

ОТЗЫВ

официального оппонента, заведующего кафедрой физики атмосферы
МГУ им. М.В.Ломоносова, д. ф.-м. н. Куницына Вячеслава Евгеньевича
на диссертацию Книжина Сергея Игоревича
«Повышение разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при
помощи пространственной обработки поля»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 - радиофизика

Исследование неоднородной плазмы радиофизическими методами является одной из приоритетных задач современной радиофизики. Задачи волновой диагностики неоднородной плазмы естественного и искусственного происхождения возникают при решении многих важных прикладных проблем: диагностика и контроль лабораторной плазмы, включая плазму в установках для термоядерного синтеза; дистанционное зондирование плазмы ближнего космоса и других планет Солнечной системы; устранение ионосферных ошибок при навигационных измерениях и т.д.

Актуальность темы диссертационного исследования.

За последних два десятилетия активно развивались технические средства диагностики неоднородной плазмы. Например, для исследования ионосферы Земли стали применяться спутниковые методы диагностики, среди которых наиболее развитой и хорошо разработанной является лучевая радиотомография. Ограничения лучевой радиотомографии по определению связаны с геометрооптическими представлениями полей распространяющихся волн. Диагностика более тонкой плазменной структуры с масштабами, не превосходящими радиуса первой зоны Френеля, возможна на основе дифракционной томографии, развивающейся в последние три десятилетия. Поэтому существует необходимость разработки соответствующих математических подходов, учитывающих дифракционное и многолучевое распространение радиосигнала в неоднородной среде для задач волновой диагностики неоднородной плазмы. Из таких методов широко известны и часто применяются на практике хорошо зарекомендовавшие себя метод плавных возмущений и приближение фазового экрана. Однако, их применение ограничено условиями малых флуктуаций амплитуды (МПВ) и необходимостью задавать координаты расположения исследуемой неоднородной среды (фазовый экран). Автор диссертации предлагает в качестве основы дифракционной диагностики неоднородной плазмы использовать другой

математический подход, основанный на использовании представления поля волны в виде двойного взвешенного Фурье преобразования. Важной отличительной особенностью данного метода является возможность его применения в условиях дифракционного и многолучевого распространения радиосигнала при сильных вариациях фазы и амплитуды без использования априорной информации о локализации неоднородной среды.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы.

В первой главе диссертации дается анализ различных моделей радиосигнала, распространяющегося в неоднородной среде. Эти модели получаются путем решения волнового уравнения с помощью различных асимптотических приближений. Обсуждаются возможности использования данных методов описания распространения поля радиоволн в неоднородной среде для усовершенствования методик диагностики неоднородной плазмы.

Вторая глава диссертационной работы посвящена проблеме повышения разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при помощи пространственной обработки поля на основе метода двойного взвешенного Фурье преобразования (ДВФП). Рассмотрена возможность получения сверхразрешения при помощи обработки с использованием ДВФП в условиях слабых и сильных вариаций фазы.

Третья глава диссертации посвящена применению метода ДВФП в задачах устранения влияния многолучевости при распространении поля в плавно неоднородных средах, содержащих неоднородности с характерными размерами порядка и меньше радиуса первой зоны Френеля для падающей волны. На основе асимптотического анализа и численного моделирования показано, что использование представления поля в виде ДВФП позволяет учесть эффекты многолучевости и на основе этого сформулировать рекомендации по устранению её влияния.

В четвертой главе для повышения разрешающей способности диагностики околосредней плазмы предлагается использовать однократную пространственную обработку поля (т. е. применение Фурье-преобразования поля только в плоскости приемников или источников), полученную на основе интегрального представления поля в виде двойного взвешенного Фурье преобразования для удаленной неоднородной среды. При этом показано, что фактически метод ДВФП является обобщением метода фазового экрана со случая

бесконечно тонкого слоя неоднородной среды на случай неоднородной среды, сосредоточенной в узком, но конечном слое.

В заключении диссертационной работы изложены основные результаты, полученные в ходе исследований.

Оценивая в целом диссертационную работу Книжина С. И., считаю необходимым отметить следующее.

Научная значимость и практическая ценность работы.

В работе выполнено разностороннее исследование возможностей пространственной обработки поля, основанной на методе двойного взвешенного Фурье преобразования (ДВФП), как основы для дифракционной диагностики неоднородной плазмы. Получен значительный научный результат: было показано, что на основе данного подхода удастся повысить разрешающую способность диагностики плазменных структуры в условиях сильных флуктуаций фазы и многолучевого распространения радиосигнала. Фактически автор диссертации показал, что данная методика позволяет расширить возможности лучевой диагностики по сравнению с ранее используемыми методами, дополнив их учетом дифракционных эффектов, что является важным шагом в развитии методов диагностики неоднородной плазмы.

Степень обоснованности научных результатов и выводов.

Защищаемые положения обоснованы корректным применением асимптотических методов, сравнением полученных на их основе результатов с аналогичными данными, найденными с использованием других уже хорошо известных подходов, а также многочисленными численными расчетами и сравнением их результатов с результатами других авторов.

Достоверность и новизна полученных результатов и выводов.

Достоверность представленных в диссертационной работе результатов подтверждается расчетными данными фазы волны, полученными с применением пространственной обработки ДВФП и без нее. Расчеты интегральных представлений поля волны производились

с использованием известных численных алгоритмов для быстроосциллирующих интегралов. Также результаты и выводы диссертационной работы не противоречат результатам, полученным ранее другими исследователями, с использованием других подходов к описанию волновых полей при распространении сигнала в неоднородной среде.

Новизна полученных автором результатов несомненна, т.к. в работе впервые рассмотрена задача повышения разрешающей способности диагностики неоднородной плазмы, содержащей неоднородности, характерные масштабы которых не превосходят размера радиуса первой зоны Френеля, с использованием обработки ДВФП в условиях многолучевого распространения радиосигнала и сильных вариаций фазы и амплитуды без использования априорной информации о локализации неоднородной среды.

Личный вклад автора.

Личный вклад автора подтверждается наличием публикаций, представлением результатов на международных и российских конференциях.

Завершенность работы, публикации основных результатов.

Диссертация посвящена решению одной актуальной задачи – исследованию возможности увеличения разрешающей способности диагностики неоднородной плазмы в условиях многолучевости и дифракционного «расплывания» волнового пакета радиосигнала при сильных вариациях фазы и амплитуды. Поставленная задача решена полностью, рассмотрены также различные приложения результатов расчетов. Основные положения и выводы диссертации представлены в 3 статьях в научных журналах, входящих в список ВАК и международные системы цитирования.

Использование результатов диссертационной работы.

Результаты, полученные в диссертации Книжина С.И. желательно использовать в ИСЗФ, ИЗМИРАН, МГУ, МФТИ и ряде других научных организациях, тематика которых связана с исследованиями неоднородной околоземной и лабораторной плазмы.

В целом диссертация Книжина С.И. выполнена на высоком научном уровне и представляет собой завершенную работу, результаты которой соответствуют мировому

уровню исследований в данном направлении. В ней поставлена и решена актуальная научная задача – повышение разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при помощи пространственной обработки поля ДВФП. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

Отметим некоторые недостатки диссертации:

1) Работа основана главным образом на пространственной обработке поля на базе ДВФП. Автор успешно реализует ДВФП «на бумаге». Однако для практической реализации ДВФП требуется проанализировать возможность преобразования экспериментальных данных, выполненного одновременно по координатам источника и приемника.

Если для лабораторной плазмы реализация такого преобразования возможна, но потребует существенного усложнения приемо-передающей системы (создание двумерных больших апертур из передатчиков (излучателей) и приемников), то для околоземной плазмы это нереально на практике.

Автор, по-видимому, осознает эту ситуацию, поскольку упоминает «гипотетическую обработку». «Также гипотетически обработку ДВФП возможно использовать для спутниковой томографии ионосферы, где передающая решетка синтезируется движущимся искусственным спутником Земли».

2) Автор указывает, что однократное обратное преобразование Френеля позволяет производить дифракционную томографию, но при существенном ограничении, связанном с предположением о локализации неоднородности в известном интервале дальностей. Следует отметить, что используемый в [11] подход позволяет определять координату рассеивателя, анализируя фазу некоторой вспомогательной функции (анализ действительного изображения в голографической интерпретации) с достаточной для приложений точностью продольного разрешения приемной системы.

3) Используемые обозначения не вполне стандартны. Обозначения $\int d^2\rho \int d^2\rho_0$ означают двумерные интегрирования по соответствующим апертурам или по всем плоскостям. При этом используемые в работе обозначения нижнего и верхнего пределов интегрирования $(-\infty, +\infty)$, как в одномерном интеграле) представляются излишними.

Однако указанные недостатки не влияют на положительную оценку данной работы.

Считаю, что диссертация Книжина Сергея Игоревича «Повышение разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при помощи пространственной обработки поля», полностью соответствует всем требованиям ВАК России, а диссертант заслуживает присуждения искомой степени.

Официальный оппонент,
Зав. Кафедрой физики атмосферы
физического факультета МГУ

д. ф. -м. н., профессор,


23.05.2014

В.Е. Куницын

(Куницын Вячеслав Евгеньевич. Адрес организации: 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, 495-939-3806, kunitsyn@physics.msu.ru)

Декан физического факультета МГУ

д. ф. -м. н., профессор,



Н.Н. Сысоев