УДК 523.7:551.510.535

Г.Н.Крылов, М.И.Беленький, Л.С.Ивлев
Санкт-Петербургский университет
Ю.П.Вербин
Санкт-Петербургский морской технический университет

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТОМОГРАФИЯ И МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ МАТЕРИИ В АТМОСФЕРУ

Проблема электромагнитной томографии и мониторинга облачных образований может быть решена с учетом размеров и параметров среды образований и используемого диапазона электромагнитных волн. Показано, что для анализа крупномасштабных слабовыраженных образований необходимо использовать диапазон сверхдлинных волн (длина волны около 3 км) и проводить мониторинг по земной волне. Следует использовать радионавигационные системы этого диапазона, выбор диапазона длин волн у которых проведен с учетом интегрального влияния образований на фазовую структуру электромагнитного поля. Результаты мониторинга предлагается использовать в качестве набора экспертных оценок системы принятия решений.

The problem of electromagnetic tomography and monitoring of cloud cluster formation can be solved if the sizes and parametres of the medium of the formations and the range of electromagnetic waves used are taken into account. It is shown that for the analysis of large-scale feebly marked formations it is necessary to use the range of myriametric waves (the wavelength is about 3 km) and to conduct monitoring on a surface wave. The radio navigation systems of this range should be used, the wavelength band selection of these has been made in view of the integral influence of the formations on the phase structure of electromagnetic field. The results of monitoring are offered to be used as a set of expert judgments of the system of decision making.

Природные и техногенные процессы приводят к возникновению в земной атмосфере и ближнем космическом пространстве облачных образований. Это могут быть аварийные выбросы атомных электростанций или крупных нефтехимических комплексов, выбросы, связанные с процессами в земной коре (предвестники землетрясений), облака

космического мусора и иные крупномасштабные слабовыраженные образования природного и техногенного происхождения. Важным стимулом для начала работ явилась аварийная ситуация на Чернобыльской атомной станции, которая поставила вопрос о необходимости мониторинга и электромагнитной томографии аварийного выброса (облачного образования) в порядок дня.

Наличие такого выброса должно оказывать существенное влияние на фазовую структуру электромагнитного поля СДВ- и ОНЧ-диапазонов. Радиоволны именно этих диапазонов применяются в современных радионавигационных системах, которые обладают высокой точностью за счет наличия атомного стандарта частоты и времени. Системы СДВ-диапазона (частота около 100 кГц) работают по земной волне. Системы ОНЧ-диапазона (частота 15 кГц) работают в волноводном канале Земля – ионосфера (их область действия не имеет ограничений).

Выбор метода зависит от параметров образований и их размеров. Образования могут изменяться от мелкомасштабных и ярко выраженных до крупномасштабных и слабовыраженных. Радиотехнические средства регистрации начинаются с диапазона УКВ (радиолокационные системы) и оканчиваются СДВ- и ОНЧ-диапазонами (радионавигационные системы). В первом случае электромагнитные волны проникают в образование на глубину, сравнимую с размером слоя скин-эффекта. Во втором они проходят через образование почти без поглощения. Методы дополняют друг друга, однако процессы получения и обработки информации существенно различны. На основе анализа и оценки предельных значений размеров и параметров образований, которые могут быть зафиксированы, предложены методы обработки и интерпретации результатов, которые можно использовать для создания системы экспертных оценок. С учетом результатов работы иных систем возможно создание комплексной системы принятия решений.

При работе радионавигационных систем СДВ-диапазона по земной волне фазовая структура электромагнитного поля меняется только за счет облачных образований в атмосфере. Именно поэтому эти системы предложены для проведения электромагнитной томографии и мониторинга. Использование радионавигационных систем ОНЧ-диапазона для тех же целей менее целесообразно. Фазовая структура их электромагнитного поля существенно зависит от состояния ионосферы, на которое более существенно, чем облачные образования, влияют другие многообразные факторы.

Приведем пример дислокации системы мониторинга применительно к Северо-Западному региону России. В этом регионе предпочтительно использовать радиостанцию, расположенную в окрестности г. Петрозаводска. В районе предполагаемого мониторинга (например, в районе г. Сосновый Бор или г. Кириши) расположено несколько приемных пунктов, которые синхронизованы во времени и связаны системой передачи данных с единым контрольным пунктом. Приемные пункты могут быть совмещены с пунктами гидрометеорологической службы. В штатном режиме радионавигационные системы предназначены для определения координат. Наличие облачных образований приводит к изменению фазовой структуры электромагнитного поля в пространстве. В штатном режиме такие изменения фиксируются и учитываются путем введения поправок. Координаты приемных пунктов известны, и источником информации являются данные об изменении штатной фазовой структуры электромагнитного поля. Это уже не поправки, а источник информации о наличии облачных образований.

Несколько слов о физической основе метода. Если облачное образование находится в зоне Френеля, т.е. на пути радиоволны от передающей станции к приемной, то возможно применение лучевого метода. Такая ситуация встречается редко, ибо облачное образование подвижно, положение приемных пунктов фиксировано, а их число ограничено. При применении метода электромагнитной томографии облачное образование заменяется эквивалентным вторичным виртуальным источником тока.

Электромагнитное поле виртуального источника имеет иные направление прихода к каждому приемному пункту, фазовую структуру электромагнитного поля, поляризацию и другие характеристики. Именно эти величины и являются источником информации. Для определения виртуального тока необходимо решение интегродифференциального уравнения электромагнитной томографии. В случае крупномасштабных слабовыраженных образований для этой цели применим метод последовательных приближений.

Система математического обеспечения мониторинга состоит из двух независимых частей. В первой проводится определение виртуальных токов для ряда моделей облачных образований. В реальной ситуации число моделей ограничено и предполагается возможность идентификации типа образования. Во второй проводится обработка информации, поступающей с приемных пунктов. Выводы о типе и характере образования (при его наличии) предполагается проводить совместно с информацией, которая имеется в системе гидрометеорологической службы. Для проведения оценок построены несколько моделей облачных образований, для которых установлена возможная точность определения. Например, если размеры образования 1-2 км и его параметры отличны от параметров вакуума в четвертом знаке, то они могут быть зафиксированы. Более точные оценки могут быть получены экспериментально.

Экспериментальные исследования в СДВ- и ОНЧ-диапазоне не проводились, их планируется провести в 2003 г. Аппаратурная часть в этих диапазонах совпадает и отличия проявляются только в наличии природных и техногенных помех (шумов). Рассмотрим в качестве примера работу российской радионавигационной системы «Альфа», в которую входят три передающие станции в Новосибирске, Краснодаре и Комсомольске-на-Амуре. Сигналы станций синхронизованы и имеют частоты 11,9; 12,6 и 14,9 кГц. На приемном пункте сигнал антенны поступает на фильтр низких частот, квантуется с помощью аналого-цифрового устройства и далее передается на шину персонального компьютера. Для эксплуатации приемного пункта необходим персональный компьютер, антенна высотой 3-5 м, антенный усилитель, аналого-цифровой преобразователь и опорный кварцевый генератор типа «Гиацинт» (или иной с такой же или лучшей стабильностью).