уровне: точность и быстродействие.
4. В работе не описано, как по опорным точкам строится лучевая траектория.

5. Выбранную автором терминологию «верхние» и «нижние» лучи, для лучей соответствующих локальным минимумам и седловым точкам фазовой функции, нельзя считать удачной, поскольку «верхние» лучи не всегда оказываются верхними, а «нижние» нижними. Нижние лучи образуют верхнюю каустику, вблизи которой всегда будут седловые точки. Большая часть верхних лучей образуют нижнюю каустику (на границе мёртвой зоны) и в окрестности этой каустики также будут седловые точки. В промежутке между верхней и нижней каустиками, кроме седловых точек, будут локальные минимумы, число которых равно числу лучей, проходящих в данную точку.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

8. Заключение

Таким образом, диссертация Игоря Анатольевича Носикова «Прямой вариационный метод для расчета траекторных характеристик КВ радиотрасс в ионосфере» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний – радиофизики. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.03 – Радиофизика (физико-математические науки), поскольку она посвящена изучению процессов распространения волн в естественных средах (пункт 2 паспорта специальности).

Работа имеет целостную структуру. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Считаю, что представленная диссертационная работа Носикова Игоря Анатольевича удовлетворяет требованиям пунктов 9 – 11, 13, 14

«Положения о присуждении ученой степени», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, а её автор, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Официальный оппонент

Д. С. Лукин

Лукин Дмитрий Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник

Автономной некоммерческой организации высшего образования «Российский Новый Университет» (АНО ВО РосНОУ)

105005, г. Москва ул. Радио, д.22.

Тел.: 8 916 115 21 03. E-mail: luknet1@yandex.ru

Подпись главного научного сотрудника АНО ВО РосНОУ, доктора физико-математических наук, профессора Лукина Дмитрия Сергеевича

ЗАВЕРЯЮ

29 апреля 2021г.



Подпись Лукина Д.С.
ЗАВЕРЯЮ

АНО ВО РосНОУ
Маслаев И.В. - зам. дир. отдела кадров
Соловьев Н.В.