УДК 621.396

В.И.Веремьев, С.П.Калениченко, А.А.Коновалов

НИИ радиоэлектронных систем прогнозирования чрезвычайных ситуаций «Прогноз» Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ»

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Представлена структурная схема алгоритма расчета выбросов в атмосферу атомных электростанций. В аддитивной модели эффективной площади рассеяния выброса учитываются различные компоненты процесса: ионизация воздуха радионуклидами, турбулентность и тепловые неоднородности, аэрозольные частицы, треки альфа-частиц и метеообразования природного происхождения. Исходными данными при расчетах являются метеоданные, параметры РЛС и помеховая обстановка в регионе. В результате расчетов может быть получено поле пространственных сечений выброса АЭС в атмосферу и уточнены (по радиолокационным данным) пространственные характеристики техногенных и природных метеообразований.

In this article the block-diagram of the algorithm for the calculation of the atmospheric pollution by nuclear power plants is shown. The pollution model takes into account different indicators of pollution, viz. the ionization of air by radionuclides, turbulence and thermal heterogeneity, aerosol particles, alpha rays and natural meteorological formations. The basic data for the calculations include: meteorological information, radar unit data and atmospheric noise within a region. As a result of calculations the field of the spatial of sections of the atmospheric pollution by the nuclear power plants can be obtained as well as spatial features of technogenic and natural meteorological formations can be rendered more precise (due to radar data).

Установлено, что при отражении электромагнитных волн (ЭМВ) от ионизированных образований в нижних слоях атмосферы (до 3-5 км), обусловленных выбросами радиоактивных газов и частиц твердых радионуклидов, при мощности дозы в не-

сколько рентген в час отраженный сигнал может быть зарегистрирован наземными РЛС с большим энергетическим потенциалом.

Основной радиолокационной энергетической характеристикой рассеяния ЭМВ сосредоточенными в пространстве целями является эффективная площадь рассеяния (ЭПР). Следует учитывать, что для описания поля, отраженного от объектов сложной формы, используется много характеристик. В рассматриваемой задаче обнаружения и измерения параметров выброса использовались соотношения для ЭПР, принятые в радиолокации и радиометеорологии. Реальные метеорологические объекты представляют собой множественные радиолокационные цели, состоящие из большого числа рассеивателей (распределенные в пространстве цели), которые могут целиком попадать в разрешаемый (импульсный) объем РЛС или превосходить его по угловым и дальностным координатам. Облако выброса АЭС, располагающееся на небольшой высоте вблизи трубы, при большом расстоянии от труб станции до РЛС целиком попадает в разрешаемый объем РЛС и может считаться точечной сложной (с многими блестящими точками) целью. При переносе в атмосфере это облако превращается в распределенную по пространству цель, размеры которой превышают разрешаемый объем РЛС. Поэтому процедура расчета ЭПР выброса должна учитывать взаимное расположение в пространстве АЭС, РЛС и ионизированных образований в атмосфере.

Сложность математического описания атмосферных процессов существенно увеличивается при учете техногенных воздействий на атмосферу. В модели ЭПР выброса учтены основные техногенные и природные метеорологические факторы: подогрев атмосферы теплым воздухом из труб АЭС, турбулентность (вихри), наличие газов и аэрозолей промышленного происхождения, капель воды, льда, снега, пыли и т.д. В случае аварии нужно учитывать также треки альфа-частиц, соизмеримые по длине с рабочей длиной ЭМВ РЛС.

В первоначальной постановке задачи была предложена обобщенная модель ЭПР выброса, которая отображала сложную зависимость ее от ряда физических параметров, характеризующих выброс.

Эта зависимость определяет временно-пространственное нелинейное взаимодействие всех физических составляющих, вызывающих возмущение атмосферы, с электромагнитным полем при распространении и отражении ЭМВ в объеме воздуха, занимаемом выбросом: экранный эффект, поглощение, усиление и др. Поскольку теоретический анализ нелинейной модели представляет значительные трудности, рассмотрена аддитивная модель ЭПР выброса, учитывающая ионизацию воздуха, турбулентность в атмосфере, тепловые неоднородности, влияние аэрозолей и других частиц, треков альфа-частиц. Модель позволяет выявить количественный вклад каждой составляющей в общую ЭПР выброса с учетом многообразия всех условий и ограничений задачи.

Решение задачи разделено на два этапа: радиолокационное обнаружение техногенного метеообразования (выброса АЭС на фоне распределенных и сосредоточенных пассивных помех) и распознавание характера выброса, т.е. установление факта наличия радиоактивности в облаке выброса с возможной оценкой мощности дозы излучения.

ЭПР представляет собой сложную функцию многих переменных: углов наблюдения в вертикальной и горизонтальной плоскостях, длины волны или направления поляризации поля. С помощью однопозиционной РЛС можно измерить следующие основные статистические характеристики ЭПР метеобъектов: корреляционную функцию и спектральную плотность; плотность распределения и ее моменты; структурную функцию и спектральную плотность (при наличии нестационарности метеообъектов); пространственно-временную функцию рассеяния.

В качестве параметров расчетных формул могут быть использованы значения ЭПР для малоразмерных тел, радиолокационная отражательная способность или эффективная площадь рассеяния единицы объема объемно-распределенных целей и функцио-

нально с ней связанная радиолокационная отражаемость Z, которая характеризует рассеивающие свойства облаков, осадков и измеряется экспериментально в метеорологических РЛС. Параметр Z не зависит от рабочей частоты РЛС и каких-либо других параметров радиолокатора, напротив, объемная и сосредоточенная ЭПР зависит от частоты. Соотношения для расчета всех составляющих ЭПР ввиду их громоздкости здесь не приводятся.

Одной из основных целей работы была разработка гибкого алгоритма расчета, позволяющего оценивать радиолокационные характеристики выброса АЭС при ограничениях на параметры конкретных РЛС и в различных условиях, создаваемых рядом факторов:

- радионуклидным составом и пространственными характеристиками выброса;
- метеоданными;
- параметрами РЛС обнаружения;
- помеховой обстановкой в районе расположения АЭС (переотражения сигнала от земной и водной поверхности и присутствие активных помех на входе приемника РЛС).

На основе информации, получаемой при расчетах на модели, решаются задачи радиолокационного распознавания техногенных и природных метеоцелей по данным обработки когерентных и некогерентных эхо-сигналов с учетом ситуации на АЭС, радиолокационных помех и метеофакторов в санитарно-защитной зоне.

Создание такого алгоритма диктуется многообразием и изменчивостью исходных данных для расчета ЭПР выбросов в различных ситуациях работы АЭС, качеством радиолокационного обнаружения-распознавания различных схем обработки радиолокационных сигналов, различающихся по техническим характеристикам и параметрам, и расположением РЛС в пространстве относительно лоцируемых объектов.

Исходные данные модели включают следующие базы данных:

- средние параметры выбросов из вентиляционных труб АЭС в случае штатной работы станций и отклонения от них либо параметры аварийных выбросов;
- типовые ситуации метеообстановки в санитарно-защитной зоне АЭС и в регионе (в зоне действия РЛС);
- помеховая обстановка (карта радиолокационных пассивных помех, типовые помехи для активных помех, которые могут возникать в районе расположения РЛС).

В модель заложена возможность обновления баз данных.

В результате расчета могут быть получены следующие выходные параметры:

- значения удельной и (или) суммарной ЭПР выброса и отдельных ее составляющих;
- отношение сигнал/шум плюс помеха на выходе линейной части приемника (до амплитудного или фазового детектора);
- оценка корреляционно-спектральных характеристик метеообразований техногенного и природного происхождения.

По результатам расчетов строится текущее векторное поле пространственных сечений отражаемости и корреляционно-спектральных характеристик выброса с учетом результатов обработки эхо-сигналов.

При значительном удалении РЛС от зоны выброса и расчетах ЭПР областей, попадающих в объем разрешения РЛС, необходимо учитывать пространственно-временное распределение неоднородностей, приводящих к изменению диэлектрической проницаемости среды. Как показали исследования на моделях, при учете неоднородной структуры облака ЭПР ионизированных образований может возрастать на несколько порядков. Полезный результат будет получен лишь в случае, когда уровень выходного сигнала превышает уровень помех в несколько раз. Такая ситуация возникает, как установлено, в случае аварийного или катастрофического выброса. Это означает, что эффекты, связанные с радиоактивным загрязнением атмосферы, повышают ЭПР исследуемого объема атмосферы. Для получения информации о таких эффектах используются пространственная селекция (узкий антенный луч и малые боковые лепестки антенны), временная селекция (стробирование наблюдаемых радиолокатором элементов дистанции, при-

менение сигнала с кнопочной функцией неопределенности совместно с фильтром подавления помех и ложных выбросов, помех на выходе схемы обработки), частотная селекция эхо-сигналов от техногенных метеообразований с учетом априорных данных о структуре спектра природных метеообразований, совмещение многочастотной и многодиапазонной работы РЛС с поляризационной селекцией.

Для построения пространственных полей переноса радиационных загрязнений в атмосфере в алгоритме задействована модель переноса Пасквилла – Гиффорда, учитывающая атмосферные условия и стратификацию атмосферы, рекомендованная МАГАТЭ при оценке распространения кратковременных или стационарных локальных выбросов в зоне радиусом до 10 км от источника выброса.

Расчеты ЭПР выбросов АЭС, выполненные по разработанной методике, показали невозможность обнаружения ионизированной составляющей штатных выбросов с радиоактивностью в облаке ниже $n \cdot 100$ мкР/ч при использовании РЛС с высоким энергетическим потенциалом (РЛС типа МРЛ-5 и РЛС ПВО) даже на расстоянии нескольких километров. Обнаружение выброса требует тщательного анализа, наличия априорных сведений о метеообстановке в районе АЭС, когерентной обработки эхо-сигналов с большим временем накопления (до нескольких десятков секунд). Приращения ЭПР, обусловленные радиоактивностью выброса, можно установить с помощью многочастотного, многодиапазонного сигнала и анализа его корреляционно-спектральных характеристик. Значения теоретической оценки ЭПР выброса при различных условиях могут различаться на 100 дБ.

Преимущество рассмотренного алгоритма в решении проблемы радиолокационного обнаружения выбросов АЭС заключается в возможности оперативного сравнения данных натурных измерений с теоретическими оценками с учетом конкретных изменяющихся условий.