

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.02,**  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова  
Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени  
кандидата наук.

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19 ноября 2021 г., № 18

**О присуждении Бова Юлии Игоревне, гражданке России ученой степени  
кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему «**Исследование особенностей распространения радиоволн в ионосферной плазме методами бихарактеристик и волновой теории катастроф**» принята к защите 13 августа 2021, протокол № 14, диссертационным советом 24.1.111.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая. Д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397–1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Бова Юлия Игоревна, 1984 года рождения, в 2007 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тамбовский государственный технический университет, по направлению подготовки «Метрология стандартизация и сертификация». Диплом магистра техники и технологии.

В период с 17.10.2016 г. по 17.03.2017 г. в качестве экстерна сдала кандидатские экзамены по направлению подготовки 09.06.01. Информатика и вычислительная техника, направленность «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (специальность 05.13.18),

В период с 26.04.2021 г. по 26.06.2021 г. была прикреплена к аспирантуре ИРЭ РАН, в качестве экстерна сдала кандидатские экзамены по специальности 01.04.03 Радиоп физика.

Работает техником отдела засекреченной связи 14 Главного центра связи Генерального Штаба Вооруженных Сил Российской федерации (в/ч 25801).

Диссертация выполнена на кафедре «Информационных технологий и естественно-научных дисциплин» Автономной некоммерческой организации высшего образования «Российский новый университет»

**Научный руководитель: Крюковский Андрей Сергеевич**, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат государственной премии СССР, научный руководителя Института информационных систем и инженерно-компьютерных технологий Автономной некоммерческой организации высшего образования «Российский новый университет»

**Официальные оппоненты:**

**Иванов Дмитрий Владимирович**, член корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, проректора по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,

**Захаров Виктор Иванович**, кандидат физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», физический факультет, кафедра физики атмосферы,  
дали положительные отзывы на диссертацию.



**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, **в своем положительном отзыве**, подписанном д.ф.-м.н., В.И. Куркиным, заведующим отделом Физики околоземного космического пространства, и утвержденном директором Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук д.ф.-м.н., член корреспондентом РАН А.В. Медведевым, **отметила**, что тема диссертации Ю.И. Бова актуальна, она представляет завершённую научную работу, содержащую решение научной задачи: на основе применения символьных вычислений разработаны новые численные методы и алгоритмы решения расширенной бихарактеристической системы дифференциальных уравнений для определения характеристик лучевых траекторий, расходимости лучевых потоков, положений каустик и полей на каустиках в декартовых и сферических координатах при распространении монохроматического и частотно-модулированного излучения в анизотропной плазме – ионосфере Земли. Полученные результаты достоверны, обладают научной значимостью и новизной.

По теме диссертации опубликована 51 научная работа. Из них 21 статья опубликована в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов (Радиотехника и электроника, Russian Journal of Mathematical Physics, Физические основы приборостроения, Известия высших учебных заведений. Физика, Электромагнитные волны и электронные системы, Телекоммуникации и транспорт (T-Comm), Вестник РосНОУ). В том числе 15 публикаций входят в библиографические и реферативные базы данных Web of Science и (или) Scopus. Исследования выполнялись при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 12-02-00413-а, 13-07-00937-а, ОФИ\_М № 13-02-12121, 15-02-04206-а, № 17-02-01183, № 18-02-00544). Общий объем опубликованных работ составляет 13,2 печ.л. Из них:

1. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Бова Ю.И. Моделирование поля в окрестности каустик обыкновенной и необыкновенной волн при ионосферном распространении // Радиотехника и электроника. 2020. Т. 65. № 12. С. 1160-1169. (Kryukovskii A.S., Lukin D.S., Bova Y.I. Simulation of the field in the vicinity of caustics of ordinary and extraordinary waves during ionospheric propagation // Journal of Communications Technology and Electronics. 2020. V. 65. No 12. P. 1364-1373.). Краткое описание: Выполнено математическое моделирование каустической структуры электромагнитного поля, возникающей вблизи поверхности земли при распространении радиоволн дециметрового диапазона в ионосферной плазме. Проведено сравнение каустической структуры поля обыкновенной и необыкновенной волн, а также оценено влияние необыкновенной волны на амплитудную структуру поля обыкновенной волны в окрестности каустики. Выполнено сопоставление волнового поля, вычисленного с помощью каустического приближения и неравномерного лучевого приближения. Предложена оценка максимального значения амплитуды поля в окрестности каустики на основе лучевого приближения.

2. Бова Ю.И., Крюковский А.С., Лукин Д.С. Распространение частотно-модулированного излучения электромагнитных волн в ионосфере земли с учетом поглощения и внешнего магнитного поля // Радиотехника и электроника. 2019. Т. 64. № 1. С. 3-14. (Bova Y.I., Kryukovsky A.S., Lukin D.S. Propagation of frequency-modulated electromagnetic radiation in the earth's ionosphere with allowance for absorption and the external magnetic field // Journal of Communications Technology and Electronics. 2019. V. 64. No 1. P. 1-12.). Краткое описание: Выполнено численное моделирование распространения частотно-модулированных сигналов в анизотропной среде (ионосфере Земли) с учетом влияния частоты соударений электронов на отклоняющее поглощение. Рассмотрены проекции лучевых траекторий на разные



координатные плоскости. Исследованы влияние расходимости лучевых траекторий и поглощения радиоволн на ослабление амплитуды радиосигнала для обыкновенных и необыкновенных волн. Расчеты проведены для дневной и ночной моделей электронной концентрации и частоты соударений высокоширотной ионосферы.

3. Бова Ю.И., Крюковский А.С., Кутуза Б.Г., Лукин Д.С. Исследование влияния ионосферы земли на распространение радиоволн в высокочастотном диапазоне // Радиотехника и электроника. 2019. Т. 64. № 8. С. 752-758. (Bova Y.I., Kryukovskii A.S., Lukin D.S., Kutuza B.G. Investigation of the influence of the earth ionosphere on the radio wave propagation in the high-frequency range // Journal of Communications Technology and Electronics. 2019. V. 64. No 8. P. 740-746.). Краткое описание: методом бихарактеристик рассмотрены особенности влияния ионосферы Земли на распространение радиоволн на частотах 200...1200 МГц. Исследован набег фазы и рефракционные ошибки. Получены оценки величин угла фарадеевского вращения в зависимости от взаимной ориентации лучевых траекторий и вектора напряженности внешнего магнитного поля.

4. Bova J.I., Kryukovskii A.S., Lukin D.S. Local asymptotics of unfoldings of edge and corner catastrophes // Russian Journal of Mathematical Physics, Vol. 27, No. 4, 2020, pp. 446–455. DOI 10.1134/S1061920820040044. Краткое описание: На основе символьных вычислений разработан метод локальной асимптотики, описывающий дифракционную фокусировку электромагнитных и акустических полей для краевых и угловых катастроф. Найдены явные выражения для коэффициентов универсальной деформации, функционального модуля и фазы бегущей волна, когда семейство первичных (геометрооптических) и вторичных (краевых) лучей образуют фокусы каспидного типа A2 (простая краевая катастрофа F4), когда семейство первичных и вторичных лучей образуют фокусы типа A3 (одномодальная краевая катастрофа K4,2), а также для угловой катастрофы A14.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

– ФГБОУ ВО «Московского университета МВД России им. В.Я. Кикотя» от д.т.н. В.А. Минаева (замеч.: в работе не рассмотрено распространение сверхдлинных(ОНЧ) волн в магнитосфере Земли)

– ФГАОУ ВО "Казанского (Приволжского) федерального университета" от к.ф.-м.н. И.А. Насырова (замеч. нет)

– Секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при президиуме Российской академии наук) от д.т.н. Ю.В. Помазан (замеч: не указаны ссылки на источник из которого взята модель ионосферы; наличие небольшого количества опечаток в тексте автореферата)

– ФГБВОУ ВПО «Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского» МО РФ от д.ф.-м.н. Г.Г. Щукина (замеч: слишком кратко изложено содержание второй главы, посвященной актуальной проблеме учета влияния ионосферы на характеристики дециметровых радиосигналов; Не приведены графики амплитудно-фазовых структур краевых катастроф)

– ФГБОУ ВО Ордена Трудового красного знамени «Московского технического университета связи и информатики» от д.ф.-м.н. А.Г. Кюркчана (замеч. нет)

– ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА» от д.ф.-м.н. А.Б. Самохина (замеч: в автореферате рассмотрен только небольшой список краевых катастроф)

– ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" от д.т.н. Булкина В. В. (замеч. нет).

– ФГБУО ВО Поволжского государственного технологического университета от д.ф.-м.н. Рябовой Н.В. (замеч: при описании результатов (гл. 5) и защищаемого



положения №5 утверждается, что автором развит метод локальной асимптотики, описывающий дифракционные фокусировки электромагнитных полей и в результате получены явные выражения для параметров универсальной деформации, однако в автореферате эти выражения не приводятся; в заключении п.п. 1-3 сформулированы как решенные задачи, а не как полученные результаты; обычно при смене фамилии автора в автореферате и диссертации новую фамилию указывают в скобках. Однако в данной работе это условие не выполнено, что затрудняет восприятие авторства опубликованных работ (см., например, 5, 29–31, 44–51). Нужно догадываться, что Скворцова Ю.И. и Бова Ю.И. одно и то же лицо).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается: назначенные советом официальными оппонентами по диссертации Ю.И. Бова ученые широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, **Д.В. Иванов** - известный специалист в области локационных и телекоммуникационных систем; кандидат физико-математических наук, доцент **В.И. Захаров** - один из ведущих в России специалистов в области изучения ионосферы.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, широко известна своими исследованиями в области ионосферного распространения радиоволн, физика Солнца, межпланетной среды, околоземного космического пространства, ионосферы и атмосферы, развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики. Многочисленные работы её сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

1. Разработан метод численного моделирования лучевого распространения частотно-модулированных сигналов в анизотропной, неоднородной, нестационарной ионосферной плазме на основе решения пространственно-временной бихарактеристической системы с применением символьных вычислений и пакета Wolfram Mathematica, позволяющий комплексно исследовать распространение стационарных частотно-модулированных радиоволн в ионосферной плазме с учётом анизотропии, нестационарности среды распространения, кривизны поверхности Земли, горизонтальных градиентов и крупномасштабных неоднородностей.

2. Разработаны методы и алгоритмы, позволяющие прогнозировать поправки к данным фазовых и поляризационных измерений с целью компенсации вариации параметров, обусловленные рефракцией сигналов дециметрового диапазона в неоднородной ионосфере Земли. Получены результаты комплексного исследования влияния анизотропной ионосферной плазмы на вариации фазы радиосигнала, фарадеевское вращение плоскости поляризации отклонение угла прицеливания от угла прямого видения при распространении дециметрового излучения в ионосфере Земли в зависимости от времени наблюдения, широты, наличия локальных ионосферных неоднородностей и др.



3. Предложен численный метод решения расширенной бихарактеристической системы дифференциальных уравнений, разработанный на основе применения символьных вычислений, для определения характеристик лучевых траекторий, расходимости лучевых потоков, положений каустик и полей на каустиках в декартовых и сферических координатах при распространении монохроматического и частотно-модулированного излучения в анизотропной плазме – ионосфере Земли. Предложенный метод позволяет производить моделирование влияния отклоняющего поглощения и расходимости на распространение радиоволн в ионосфере с учетом магнитного поля Земли. Разработана методика оценки абсолютных величин напряженности электромагнитного поля на каустике с учетом расходимости и поглощения.

4. Предложена и реализована методика расчета амплитудных множителей вдоль лучей для разных карт канонического оператора Маслова и анализ сингулярностей, связанных с касанием лучей каустик, позволяющая исследовать проекции шестимерного фазового пространства на смешанные координатно-импульсные подпространства в случае распространения излучения в ионосферной плазме с учетом спорадического слоя и локальной неоднородности;

5. Разработаны методы и алгоритмы моделирования пространственно-временной структуры частотно-модулированных сигналов в плазменном слое с сильной частотной дисперсией на основе теории краевых катастроф и пространственно-временной геометрической теории дифракции, описывающие совместные каспидные пространственные и временные фокусировки электромагнитных волн в плазме. Представлены результаты математического моделирования каустической структуры, коэффициентов универсальной деформации, функционального модуля и фазы бегущей волны, амплитудных и фазовых характеристик краевой катастрофы  $K_{4,2}$ .

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что: методы и алгоритмы, развитые в диссертации, позволяют эффективно моделировать распространение стационарных и частотно-модулированных сигналов в ионосферной плазме с учётом внешнего магнитного поля, неоднородностей среды распространения и нестационарности, а также локальных возмущений.

**Значение полученных соискателем результатов исследования** для практики подтверждается тем, что: разработанные в работе алгоритмы и комплексы программ могут быть использованы для радиозондирования верхней атмосферы Земли, для решения задач коротковолновой радиосвязи и радионавигации, в частности для анализа и краткосрочного прогноза условий распространения и приёма ионосферных сигналов, как в спокойных, так и в возмущенных условиях.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** полученные научные результаты имеют строгое математическое обоснование, а результаты численных расчётов подтверждаются сопоставлением с результатами известных экспериментов и модельных расчётов. Полученные результаты рассмотрены в ходе обсуждений на научных семинарах и конференциях, а также имеют положительные рецензии при их публикации в научных журналах.

**Личный вклад соискателя** состоит в том, что все использованные в диссертации результаты получены автором лично или при его участии. Вклад соискателя в постановку и решение задач, разработку компьютерных программ, проведение расчетов, анализ полученных результатов и написание текста статей в



части, относящейся к теме диссертации, является основным.

**В ходе защиты** диссертации в рамках дискуссии членами диссертационного совета были дана высокая оценка уровню работы и отмечено, что работа существенно дополняет и обогащает знания о характере распространения радиосигналов в ионосфере Земли.

Соискатель Бова Ю.И. дала исчерпывающие комментарии на вопросы и замечания оппонентов и ведущей организации. Согласилась с замечаниями, касающимися оформления текста диссертации и автореферата.

Членами совета были заданы вопросы о характеристиках модели распространения радиоволн, которая использовалась для проведения исследований, об ее адекватности рассматриваемой ситуации, о характеристиках радиосигнала, об алгоритмах и программной реализации модели, о корректности проведенного математического моделирования, о сравнении полученных модельных результатов с экспериментальными данными и данными других исследований. Соискатель дала ответы и необходимые пояснения, которые совет посчитал удовлетворительными.

Диссертационная работа Бова Ю.И. является законченной научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 824, предъявляемым к диссертациям на соискании ученой степени кандидата наук.

**На заседании 19 ноября 2021 г. диссертационный совет за решение научной и практической задачи разработки новых аналитических и численных методов исследования особенностей распространения радиоволн в ионосфере Земли принял решение присудить Бова Ю.И. ученую степень кандидата физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 15 человек, из которых 9 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета  
д.ф.-м.н., член-корр. РАН

Ученый секретарь диссертационного совета  
д.ф.-м.н., профессор РАН

«19» ноября 2021 г.



Черепенин В.А.

Кузьмин Л.В.