

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 16 мая 2025 г., № 7

О присуждении Михалёвой Елизавете Вячеславовне, гражданке России
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация на тему «**Математическое моделирование влияния неоднородной структуры ионосферы Земли на распространение декаметровых радиоволн**» принята к защите 19 февраля 2025, протокол № 2, 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 Рособрнадзора 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 Михалёва Елизавета Вячеславовна, 1987 года рождения, в 2009 году окончила Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский новый университет» (НОУ ВПО «РосНОУ»), по специальности «Прикладная информатика (в экономике)». Диплом специалиста с квалификацией информатик-экономист.

В период с 01.10.2020 г. по 18.06.2024 г. проходила обучение в аспирантуре АНО ВО «РосНОУ», освоила программу подготовки научно-педагогических кадров по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

В период с 01.02.2024 г. по 30.06.2024 г. Михалёва Е.В. была прикреплена соискателем к аспирантуре ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в качестве экстерна, успешно сдала кандидатские экзамены по специальности – «Радиофизика» (1.3.4).

Работает заместителем исполнительного директора института Информационных систем и инженерно-компьютерных технологий Автономной некоммерческой организации высшего профессионального образования «Российский новый университет» (АНО ВО «РосНОУ»).

Диссертация выполнена на кафедре Информационных технологий и естественнонаучных дисциплин АНО ВО «РосНОУ».

Научный руководитель: Крюковский Андрей Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Информационных технологий и естественнонаучных дисциплин АНО ВО «РосНОУ».

Официальные оппоненты:

Бисярин Михаил Александрович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Рябова Наталья Владимировна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Радиотехники и связи федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный технологический университет», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», в своем положительном отзыве, подписанным д.ф.-м.н., доцентом Игорем Альбертовичем Насыровым, заведующим кафедрой радиоэлектроники Института физики Казанского федерального университета, и утвержденным д.ф.-м.н., профессором Дмитрием Альбертовичем Таюрским, первым проректором – проректором по научной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», указала, что диссертационная работа Михалёвой Е.В. является законченной научно-квалификационной работой. В работе содержится решение актуальной научной задачи, связанной с разработкой новых методик получения характеристик ионосферы при вертикальном и слабонаклонном зондировании. Работа соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., т.е. диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные решения, позволяющие моделировать распространение частотно-модулированных сигналов в неоднородной, нестационарной, анизотропной ионосферной плазме, а также эффективно исследовать каустические структуры и их особенности. Работа соответствует пункту 10, т.е. диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на публичную защиту, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Основные научные результаты исследований опубликованы в 27 трудах, т.е. работа соответствует пунктам 11 и 13 упомянутого Положения.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Стр. 34. Из рисунка - 2.2.1 и формул 2.2.1-2.2.3 следует, что в модельном профиле электронной концентрации локальное возмущение наложено в максимуме слоя F1. Однако не приведено никаких физических соображений, почему было выбрано именно такое местоположение для ионосферной неоднородности.
2. Стр. 36. В формулы 2.2.8 входит параметр H_0 – величина напряженности магнитного поля Земли. В работе сказано, что «($H_0 = 0.465$ Э)», однако нет никаких указаний, откуда взялось это значение. Это значение получено на основании какой-либо модели? Какой модели? Либо это среднее значение напряженности магнитного поля Земли для какой-то местности, но тогда необходимо указать географические координаты этого места.
3. В диссертационной работе активно используется термин - эффективная диэлектрическая проницаемость (стр. 23, 24, 26, 35, 46, 66, 79, 92, 112, 130, 131, 145, 159), который предполагает использование модели эффективной гетерогенной среды. Модель эффективной среды применима, если характерные размеры включений и расстояний между ними в матричной гетеросистеме (или компонентов сред в статистической гетеросистеме) малы по сравнению с длиной волны. В общем случае для нахождения эффективной диэлектрической

проницаемости необходимо провести усреднение по объёму, зная при этом распределение мелкомасштабных неоднородностей в этом объеме. Очевидно, что в работе используется относительная диэлектрическая проницаемость (см., например, выражения 2.2.6, 2.2.10, 3.2.6, 4.3.8).

4. Необходимо сказать, что диссертационная работа и автореферат диссертации в целом хорошо и аккуратно оформлены. Однако согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» подрисуночные подписи следует оформлять следующим образом: «Рисунок 1 Подрисуночная подпись», соответственно, в тексте ссылки на рисунки выполняются так: «на рисунке 1...».

По теме диссертации опубликовано 27 научных работ, включая 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов («Радиотехника и электроника», «Физические основы приборостроения»), 10 публикаций в изданиях, входящих в Международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science или Scopus («IEEE All-Russian Microwave Conference (RMC)», «Journal of Communications Technology and Electronics») и 15 работ, входящих в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Результаты, представленные в диссертации, получены при поддержке Российского научного фонда в ходе работ по проекту РНФ №№ 20-12-00299, 20-12-00299-П «Фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования неоднородностей ионосферы Земли и их влияния на распространение радиоволн коротковолнового диапазона». Общий объем опубликованных работ составляет 15,3 печатных листов, из них 5,4 печатных листов принадлежат соискателю лично. Публикации по материалам диссертации полностью отражают ее содержание.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Kryukovskii A.S., Lukin D.S., **Mikhaleva E.V.**, Rastyagaev D.V. Development of the method for reconstructing the effective frequency of electron collisions in the ionospheric plasma // Journal of Communications Technology and Electronics. 2022. T. 67. № 2. P. 117-129.
2. Kryukovsky A.S., **Mikhaleva E.V.**, Rastyagaev D.V. Influence of Traveling Ionospheric Disturbances on the Caustic Structure of Radio Waves during Low Inclination Sounding of the Ionosphere // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2023. – T. 68. – №. Suppl 3. – C. S275-S283.
3. **Mikhaleva E. V.**, Kryukovsky A. S., Lukin D. S., Rastyagaev D. V. Simulation of Doppler Frequency Shift in the Presence of Traveling Ionospheric Disturbances // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2023. – T. 68. – №. Suppl 2. – C. S111-S121.
4. Kryukovsky A.S., **Mikhaleva E.V.**, Rastyagaev D.V. Influence of Traveling Ionospheric Disturbances on the Caustic Structure of Radio Waves during Low Inclination Sounding of the Ionosphere // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2023. – T. 68. – №. Suppl 3. – C. S275-S283.
5. **Mikhaleva E.V.**, Kryukovsky A.S., Lukin D.S., Rastyagaev D.V. Mathematical modeling of the singularities of caustic structure of electromagnetic waves formed by traveling ionospheric disturbances // Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS). IEEE Xplore, 2024. P. 1-9.

6. Крюковский А.С., Михалёва Е.В., Растягаев Д.В. Моделирование лучевой каустической структуры радиоволн, образованных перемещающимися ионосферными возмущениями // Физические основы приборостроения. – 2023. – Т. 12, № 4(50). – С. 11-21.
7. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Михалёва Е.В., Растягаев Д.В. Математическое моделирование амплитудных, угловых и временных характеристик коротких радиоволн при слабонаклонном зондировании ионосферы // Радиотехника и электроника. – 2023. – Т. 68. – №. 6. – С. 553-562.

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

- АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» от д.ф.-м.н. Щукина Г.Г. Отзыв положительный (замечание: можно выразить сожаление, что в работе недостаточно подробно рассмотрены различные ориентации ПИВ и направления их движения. Мелкий шрифт подписей на картинках затрудняет их чтение).
- Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» от доцента Булкина В.В. Отзыв положительный (замечание: среди перечисляемых задач исследования отмечается «разработка метода определения прихода лучей из точки в точку (метода «пристрелки») на основе бихарактеристической системы и символьных вычислений для расчета ионограмм наклонного зондирования в магнитоактивной неоднородной ионосферной плазме. Однако среди перечисленных научных достижений и при перечислении основных достижений в заключительной части работы прямого указания на разработку этого метода обнаружить не удалось).
- ФГБУН «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» РАН от д.ф.-м.н. Доброхотова С.Ю. Отзыв положительный (замечание: в работе в основном рассмотрены случаи горизонтально ориентированных перемещающихся ионосферных возмущений. Представляет интерес исследование других ориентаций неоднородностей с целью выявления каустических особенностей более высокого порядка, чем каустическое острие (катастрофа A_3), а также омбилических особенностей).
- ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» от к.ф.-м.н. Захарова В.И. Отзыв положительный (замечание: нет описания используемых в работе моделей и обсуждения того, как они соотносятся с реальностью. На рисунках 1, 2, 4 не расшифрована кодировка фона рисунка и ее размерность. Не ясна физическая причина утверждения стр. 12 "Установлено, что без учета поглощения амплитуда отраженного сигнала убывает с ростом частоты (рис. 5 а), в то время как с учетом поглощения, наоборот, нарастает (рис.5 б)." Это - просто описание рисунков, но не физическое объяснение полученного важного и интересного результата).

- ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» от д.ф.-м.н. Жукова В.Ю. Отзыв положительный (замечание: можно отметить, что диссертант указывает, что результаты работы изложены в 27 трудах. Однако, 10 научных статей опубликованы в журналах, входящих в международные системы цитирования Web of Science и Scopus, 7 – в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 10 – в трудах Всероссийских конференций, 5 – в трудах Международных конференций. По существу научной работы замечаний нет).
- АО «НПО Дальняя радиолокация им. акад. А.Л. Минца» от к.ф.-м.н. Теохарова А.Н. Отзыв положительный (замечание: желательно было бы проиллюстрировать разработанные модели и методы аналогами реальных экспериментальных ионограмм, особенно в части интерпретации движущихся ПИВ с оценкой их параметров).
- ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» от д.т.н. Лабунца Л.В. Отзыв положительный, замечаний нет.
- ФБГУН «Институт солнечно-земной физики» Сибирского отделения РАН от д.ф.-м.н. Куркина В.И. Отзыв положительный, замечаний нет.
- Институт информационных технологий РТУ МИРЭА от д.ф.-м.н. Самохина А.Б. Отзыв положительный, замечаний нет.
- Секция по оборонным проблемам министерства обороны при президиуме РАН, от д.т.н., профессора Помазана Ю.В. Отзыв положительный (замечание: в автореферате недостаточно раскрыта суть созданного амплитудного метода восстановления эффективной частоты соударений электронов в ионосферной плазме на основе данных об ослаблении и запаздывании частотно-модулированных радиосигналов при радиозондировании ионосферы Земли).

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:

Рябова Наталья Владимировна, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 «Радиофизика»), профессор, заведующий кафедрой радиотехники и связи федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный технологический университет» – является крупным специалистом в области ионосферных радиополос, обработки данных сенсорной диагностики ионосферных и трансionoсферных каналов связи.

Бисярин Михаил Александрович, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 «Радиофизика»), ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» является крупным специалистом в области теории распространения радиоволн высоких частот в ионосферных радиоканалах и исследования локальных фокусировок высокочастотных полей на ионосферных трассах.

Официальные оппоненты широко известны своими достижениями в данных

отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», широко известна научной работой в рамках общего научного направления «Радиофизические исследования околоземного пространства и информационные системы» и связана с исследованиями радиофизических проблем распространения радиоволн, моделированием сложных радиосистем, исследованием поведения информации в сложных информационных системах, изучением динамики атмосферы и ионосферы радиофизическими методами. Многочисленные работы ее 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. Методом бихарактеристик исследованы особенности распространения радиоволн декаметрового диапазона в ионосфере Земли, содержащей ПИВ, при слабонаклонном радиозондировании и впервые показано, что:

- на частотах радиосигналов, отражающихся в окрестности максимума E 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;

- 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;

- ионограмма х-волны сдвинута по частоте относительно ионограммы о-волны приблизительно на одну и ту же величину как для модели с ПИВ, так и для невозмущенной модели;

2. Исследованы доплеровское смещение частоты, время группового запаздывания радиосигнала, зависимости углов выхода лучей от положения центра ПИВ при различных частотах и поляризациях электромагнитной волны, а также амплитудная структура поля на поверхности Земли как без учета, так и с учетом поглощения и показано, что

- при горизонтальном перемещении неоднородности центр кривой доплеровского сдвига смещается в зависимости от поляризации излучения, вид кривой с ростом частоты переходит от синусоидальной формы к пилообразной, кривая группового запаздывания имеет минимум доплеровского сдвига в области влияния ПИВ, а сама область влияния возмущения существенно превосходит её характерный размер;

- при движении ПИВ в горизонтальном и вертикальном направлении возникает каустическая структура типа «каустическое острие» (волновая катастрофа A_3), что отражается на доплеровских кривых в виде S-образных линий;

- при описании зависимости задержек сигналов от расстояния, S-образным кривым соответствуют «петли времени», фазы лучей между каустиками образуют сечение особенности «ласточкин хвост» (катастрофа A_4);

- не только поле на каустиках, но и среднее значение амплитуды поля в многолучевой области существенно возрастает;

- каустическое острие развивается с ростом начальной частоты, втягиваясь в лучевую структуру, а S-образные структуры и петли времени перемещаются вдоль поверхности Земли при движении ПИВ;

- образование сложных каустик маскирует истинное положение ПИВ, его размеры и мощность.

3. На основе метода расширенной бихарактеристической системы Лукина впервые создан 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 в изотропном приближении, а также в случае магнитоактивной ионосферной плазмы. Разработанная методика обработки экспериментальных данных позволяет получить зависимость эффективной частоты соударений от высоты с хорошей точностью.

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что данные методы и алгоритмы, развитые в диссертационной работе, 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 о диагностике ионосферы Земли, прогнозирования каналов КВ радиосвязи, решения задач радиолокации и радионавигации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что научные результаты, представленные соискателем, не противоречат другим известным из литературы научным результатам, применяемые методы математического моделирования строго обоснованы, а полученные численные и графические результаты подтверждаются сопоставлением с другими модельными расчетами и результатами известных экспериментов.

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 была дана высокая оценка уровню работы и было отмечено, что работа существенно дополняет и обогащает знания о влиянии неоднородной структуры ионосферы Земли на распространение дециметровых радиоволн.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Были заданы вопросы о применяемых методах, о модели ионосферы Земли, о типах сигналов, которые использовались в ходе расчетов, о характере распространения

сигналов в ионосфере, о вкладе, который вносит работа в развитие данной области науки и техники. На все заданные вопросы Михалёва Е.В. дала аргументированные ответы.

Диссертационная работа Михалёвой Елизаветы Вячеславовны является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научных и практических задач, связанных с математическим моделированием влияния неоднородной структуры ионосферы Земли на распространение декаметровых радиоволн. Работа удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 824 с изменениями, утвержденными постановлением Правительства РФ от 11 сентября 2021 г., № 1539, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

За решение важной научной и практической задачи по математическому моделированию влияния неоднородной структуры ионосферы Земли на распространение декаметровых радиоволн на заседании 16 мая 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Михалёвой Елизавете Вячеславовне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 18 человек, из которых 11 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета,
д.ф.-м.н., профессор, академик РАН

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

«16» мая 2025 г.



Черепенин В.А.

Кузьмин Л.В.