**Курина, Людмила Евгеньевна.**

## Формирование дактов плотности полем электромагнитного источника в магнитоактивной плазменной среде и особенности возбуждения в них волн свистового диапазона : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 01.04.03. - Нижний Новгород, 1999. - 220 с. : ил.

## Введение диссертации (часть автореферата)на тему «Формирование дактов плотности полем электромагнитного источника в магнитоактивной плазменной среде и особенности возбуждения в них волн свистового диапазона»

Нелинейное воздействие электромагнитных полей достаточно мощных источников на окружающую плазменную среду приводит, как известно [1-6], к формированию плазменныхктур, оказывающих, в свою очередь, существенное влияние на характеристики источников [7,8]. Интерес к нелинейным эффектам, проявляющимся в интенсивных электромагнитных полях в плазме, продиктован, в частности, разработкой методов волновой диагностики ионосферной и магнитосферной плазмы [9,10], проведением активных космических экспериментов с использованием электромагнитных излучателей, установленных на искусственных спутниках Земли [10], а также задачами высокочастотного нагрева плазмы в магнитном поле [4,11]. В связи с этим, исследованиектуры и динамики самосогласованных плазменно-полевых образований, возникающих вследствие нелинейных эффектов в электромагнитном поле источника, представляется весьма актуальным.

В магнитоактивной плазме нелинейные явления, возникающие при ее локальном нагреве в неоднородном электрическом поле, приводят, как правило, к образованию вытянутых вдоль внешнего магнитного поля плазменных неоднородностей - так называемых, дактов плотности. Протяженность формирующихся квазицилиндрических дактов может быть настолько значительной, что они оказывают существенное влияние на структуру поля источника не только в ближней, но и в волновой (дальней) зоне. В частности, наличие таких "околоантенных" волно-водных каналов может привести к значительному изменению характеристик излучения источников, по сравнению со случаем их размещения в однородной фоновой плазме [7,8].

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к задачам возбуждения и распространения в дактах плотности волн свистового диапазона (вистлеров). Интерес обусловлен с одной стороны тем, что свистовые волны, существующие в условиях околоземного космического пространства, могут играть весьма важную роль применительно ко многим фундаментальным проблемам физики космической плазмы [1214]. С другой стороны, в последние годы проведен ряд экспериментальных исследований, важных с точки зрения практических приложений (формирование в ионосфере низкочастотных плазменно-волноводных излучающих систем [8-15], использование высокочастотного разряда в поле вистлеров в геликонных источниках плазмы [16-18] и др.).

Необходимо отметить, что проблеме нелинейного формирования вытянутых вдоль внешнего магнитного поля плазменных неоднородно-стей в космической и лабораторной плазме и распространению в них электромагнитного излучения посвящено довольно большое число работ (см. например, [4-53]). В бесстолкновительной магнитоактивной плазме в результате действия пондеромоторной силы [19,20] образуются дакты с довольно незначительным перепадом плотности (см. например, [43-45]). Поэтому их влияние на характеристики излучения электромагнитных источников невелико. Представляющие больший практический интерес дакты с значительными перепадами плотности формируются, как правило, вследствие тепловых и ионизационных нелинейных эффектов [28-32].

Из экспериментальных иследований формирования дактов в условиях тепловой нелинейности следует отметить работы [31-32], в которых наблюдались дакты с пониженной относительно фона плотностью, возникающие вследствие термо диффузии магнит оактивной плазмы при ее нагреве в квазистатическом поле антенны. Обсуждению вопросов формирования соответствующих плазменных структур посвящены работы [33,34], причем рассмотрение проводилось для заданных модельных стационарных профилей электронной температуры, отвечающих малым размерам источника по сравнению с характерными продольным и поперечным масштабами электронной теплопроводности. Указанные приближения далеко не всегда соответствуют условиям конкретных экспериментов. Поэтому дальнейшее исследование процессов термодиффузии магнитоактивной плазмы, в особенности возможностей формирования дактов с повышенной плотностью или сложным немонотонным профилем плотности, представляется чрезвычайно важным.

Ионизационное самовоздействие электромагнитных полей, приводящее к образованию дактов плотности, исследовалось экспериментально и теоретически в работах [6,28-30,39-42]. В них применительно к различным частным случаям обсуждался ВЧ пробой (в квазистатических или волновых полях) фонового нейтрального газа при наличии внешнего магнитного поля. Следует, однако, отметить, что в литературе практически отсутствуют теоретические работы по ионизационному формированию дактов в изначально существующей (фоновой) плазме, хотя такая постановка характерна для ряда активных ионосферных экспериментов [15,49-53], результаты которых представляют значительный интерес с точки зрения возможности формирования самосогласованных плазменных антенн полями мощных электромагнитных источников в околоземном космическом пространстве. Таким образом, изучение особенностей ионизационного формирования дактов плотности в магнитоактивной плазме является актуальной задачей.

Что касается влияния дактов плотности на возбуждение и распространение электромагнитного излучения в магнитоактивной плазме, то следует отметить, что сравнительно недавно была разработана строгая теория возбуждения и распространения волн свистового диапазона при наличии цилиндрических дактов [54-62]. Было установлено, что наличие уже сформированных дактов плотности приводит к заметному изменению условий возбуждения и распространения свистовых волн и может способствовать значительному повышению эффективности низкочастотных излучателей. В указанных работах рассмотрение проводилось в основном для бесстолкновительной, либо слабостолкновитель-ной плазменной среды, в то время, как дакты, возникающие в условиях ионизационной нелинейности, могут характеризоваться сравнительно большим значением эффективной частоты столкновений. При этом наличие потерь, связанных, например, с электронными столкновениями, может приводить к различным (как негативным, так и позитивным) эффектам, оказывающим существенное влияние на пространственную структуру полей источников и, в итоге, на их характеристики излучения. Следует иметь в виду, что при увеличении мощности излучения имеет место ионизационное самовоздействие волновых полей, также сопровождающееся формированием дактов плотности и сравнительно слабо изученное применительно к свистовому диапазону частот. В связи с вытекающими отсюда перспективными приложениями, весьма важным является дальнейшее теоретическое исследование как процессов формирования дактов, так и особенностей возбуждения и волновод-ного распространения вистлеров в них.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей формирования протяженных плазменно-волноводных структур (дактов плотности), возникающих вследствие тепловых и ионизационных нелинейных эффектов при высокочастотном нагреве замагниченной плазмы полем электромагнитного источника, а также анализу влияния таких структур на возбуждение и последующее волноводное распространение волн свистового диапазона.

Основной целью проведенных исследований является определение возможностей создания полями мощных электромагнитных источников самосогласованных плазменных структур, позволяющих изменять характеристики излучающих систем в магнитоактивной плазме — в частности, приводить к увеличению полной мощности излучения, а также управлять распределением излучаемой мощности по пространственному спектру возбуждаемых волн.

Поставленная цель достигается путем последовательного рассмотрения ряда модельных задач, включающего следующие основные этапы:

• исследование особенностей формирования дактов плотности в условиях тепловой и ионизационной нелинейностей при нагреве столк-новительной замагниченной плазмы квазистатическими полями источников;

• анализ возбуждения и распространения электромагнитных волн свистового диапазона в сравнительно узких (в масштабе длины рас-пространящейся волны) дактах с значительным перепадом плотности, включая исследование влияния столкновительных потерь на дисперсионные свойства и структуры полей распространяющихся мод.

• исследование ионизационных нелинейных эффектов, связанных с распространением интенсивных свистовых волн в магнит оактивной плазме.

Рассмотрение проводилось в резонансной области свистового диапазона частот, допускающей существование квазиэлектростатических волн. В указанном диапазоне тепловые и ионизационные нелинейные эффекты могут проявляться, вследствие резонансного возрастания поля, при сравнительно небольших уровнях мощности, подводимой к источнику.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Приложения, Заключения и списка литературы, содержащего 139 наименований, и изложена на 221 страницах, включая рисунки (58) и таблицы (15).