

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д327.008.01 НА
БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт
прикладной геофизики имени Е.К. Федорова» Росгидромета ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.05.2022 г. протокол №5
О присуждении Скубачевскому Антону Александровичу, гр. России ученой
степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование движения заряженной
частицы в неоднородной электромагнитной волне» по специальности
25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы» принята к защите 1 марта 2022
г., протокол № 2 диссертационным советом Д327.008.01 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт
прикладной геофизики имени Е.К. Федорова» Росгидромета (ФГБУ «ИПГ»
129128, г. Москва, ул. Ростокинская, д. 9). (Приказ Министерства
образования и науки РФ №156/нк от 1 апреля 2013 г. с изменениями).

Соискатель Скубачевский Антон Александрович 1994 года рождения.

В 2017 году соискатель окончил Московский физико-технический
институт (национальный исследовательский университет - МФТИ).

Соискатель ученой степени кандидата наук в 2021 году освоил
программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре МФТИ
по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия». Работает
старшим преподавателем на кафедре высшей математики МФТИ.

Диссертация выполнена в МФТИ на кафедре информатики и
вычислительной математики. Научный руководитель – доктор физико-
математических наук, профессор, член-корреспондент РАН Петров Игорь
Борисович, научный руководитель кафедры вычислительной физики МФТИ.

Официальные оппоненты:

Кутуза Борис Георгиевич, доктор физико-математических наук,
профессор, зав. лабораторией радиофизических методов в аэрокосмических
исследованиях природно-техногенной среды ИРЭ им. В.А. Котельникова
РАН;

Волокитин Александр Сергеевич, кандидат физико-математических
наук, ведущий научный сотрудник теоретического отдела ИЗМИРАН,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Институт динамики геосфер имени академика М.А.
Садовского» РАН (г. Москва) в своем положительном отзыве, подписанном
Зецером Ю.И., д.ф.- м.н., профессором, научным руководителем ИДГ РАН и
Ковалевым А.Т., к.ф. - м.н., ведущим научным сотрудником ИДГ РАН и
утвержденным директором, д.ф.-м.н. Турунтаевым С.Б. отметила, что
диссертационная работа "Численное моделирование движения заряженной

частицы в неоднородной электромагнитной волне" полностью соответствует требованиям ВАК, и ее автор А.А. Скубачевский безусловно заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности "Физика атмосферы и гидросферы" (25.00.29.), при этом сделала следующие критические замечания:

- при тестировании методов расчета в главе 2 более убедительным было бы привести разность между полученным и образцовым (аналитическим) решением;

- выявлено наличие нечеткости в постановке задачи движения электронов ионосферной плазмы в поле неоднородной электромагнитной волны. Не определен диапазон энергий электронов, для которых справедливо такое рассмотрение, и диапазон плотностей плазмы, в котором такое движение не будет искажаться электрон-электронными столкновениями, коллективными процессами или влиянием нейтральной компоненты плазмы.

В связи с последним замечанием представляет интерес и оценка влияния диссипативных процессов, пределы ускорения электронов с учётом потерь энергии не только за счёт тормозного и гиромангнитного излучения, но и других каналов потерь энергии. Разработка этих вопросов была бы интересным и важным продолжением работы, проделанной в представленной диссертации.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях, все относятся к теме диссертации. Работы представляют собой оригинальные статьи в российских и международных научных журналах и посвящены численному моделированию движения заряженной частицы в электромагнитных волнах, а также распространению электромагнитных волн в среде. Средний объем отдельной статьи – 0.8-1.2 авторских листа. Наиболее значительными работами являются:

1. Скубачевский А.А., Хохлов Н.И. "Численное решение уравнений Максвелла для моделирования распространения электромагнитных волн" Труды МФТИ 2016. т. 8 №3, с.121-130.
2. В. Б. Лапшин, В. Б. Смирнов, А. А. Скубачевский, А. В. Пономарев, А. В. Патонин, А. А. Хромов, М. Г. Потанина "Численные и лабораторные эксперименты по разрушению конструкционных материалов под воздействием электромагнитного поля" Вестн. Моск. Ун-та Сер.3 Физ. Астрон. 2018. №5. С. 90.
3. Лапшин В.Б., Скубачевский А.А., Белинский А.В., Бугаев А.С. "Спектр излучения и траектория заряженной частицы в поле неоднородной электромагнитной волны" Доклады Академии наук. 2019; 488(6):604-608.
4. Лапшин В.Б., Скубачевский А.А., Бугаев А.С. "Особенности траектории электрона в неоднородной электромагнитной волне по данным численного моделирования", Радиотехника, т. 84 №12(23), 2020, с. 30-40.

5. Skubachevskii A.A., Lapshin V.B., Petrov I.B. "Charged particles in the field of an inhomogeneous electromagnetic wave" Smart Innovation, Systems and Technologies, Vol. 215, pp.185-192.
6. Skubachevskii A.A. "Simulation of Electromagnetic Wave Propagation in the Medium Using FDTD Method", Proceedings of Piers Shanghai 2016 <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=7734201>

На диссертацию и автореферат поступило 6 положительных отзывов со следующими замечаниями:

от Хохлова Н.И. к.ф.-м.н., доцента, зав. кафедрой информатики и вычислительной математики МФТИ:

- недостаточно внимания уделяется сопоставлению полученных результатов с процессами, происходящими в ионосферной плазме при взаимодействии с радиоволнами;

- от Жмура В.В. д.ф.-м.н., профессора, чл.-корр. РАН, главного научного сотрудника института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН:

- недостаточно обоснована возможность использования полученных результатов для более сложных интерференционных структур;

- на некоторых рисунках подписи выполнены нечетко;

- от Журавлева С.В., к.ф.-м.н., зав. отделом Института прикладной геофизики им. Е.К. Федорова:

- необходимо более детально обосновать предположение о бесстолкновительности плазмы;

- в работе есть некоторые технические недостатки и грамматические неточности;

- на рис. 3 непонятно, какой из углов, θ_1 или θ_2 , имеется в виду;

- от Голубева В.И., к.ф.-м.н., доцента кафедры информатики и вычислительной математики МФТИ:

- не в полной мере проанализированы причины разброса электронов при инжекции в неоднородную электромагнитную волну, от характеристик данной волны;

- от Ерохина Н.С., д.ф.-м.н., профессора, зав. Отделом «Космогеофизики» федерального государственного бюджетного учреждения науки "Институт космических исследований" РАН:

- в диссертации недостаточно подробно описан эффект подавления несущей и влияние этого эффекта на структуру спектра излучения;

- в тексте автореферата встречаются неудачные выражения, стилистические неточности.

- от Захарова В.И., к.ф.-м.н., доцента кафедры физики атмосферы МГУ им. М.В. Ломоносова:

- из текста автореферата не вполне ясно, почему для исследования взаимодействия электрона с неоднородной электромагнитной волной используется метод Дормана-Принса, чем он предпочтительнее метода PIC;

- в отдельных разделах диссертации результаты приведены в различных системах отсчета, что мешает восприятию результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тематикой, характером и результатами проведенных исследований, относящихся к области изучения физики ионосферы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложен метод построения 3d-траектории электрона ионосферной плазмы в поле неоднородной электромагнитной волны на основе численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, при заданных характеристиках волны и электрона;

установлена зависимость пространственного распределения электронов при последовательной инжекции в неоднородную электромагнитную волну, в том числе, обыкновенную и необыкновенную, от амплитуды электрического поля и несущей частоты волны, а также от начальных скоростей электронов;

установлено, что для обыкновенной неоднородной электромагнитной волны мощность тормозного излучения превосходит мощность гиromaгнитного при амплитуде электрического поля $E_0 \geq 15$ В/м. Для необыкновенной волны мощность гиromaгнитного излучения всегда превышает мощность тормозного (расчеты выполнены в присутствии постоянного магнитного поля, характерного для зоны высоких широт);

установлено, что взаимодействие электронов ионосферной плазмы с неоднородной электромагнитной волной сопровождается модуляцией волны с частотой, определяемой колебательным движением электрона внутри интерференционной ячейки. Установлена возможность управления боковыми частотами несущей частоты и модулирующей частотой с помощью направляющих углов и амплитуды электрического поля неоднородной электромагнитной волны.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

впервые на основе численного решения системы нелинейных уравнений с переменными коэффициентами построена 3d-траектория заряженной частицы в поле неоднородной электромагнитной волны;

обнаружено и исследовано явление концентрирования инжектированных электронов в квазистационарные линейные структуры, являющиеся образующими конуса второго порядка, ограниченными полосой на поверхности конуса, в объеме которого расположена траектория. Это позволяет создавать в ограниченных объемах динамические образования, способные генерировать в бесстолкновительной плазме возмущения, размеры которых определяются параметрами неоднородных электромагнитных волн;

установлена зависимость спектра излучения электрона в поле неоднородной электромагнитной волны от амплитуды электрического поля и углов, определяющих волновой вектор и поляризацию исходных электромагнитных волн.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

воздействие неоднородных электромагнитных волн на электроны ионосферной плазмы может приводить к появлению неоднородностей электронной концентрации, во многом определяющих процессы поглощения, отражения и рефракции радиоволн;

сопоставление мощности тормозного и гиромангнитного излучения электрона в поле неоднородной электромагнитной волны позволяет оценить роль этих излучений в механизме разогрева ионосферы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность полученных данных определяется верификацией результатов численного моделирования движения частицы в неоднородной электромагнитной волне с помощью сравнения с точными аналитическими и приближенными решениями, опубликованными ранее;

для проверки надежности алгоритмов и программ, разработанных при создании численной модели на основе метода Дормана-Принса, использовался также численный метод РС.

Личный вклад соискателя состоит в разработке численной модели движения заряженной частицы в неоднородной электромагнитной волне, написании программ для моделирования движения частицы с помощью методов Дормана-Принса и РС, а также их верификации; проведении и критическом анализе численных экспериментов; формулировке выводов на основании полученных результатов; установлении формы распределения электронов при последовательной инжекции в неоднородную электромагнитную волну; установлении и исследовании зависимости спектра излучения электрона в неоднородной электромагнитной волне от параметров волны; нахождении значений амплитуды электрического поля неоднородной электромагнитной волны, при которых мощность тормозного излучения превышает мощность гиромангнитного.

На заседании 18 мая 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Скубачевскому А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по специальности 25.00.29., участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председательствующий
заместитель председателя
диссертационного совета
д.ф.-м.н. проф.



Данилов Алексей Дмитриевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.ф.-м.н.

18 мая 2022 года

Хотенко Елена Николаевна