ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Юсупова Игоря Евгеньевича "Исследование импульсного электромагнитного излучения грозового процесса в приложении к мониторингу грозовой активности", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – "Радиофизика"

Актуальность темы

Актуальность темы исследования не вызывает сомнения. Молниевая активность является источником повышенной опасности в самых различных сферах жизнедеятельности человека. В настоящее время во всем мире наблюдается стремительное развитие различных радиотехнических систем мониторинга грозовой активности. Эти системы становятся все более совершенными, способными успешно конкурировать с традиционно используемыми средствами контроля опасных явлений погоды, связанных с конвективными облаками. Однако, некоторые модельные представления о разрядах и условиях распространения электромагнитного излучения, используемые в этих системах, вызывали обоснованные вопросы. Исследования автора в этих направлениях своевременны, актуальны и практически значимы.

Краткое содержание работы

В **первой главе** обсуждаются особенности импульсного электромагнитного излучения, сопровождающего развитие сильноточных компонент молниевых вспышек разных типов, проводится сравнительный анализ основных моделей молниевых разрядов как источников этого излучения, приводится краткий обзор существующих пассивных радиотехнических средств мониторинга грозовой активности, основанных на использовании электромагнитного излучения гроз СДВ диапазона.

Во **второй главе** анализируется структура и параметры импульсного радиоизлучения гроз на основе экспериментальных данных. Обсуждается методика классификации форм атмосфериков СДВ диапазона по типам для выделенных грозовых очагов и приводятся результаты ее использования. Приводятся наблюдаемые различия временных форм сигналов ортогональных компонент горизонтальной составляющей магнитного поля, которые не могут быть объяснены в рамках дипольного представления излучателя.

Третья глава посвящена модельному исследованию электромагнитного излучения гроз. В ней рассматривается многосегментная модель молниевого разряда. Проведены исследования форм импульсов электромагнитного излучения для разных конфигураций молниевого канала и положений точки наблюдения на и над земной поверхностью. Получены количественные оценки нижней границы применимости дипольных представлений протяженных излучателей. Объяснено замеченное различие форм сигналов ортогональных компонент горизонтальной составляющей магнитного поля в ближней зоне. Исследованы особенности трансформации форм атмосфериков при распространении в волноводном канале Земля-ионосфера с использованием программного комплекса, разработанного на кафедре радиофизики СПбГУ. Проведено сопоставление экспериментально зарегистрированных атмосфериков и рассчитанных сигналов с использованием типовых форм, показывающая адекватность используемого программного комплекса. На его основе создана методика формирования банка канонических форм атмосфериков.

В **четвертой главе** использованы результаты модельных исследований, приведенных в третьей главе, при решении задач местоопределения молниевых разрядов. Проведен анализ ошибок разностно-дальномерных систем местоопределения, возникающих вследствие влияния эффектов распространения, и даны рекомендации по их уменьшению.

Разработан метод однопунктового местоопределения молниевых разрядов с расширенной (10…1500 км) зоной оперативного обслуживания, основанного на использовании сформированного банка канонических форм атмосфериков. Проведена экспериментальная проверка его работы.

На основе кластерного анализа разработана методика информативного отображения и краткосрочного прогноза развития грозовой активности.

Результаты работы

- Проведены экспериментальные исследования вариаций форм и параметров импульсного электромагнитного излучения гроз. Обнаружены существенные различия структуры горизонтальных ортогональных компонент магнитного поля в ближней зоне, которые не могут быть объяснены в рамках существующих моделей молниевых разрядов.
- Разработана методика классификации форм атмосфериков по типам, позволяющая исключить возможные вариации, обусловленные эффектами распространения.
- Разработана модель молниевого разряда как источника импульсного электромагнитного излучения, учитывающая возможные пространственные изменения геометрии молниевого канала. С ее помощью объяснено различие структуры горизонтальных ортогональных компонент магнитного поля в ближней зоне.
- Проведены детальные численные исследования особенностей трансформации форм атмосфериков при их распространении в волноводном канале Земля-ионосфера для различных типов источника, расстояний и условий распространения.
- Проведено исследование путей повышения точностных характеристик разностно-дальномерных систем местоопределения гроз путем введения поправок на распространение.
- Разработана методика создания банка канонических форм атмосфериков для разных типов сигналов, расстояний и условий распространения. Показана адекватность формируемых расчетных образцов экспериментально зарегистрированным сигналам.
- Разработан однопунктовой метод местоопределения гроз с расширенной (до 1500 км) зоной оперативного обслуживания, основанный на использовании банка канонических форм атмосфериков.
- Разработан адаптивный алгоритм пространственно-временной кластеризации грозовой активности, используемый для выделения грозовых образований различных пространственно-временных масштабов.
- Разработана методика информативного отображения грозовой активности, основанная на кластерном анализе. С ее помощью произведено трассирование грозовых образований в реальном времени, а также дан краткосрочный прогноз их развития.

Научная новизна

1. Автором проведены экспериментальные исследования атмосфериков из выделенных грозовых очагов, позволившие оценить параметры электромагнитного излучения в зависимости от типа грозы и фазы ее развития. Обнаружены существенные различия форм ортогональных составляющих горизонтального магнитного поля в ближней зоне, которые не могут быть объяснены в рамках общепринятых моделей молниевых разрядов.
2. Разработана методика классификации форм атмосфериков СДВ диапазона по типам. Классификация производилась по сигналам, зарегистрированным в жестко ограниченном интервале расстояний (50…150 км), что позволило свести к минимуму влияние на форму сигналов статического и индукционного слагаемых в дипольном представлении поля, сферичности и конечной проводимости земли, а также ионосферных отражений.

3. Разработана модель молниевого разряда произвольной пространственной конфигурации. С ее помощью впервые были получены количественные оценки нижней границы применимости дипольного приближения и объяснено наблюдаемое на ближних расстояниях различие форм горизонтальных ортогональных составляющих магнитного поля.
4. Впервые проведены детальные численные исследования особенностей трансформации форм атмосфериков при распространении в волноводном канале Земля-ионосфера для различных типов источника, расстояний и условий распространения, позволившие количественно оценить точностные характеристики разностно-дальномерных систем местоопределения и дать рекомендации по их улучшению.
5. Разработана методика формирования банка канонических форм молниевых разрядов и на ее основе разработан новый метод однопунктового местоопределения гроз с расширенной (10…1500 км) зоной оперативного обслуживания.
6. Разработана методика пространственно-временной кластеризации и информативного отображения грозовой активности. С ее помощью были осуществлены оценка текущей фазы грозы и краткосрочный прогноз ее развития.

Научная и практическая значимость

Разработанная автором модель молниевого разряда позволила объяснить значительное влияние на форму рассчитываемых полей пространственных вариаций молниевого канала, проверить применимость дипольного приближения излучателя, объяснить наблюдаемое на ближних расстояниях различие форм горизонтальных ортогональных составляющих магнитного поля, а также оценить поляризационные ошибки пеленгаторов.

Проведенные детальные численные исследования особенностей трансформации форм атмосфериков позволили оценить погрешности систем местоопределения и дать рекомендации по их уменьшению.

Разработанный метод однопунктового местоопределения гроз с расширенной (10…1500 км) зоной оперативного обслуживания апробирован с использованием разностно-дальномерной системы местоопределения и может быть рекомендован для использования при однопунктовом местоопределении гроз с 10…15% точностью.

Достоверность результатов

Точностные и вероятностные характеристики рассматриваемых методов и средств мониторинга грозовой активности оценивались с использованием в качестве поверочных инструментов: многопунктовой интерферометрической УКВ-системы SAFIR (Франция), многопунктовыми разностно-дальномерными СДВ системами Алвес (Россия), Blitzortung (Германия), Wetterzentrale (Германия). Адекватность алгоритмов расчета полей оценивалась путем сопоставления расчетных форм с экспериментально зарегистрированными атмосферикаами на различных расстояниях и в разных условиях распространения. Основные результаты работы обсуждались на региональных, всероссийских и международных конференциях

Замечания

Отмечая актуальность, обоснованность, научную и практическую значимость диссертационной работы, необходимо обратить внимание автора на определенные спорные моменты и недостатки исследования:

1. В первой главе приводится необоснованно подробное описание общего подхода метода кластеризации. Его следовало бы поместить в приложении.
2. Во второй главе при обсуждении методики формирования типичных форм атмосфериков в ближней зоне не рассмотрено влияние сферичности Земли.
3. Остается неясным, насколько полно представленные в диссертации типовые формы СДВ атмосфериков описывают возможные вариации, связанные с изменениями токов сильноточных молниевых разрядов.
4. Не показано, как можно отличить изменения форм СДВ импульсов, обусловленные изменениями форм и величин разрядных токов, от изменений, связанных с вариациями геометрии молниевых каналов.
5. В тексте имеется ряд стилистически неудачных формулировок, затрудняющих понимание существа рассматриваемой проблемы.

Отмеченные недостатки не снижают ценность работы и не являются определяющими при общей положительной оценке представленного диссертационного исследования.

Заключение

Диссертация представляет собой завершенное научное исследование, выполненное автором на достаточно высоком уровне. В ней проведено исследование электромагнитного излучения грозового процесса, предложены методы и средства мониторинга грозовой активности, имеющие большое значение в области предупреждения грозовой опасности. Полученные автором результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и достоверные. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Юсупов И.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – "Радиофизика".

Кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Отдела геофизического мониторинга
и исследований ФГБУ "Главная геофизическая
обсерватория им. А.И. Воейкова" Ю.П. Михайловский

Подпись руки кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Отдела геофизического мониторинга и исследований ФГБУ "Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова"

Подпись руки
заверяю
ИНСПЕКТОР
ОТДЕЛА КАДРОВ
ПОПОВА А.Ю.