В.И.Веремьев, И.Г.Горбунов, С.П.Калениченко, А.А.Коновалов,
НИИ "Прогноз" при Санкт-Петербургском электротехническом университете

УДК 546.296

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Изложены результаты исследований по радиолокационному обнаружению техногенных образований в нижних слоях атмосферы на больших дистанциях. Разработана обобщенная математическая модель рассеяния электромагнитных волн выбросов из труб атомных электростанций. Полученные зависимости эффективной поверхности рассеяния от длины волны показали, что их значения при аварийных выбросах невелики, что создает трудности радиолокационного обнаружения. Задача обнаружения и распознавания типа выбросов решается с применением сети многопозиционных РЛС.

In this work are stated a research results of the technogenic formation radar detection in the lower layer of atmosphere on long distances. It was developed generalise mathematical model of the electromagnetic waves scattering (radar cross section – RCS) of leakage from an atomic power plant chimney. The calculated function RCS from the radar wavelength have showed that values RCS when is the emergency leakage is not so big, that creates difficulties of radar detection. The detecting and recognition problem of the leakage type has a decision when using a network of the multipositional multiband radars.

К настоящему времени экологическая ситуация обострилась как в отдельных регионах, так и в стране в целом, в первую очередь, по причинам старения и неудовле-

творительного состояния многих производств, что объективно приводит к увеличению числа аварий и катастроф с локальными и глобальными последствиями. Наиболее потенциально опасными и для населения, и для окружающей среды являются АЭС и промышленные предприятия, использующие ядерные технологии, поскольку они могут явиться источником аварий, сопровождающихся поступлением в атмосферу радиоактивных веществ. Эта проблема имеет государственную значимость и требует создания систем экологического мониторинга различного уровня.

В настоящее время при эксплуатации АЭС и других радиационно-опасных объектов используют контактные и дистанционные методы контроля. Существующие контактные средства контроля обладают рядом недостатков, среди которых выделим следующие:

- локальность проводимых измерений;
- неспособность прогнозирования распространения выбросов;
- подверженность воздействию загрязненной среды;
- высокая степень риска для операторов при работах в послеаварийных ситуациях;
- большие интервалы времени между моментом радиоактивного загрязнения и обнаружением этих загрязнений.

Использующиеся в настоящее время дистанционные средства контроля (акустические, оптические гамма-спектрографы) имеют малый радиус действия, зависят от погодных условий и т.д.

В этой связи представляют интерес исследование возможностей и разработка методов обнаружения техногенных образований радиолокационными средствами, свободными от ряда недостатков существующих средств контроля и способными, в частности, осуществлять оперативное дистанционное обнаружение и оценку параметров техногенных метеообразований на больших территориях и прогнозировать их распространение.

Описанные здесь радиолокационные методы и средства направлены на осуществление дистанционного контроля нижних слоев атмосферы в районах расположения радиационно-опасных объектов. Авторами исследованы возможности использования радиолокационных методов мониторинга для решения задач оперативного обнаружения, идентификации и оценки параметров радиоактивных и химических выбросов в атмосферу, предложены методы и методики радиолокационного мониторинга нижних слоев атмосферы, концепция построения системы радиолокационного мониторинга с использованием как штатных радаров, так и специально разработанных РЛС.

Обобщенная модель эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) техногенного метеообразования учитывает пространственно-временное нелинейное и параметрическое взаимодействие всех физических составляющих, определяющих изменение диэлектрических характеристик атмосферы, с электромагнитным полем.

Поскольку строгий теоретический анализ нелинейной модели представляет значительные трудности, на первом этапе исследований была разработана комплексная аддитивная физико-математическая модель рассеяния электромагнитных волн на техногенных метеообразованиях, отдельные компоненты которой обусловлены рассеянием за счет ионизации воздуха на турбулентных образованиях, частицах и термических неоднородностях.

На основе полученной теоретической модели путем численного моделирования произведены количественные расчеты, характеризующие частотные зависимости ЭПР техногенных метеообразований различных типов в широком диапазоне изменения их физических параметров.

Решение системы уравнений ионизационного баланса позволило рассчитать уровни концентрации электронов и ионов в нижних слоях атмосферы при различных уровнях интенсивности радиационной ионизации. Расчеты показали, что из-за высокой плотности концентраций молекул в нижних слоях атмосферы даже при катастрофических радиоактивных выбросах количество

заряженных частиц крайне незначительно, причем ионная концентрация примерно на девять порядков выше электронной. Поэтому характеристики рассеяния в нижних слоях атмосферы будут совершенно иными, нежели в ионосфере, для которой они достаточно хорошо исследованы ранее.

Рассмотрены три основные модели рассеяния радиоволн ионизованным образованием: рассеяние на флуктуациях электронов во всем его объеме, когерентное отражение от границ зон с повышенной концентрацией заряженных частиц в облаке и рассеяние на треках альфа-частиц.

По разработанным моделям произведены расчеты ЭПР техногенных образований при различных пространственных и физико-химических характеристиках ионизованных образований. В зависимости от того, насколько влиятельны в конкретном выбросе те или иные физические факторы, определяющие возмущение диэлектрической проницаемости атмосферы, значения ЭПР могут как возрастать, так и убывать с изменением частоты сигнала, что может быть использовано при решении задач идентификации.

Произведенные по разработанным моделям расчеты показали, что значения ЭПР техногенных метеообразований даже при аварийных выбросах весьма незначительны, поэтому возникают трудности при выделении отраженных от них сигналов на фоне интенсивных пассивных помех от подстилающей поверхности и мешающих метеообразований. Для решения проблем радиолокационного обнаружения техногенных метеообразований на фоне пассивных помех от местных предметов и подстилающей поверхности были разработаны специальные методы.

Предложено использовать многопозиционные радиолокационные системы, включающих в себя наряду с активными РЛС, действующими в контролируемом регионе, дополнительные приемные пункты. Теоретический анализ показал, что использование таких систем может дать существенный энергетический выигрыш по сравнению с однопозиционной РЛС в случаях, когда объем метеообразования меньше пространственного объема разрешения активной РЛС. Как частный случай рассмотрена двухпозиционная система. Показано, что при изменении среднего значения ЭПР подстилающей поверхности от 0 до 35 дБ при расположении приемного пункта на расстоянии 1 км от контролируемой зоны, выигрыш составляет 37-48 дБ. Кроме энергетического выигрыша, следует отметить относительную дешевизну приемных пунктов, их высокую мобильность, более высокое пространственное разрешение системы.

Повышение энергопотенциала РЛС может быть достигнуто также за счет увеличения импульсной мощности ПРД (при этом резко возрастает стоимость РЛС и ухудшаются экологические характеристики) либо за счет повышения длительности импульса (при этом ухудшается разрешение). Поэтому для мониторинга нижних слоев атмосферы целесообразно использование сигналов большой базы, позволяющих увеличить среднюю мощность при неизменных значениях импульсной мощности и пространственного разрешения. Определены требования к сложному квазинепрерывному сигналу с точки зрения допустимого уровня боковых лепестков (БЛ) взаимной функции неопределенности, при котором реализуется заданная точность оценки по максимуму правдоподобия измеряемых параметров.

Разработаны перспективные виды фазоманипулированных сигналов, позволяющие практически реализовать требуемые значения уровня БЛ.

Наряду с теоретическими исследованиями, проведены эксперименты с целью установить, можно ли обнаруживать неоднородности над объектами, осуществляющими выбросы в атмосферу. Измерения выполнялись на экспериментальном макете, который представляет собой модернизированную РЛС П-18, функционально сопряженную с компьютером, позволяющим производить обработку сигналов с использованием различных алгоритмов. Зондирование проводилось над участками расположения ЛАЭС и НИТИ (Ленинградская область). Результаты зондирования показали, что РЛС

метрового диапазона могут регистрировать наличие и интенсивность атмосферных возмущений над источниками выбросов.

Для осуществления экологического мониторинга атмосферы разработана концепция построения радиолокационной системы на базе действующих в регионе и специализированных РЛС. Система должна включать активные РЛС различных диапазонов и приемные пункты, расположенные вблизи потенциальных источников выбросов. Сформулированы требования к техническому облику и основным техническим характеристикам РЛС экологического мониторинга.