Д.А. Ковалев, В.Н. Михайлов

РАСПОЗНАВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ПОМОЩИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Возрастающее количество промышленных объектов, использующих атомные технологии (на текущий момент 439 энергетических ядерных реакторов производят почти 16 процентов мировой электроэнергии[4]), создает повышенную угрозу населению и окружающей среде в случае возникновения на них аварийных ситуации, сопровождавшихся выбросами радионуклидов в окружающее пространство. Среди таких объектов наибольшую угрозу могут представлять атомные электростанции (АЭС) (в том числе планируемы к вводу в эксплуатацию плавучие АЭС), эксплуатируемые в арктических регионах атомные ледоколы. Разработка методов мониторинга, позволяющих распознавать радиоактивные выбросы в атмосфере и прогнозировать их распространение, в данных условиях является весьма актуальной задачей.

При решении задачи мониторинга радиоактивно-опасных объектов используются контактные и дистанционные методы мониторинга. Главным недостатком контактных методов контроля является локальность проводимых измерений, неспособность прогнозирования распространения выбросов. Дистанционные средства контроля, использующиеся в настоящее время (гамма-спектрографы, акустические, оптические) также обладают недостатками, в частности, малым радиусом контроля, зависимостью от погодных условий.

Поисковая научно-исследовательская работа проводится при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы" (государственный контракт № 14.740.11.1278 от 17.06.2011).

В данной ситуации актуальными представляются исследования и разработка систем обнаружения техногенных образований, в том числе радиоактивных выбросов, дистанционными, в частности, радиолокационными средствами. Применение радиолокационных средств мониторинга, может позволить избавиться от главных недостатков существующих средств контроля. Главными преимуществами

в использовании радиолокационных средств является возможность непрерывного мониторинга контролируемой зоны дистанционно в режиме реального времени.

Использование средств радиолокационного мониторинга окружающего пространства является эффективным средством для решения задачи обнаружения, идентификации и измерения параметров радиоактивных выбросов в атмосферу. Это подтверждается работами, проводимыми в данной и смежных областях [1][2][3]. В работах по использованию радиолокаторов для обнаружения техногенных метеообразований (в том числе радиоактивных выбросов) приводятся различные методики обнаружения и идентификации опасных метеообразований. Приводятся примеры по обнаружению радиоактивных облаков различных видов[2]. Наблюдение радиоактивного метеообразования на экране радиолокатора возможно даже без использования дополнительных аппаратных средств. Для получения не только качественных, но и количественных характеристик необходимо использовать специальные методы и алгоритмы обработки радиосигнала, отраженного от радиоактивного облака. Для этого требуется построение модели рассеяния электромагнитной волны на содержащем радиоактивные выбросы метеообразовании.

Для процедуры идентификации радиоактивного метеообразования используются характеристики отраженного от метеообразования радиосигнала. Можно выделить три основные модели рассеяния радиоволн ионизированным радиоактивным выбросом: когерентное отражение от

границ зон образования с повышенной концентрацией заряженных частиц, рассеяние на флуктуациях электронов во всем его объеме и модель рассеяния на треках альфа-частиц.

Когерентное отражение от границ зон с повышенной концентрацией заряженных частиц в метеообразовании происходит при значительном перепаде концентрации заряженных частиц, а, следовательно, диэлектрической проницаемости среды, в слое глубиной порядка $\lambda/4$, где λ - длина волны излучаемого радиолокационного сигнала.

Описываемый механизм рассеяния возможен как в непосредственной близости от канала, через который проходит выброс, так и от отдельных локальных ионизированных неоднородностей, распределенных по всей зоне выброса, обусловленных попаданием в воздух сильнорадиоактивных компонент, вокруг которых интенсивность образования ионов аномально высока по сравнению с ее средним уровнем. На рис. 1 представлена зависимость коэффициента отражения по мощности от степени ионизации для разных длин волн для когерентной модели отражения (*A* – интенсивность радиационной ионизации).

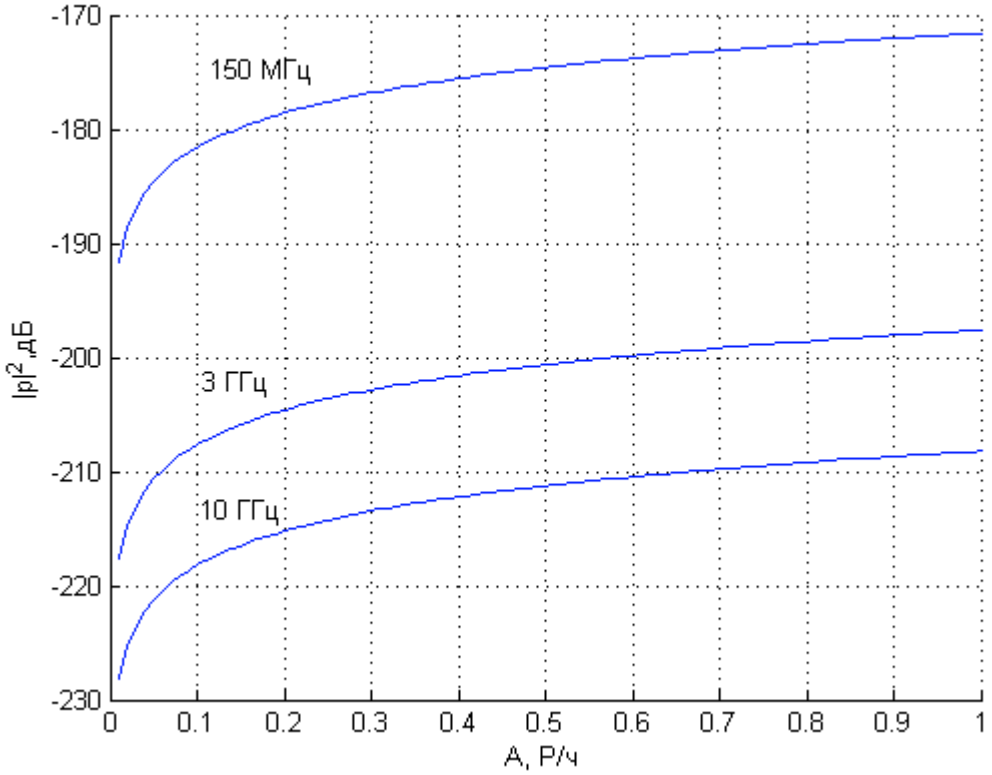
-170
-180
-190
-200
-210
-220
-230
|p|2,дБ
150 МГц
3 ГГц
10 ГГц
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
A, Р/ч

Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения по мощности от интенсивности радиационной ионизации ($A = 0...1 P/ч$)

На рис. 2 приведена зависимость эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) от степени ионизации метеообразования, рассчитанных с использованием модели некогерентного рассеяния на флуктуациях плотности электронов. В данном случае ионизированное облако представляется как случайное тропосферное образование, ЭПР которого определяется пространственными и плазменными характеристиками. При оценке ЭПР были взяты следующие пространственные характеристики радиоактивного облака: $L = 20 м$ - протяженность облака, эффективный рассеивающий объем $V_э = 10^4 м^3$.

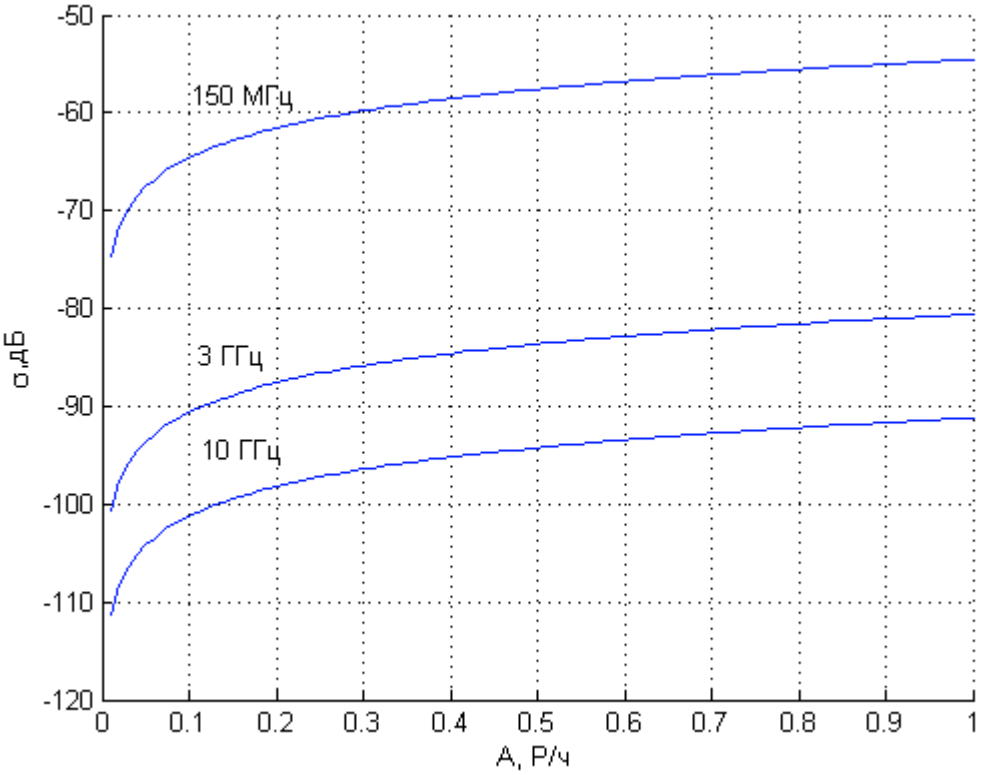
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
σ,дБ
150 МГц
3 ГГц
10 ГГц
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
A, Р/ч

Рис. 2. Зависимость ЭПР ионизированного образования от интенсивности радиационной ионизации ($A = 0...1 P/ч$)

На основе модели рассеяния радиосигнала на ионизированном радиоактивным выбросом метеообразовании составляется вектор информационных параметров, на основе которых будет происходить идентификация наблюдаемого метеообразования, а также последующая оценка его параметров (пространственное распределение концентрации заряженных частиц, динамика перемещения радиоактивного облака). Также на основании оценки этих наблюдаемых параметров отраженного сигнала можно производить уточнение модели переноса техногенного метеообразования в пространстве, оценивая наличие турбулентных процессов, скорости и характер передвижения метеообъектов.

Решение задачи оценки параметров радиоактивного метеообразования и последующее уточнение их изменения, опирается на следующую модель.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_n &= \mathrm{A}(\mathbf{X}_{n-1}, \mathbf{V}_n) && (1) \\ \mathbf{Y}_n &= \mathrm{C}(\mathbf{X}_n) + \mathrm{D}(\mathbf{W}_n) && (2) \end{aligned},$$

где (1) - уравнение состояния, и (2) - уравнение наблюдение. Функциональное преобразование A описывает пространственную модель переноса радиационных загрязнений в атмосфере. Функциональное преобразование C описывает связь скрытых от непосредственного наблюдения параметров метеообразования (концентрации заряженных частиц, интенсивность радиационной ионизации) $\mathbf{X}_n$ и наблюдаемых параметров рассеянного метеообразованием сигнала $\mathbf{Y}_n$. $\mathbf{W}_n$ определяет погрешность измерения параметров $\mathbf{Y}_n$. $\mathbf{V}_n$ – шум процесса, характеризующий флуктуации параметров модели относительно их оцененных значений. n - индекс, отражающий дискретные моменты времени.

Одной из моделей, рекомендованной Международной организацией МАГАТЭ при оценке распространения кратковременных или стационарных локальных выбросов в зоне радиусом до 10 км от источника выброса является модель переноса Пасквилла-Гиффорда. Эта модель учитывает атмосферные условия стратификацию атмосферы и позволяет построить модель пространственных полей переноса радиационных загрязнений в атмосфере.

В соответствие с этой моделью интегральная концентрация загрязняющих веществ в воздухе в направлении распространения струи выброса от источника конечного времени действия при полном прохождении выброса через данную точку определена выражением [5]

$$q(x,y,z) = \int_{t_0}^{t_0+T} q_A(x,y,z,t)dt\,, \qquad (3)$$

где

$$q_A(z,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)\overline{u}}\exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y{}^2}\right]\times\left\{\exp\left[-\frac{(z-h_{ЭФ})^2}{2\sigma_z{}^2}\right]+\exp\left[-\frac{(z+h_{ЭФ})^2}{2\sigma_z{}^2}\right]\right\}, \quad (4)$$

где Q- мощность источника выброса; $h_{ЭФ} = h + \Delta h$ - эффективная высота выброса (h - высота источника выброса, Δh - высота подъема струи); $\sigma_z{}^2, \sigma_y{}^2$ - вертикальная и поперечная дисперсии облака примеси.

Следует отметить, что ЭПР техногенных радиоактивных метеообразований даже в случае аварийных выбросах очень незначительны, что значительно затрудняет выделении отраженных от них сигналов на фоне интенсивных помех от подстилающей поверхности и мешающих метеообразований. Предлагается следующий алгоритм. На первом этапе происходит идентификация метеообразования, с целью оценки его принадлежности к классу радиоактивных метеообразований. Ключевой информацией здесь служит изменение значения ЭПР в зависимости от частоты, обусловленные физическими факторами, преобладающими в наблюдаемом техногенном метеообразований и

влияющими на диэлектрическую проницаемость среды. Далее, в случае отнесения метеообразования к «радиоактивному» производится оценка концентрации заряженных частиц в облаке по параметрам отраженного сигнала и, исходя из этого, делается оценка интенсивности радиационной ионизации. После чего, с учетом выбранной модели переноса прогнозируется динамика распространения и изменения концентрации заряженных частиц в облаке. Модель переноса может уточняться по оценке наличия различных спектральных составляющих отраженного сигнала. Далее процедура итеративно продолжается с осуществлением процедуры идентификации на каждой итерации.

Реализация процедуры идентификации сталкивается с определенными сложностями, поскольку в решаемой задаче информации об исследуемом объекте недостаточно для представления ее в виде законов распределения. Отнесение наблюдаемого объекта одному из классов метеообразований производится на основе близости измеренных значений вектора признаков к эталонным значениям этих параметров для каждого класса. Ключевым вопросом является выбор этого расстояния, которое может быть определено исходя из некоторых априорных предположений о векторе признаков распознавания. Для этого необходимо также наличие информации о значениях вектора признаков для техногенных метеообразованиях другого типа (химические и т.д.).

Литература:

1. Веремьев В.И., Коновалов А.А. Радиолокационные методы обнаружения и оценки параметров атмосферных неоднородностей техногенного происхождения. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2008. 136 с.

2. Кононов Е. Н., Решетняк С.А., Шелепин С.А., Щеглов В.А. Применение радиолокационных средств для дистанционного контроля радиационной обстановки // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22, ВЫП. 17. С. 86–90.

3. Якубов В.П., Ковтун С.Н., Лосев Д.В. Контроль уровня радиоактивности по изменению интенсивности флуктуаций фонового радиотеплового излучения // Журн. радиоэлектроники 2000. № 7.

4. Веб-сайт Организации объединенных наций. http://www.un.org/ru/ development/progareas/global/nuclear.shtml

5. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС. Госкомитет СССР по гидрометеорологии. Л.:Гидрометеоиздат 1990.