

большой активности эта вероятность не превышает 50—55%. Более продолжительный интервал аппаратного усреднения приводит к еще худшим результатам. Следовательно, обнаружение с помощью таких датчиков автотранспорта с провозимыми источниками излучения нереально.

На основании изложенного можно сделать несколько выводов.

1. Усредненная за 4-летний период среднесуточная мощность экспозиционной дозы γ -излучения в Москве составляет $9,7 \pm 2,7$ мкР/ч.

2. Наряду с общей небольшой тенденцией к ее снижению выявлены районы, где происходит рост. Выявлены также четкие сезонные вариации естественного радиационного фона, заметно ослабевающие к центру города.

3. Показания всех четырех датчиков, используемых в эксперименте по одновременной регистрации естественного радиационного фона, нельзя признать статистически идентичными, их показания, которые принадлежат общей генеральной совокупности, характеризующей усредненный общегородской радиационный фон, составляют разные выборки.

4. Пороговую мощность экспозиционной дозы для выдачи сигнала о возникновении аварийной ситуации рекомендуется выбирать, задаваясь максимально допустимым уровнем вероятности ложной тревоги. При имеющихся в Москве параметрах естественного радиационного фона допустимым значением порога может быть 0,15—0,2 мкЗв/ч, тогда вероятность ложной тревоги не будет превышать 10 и 3% соответственно.

5. Датчики типа ИРФ смогут обнаруживать с вероятностью более 50% облака загрязнений диаметром более 300 м с активностью в облаке, соответствующей создаваемой мощности экспозиционной дозы 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч) и более при пороге 0,2 мкЗв/ч и интервале аппаратного усреднения 10 мин. Увеличение интервала усреднения приводит к повышению размеров обнаруживаемого облака или росту его активности или того и другого вместе.

Поступила в Редакцию 3.12.97

УДК 621.039.76:621.396.96

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И РАЗВЕДКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Юрчак Б.С. (НПО «Тайфун»)

Возрастающие требования к оперативности и достоверности информации о радиоактивном загрязнении местности и воздушного бассейна при штатных и аварийных атмосферных выбросах АЭС и других радиационно опасных объектов стимулировали исследования по выяснению возможностей применения дистанционных, в частности, радиолокационных методов определения техногенной радиоактивности атмосферы [1—4]. Эти работы ориентированы на измерение радиолокационного эхосигнала от электронного или ионного компонента слабоионизированной атмосферной плазмы [1—3] или собственного радиоизлучения облученных паров воды [4], возникающих над радиационно опасными объектами под действием ионизирующего излучения. Доказанных примеров обнаружения радиоактивных облаков нет.

Цель настоящей работы — анализ возможностей радиолокационно-трассерного метода, который, как представляется, может повысить эффективность функционирования имеющихся и разрабатываемых систем контроля и разведки обстановки в районе радиационно опасного объекта.

Радиолокационно-трассерный метод поддержки систем контроля и разведки обстановки в районе радиационно опасного объекта. Этот метод широко используется при изучении физики атмосферы. В его основу положен хорошо известный принцип маркировки какой-либо трудно поддающейся регистрации субстанции материалами или веществами, одни свойства которых с ней совпадают (например, аэродинамические), другие столь резко отличаются, что позволяют надежно выделять техническими средствами эти маркеры. В работе [5] предложено применять этот метод в системе радиационного мониторинга. По этому методу предлагается газоаэрозольную радиоактивную примесь, возникающую, например, при аварии радиационно опасного объекта, маркировать пассивными радиолокационными отражателями с последующим их обнаружением в атмосфере радиолокационными средствами (рис. 1). Обнаружение выброса и слежение за ним достигаются благодаря автоматическому впрыскиванию пассивных радиолокационных отражателей в радиоактивную примесь.

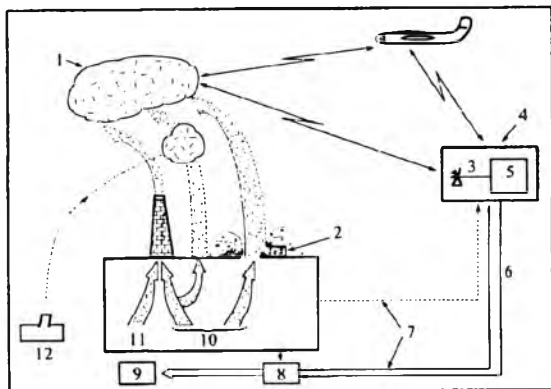


Рис. 1. Радиолокационно-трассерный метод поддержки системы контроля и разведки радиационной обстановки в районе радиационно опасного аварийного объекта: 1 — облако газоаэрозольной взвеси опасных веществ и радиоотражающих трассеров; 2 — упаковки радиоотражающих трассеров, встроенные в элементы конструкции предприятия; 3 — радиолокационная станция сопровождения; 4 — пункт радиолокационного контроля; 5 — блок первичной обработки информации; 6 — канал передачи информации; 7 — канал передачи алармных сигналов; 8 — кризисный центр предприятия; 9 — информация о положении облака опасного выброса для самолета-лаборатории, подразделений радиационной и химической разведки, руководящих органов предприятия, местных властей; 10 — опасные вещества; 11 — радиоотражающие трассеры; 12 — капатупа

дальность действия таких систем не превышает нескольких километров и ограничивается условиями только безоблачной погоды. Предложение маркировать облака загрязняющих веществ группами уравновешенных шаров-зондов (тетронов) [7] трудно выполнимо во время аварии.

В предложенном методе «визуализация» радиоактивного облака достигается, как уже упоминалось, обнаружением маркирующих его пассивных отражателей с помощью радиолокационной станции, устанавливаемой вблизи контролируемого предприятия или группы предприятий. Для этого применяются также специальные или радиометеорологические станции, находящиеся вблизи радиационно опасных объектов. Информация о положении и конфигурации отражателей поступает в сопряженную с радиолокационной станцией ЭВМ для предварительной обработки эхосигналов и сжатия информации. Далее информация передается в кризисный центр предприятия, где отображается на терминале и служит для последующего расчета траектории и геометрических характеристик радиоактивного облака в текущие моменты времени. По этим

выброса и слежение за ним достигаются благодаря автоматическому впрыскиванию пассивных радиолокационных отражателей в радиоактивную примесь.

При аварийной ситуации или плановом выбросе токсичных и/или радиоактивных газов и аэрозолей отражатели с диспергирующими устройствами по команде оператора или автоматически смешиваются с радиоактивной примесью, вместе с ней выносятся в атмосферу и позволяют оценить средний перенос и трансформацию облака под действием ветра и турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы. На предприятиях, не оборудованных контейнерами с отражателями или диспергирующими устройствами, радиолокационные маркеры могут вводиться в область действия источника загрязнения другими способами, например, сбрасыванием с вертолета, выстреливанием из артиллерийских или пневматических систем, с помощью ракет и т.п.

Маркировка атмосферной примеси и ее последующее обнаружение дистанционными методами зондирования, в частности, лидами известны [6]. Однако

данным восстанавливают высотный и наземный следы облака, выдают указания для авиационных и наземных средств целевого пробоотбора, рассчитывают прогноз распространения облака на ближайший период, выдают рекомендации службе защиты населения.

Радиолокационно-трассерный метод использовали в НПО «Тайфун» с конца 70-х годов в рамках научно-исследовательских работ по контролю за эффектом активного воздействия на теплые облака и туманы и изучению диффузии пассивной примеси в облаках и околооблачном пространстве. Особенностью его применения явилось широкое использование пассивных отражателей из углеродно-графитовых материалов. Они менее инерционны, чем металлизированные с основой из стекла или полимерных материалов, хотя создают меньший радиолокационный сигнал. В экспериментах применяли углеродно-графитовый материал «Углен» [8] со скоростью седиментации 10—30 см/с, выбросы проводили на высоте 0,5—2 км с самолета [9]. Такая высота, в частности, соответствовала высоте распространения радиоактивного облака в первые дни аварии на Чернобыльской АЭС. В начале 90-х годов были выполнены экспериментальные исследования характеристик диффузии в нижней части пограничного слоя атмосферы [10]. В них использовали отражатели из углеродно-графитового материала «Метка», имеющие при высокой отражающей способности скорость седиментации отдельного диполя около 3 см/с (тип ВПР-19с) [11].

Преимуществами слежения за радиоактивной примесью с помощью радиолокационно-трассерного метода является его чувствительность к таким заметно влияющим на условия переноса примеси, но трудно прогнозируемым факторам, как сдвиг ветра и вовлечение в облака.

Углеродные пассивные отражатели как трассер газоаэрозольного радиоактивного выброса. Область их применения как трассера невесомой радиоактивной примеси определяется скоростью седиментации (w_g). Гравитационное оседание влияет на диффузию посредством трех механизмов [12]:

смещение центра тяжести облака частиц по вертикали (в спокойной атмосфере при $w_g \sim 3$ см/с разница в высоте за 1 ч наблюдения составит около 100 м, что является пренебрежимо малой поправкой, поскольку за это время, как правило, расширение облака в вертикальной плоскости значительно превышает эту величину за исключением случаев сильной устойчивости);

частицы не полностью воспринимают высокочастотные флуктуации турбулентной среды вследствие инерции (до установившейся скорости падения 0,4 м/с, которой обладают пылевые частицы размером до 500 мкм, влиянием инерции можно пренебречь);

частица при падении последовательно попадает в сферу влияния разных вихрей, что ведет к потере корреляции флуктуации ее лагранжевой скорости и, как следствие, к уменьшению коэффициента диффузии. Из работы [13] следует, что при нейтральных и неустойчивых условиях, когда стандартное отклонение флуктуаций вертикального компонента скорости ветра σ_w составляет $\sim 0,5$ м/с, этот фактор можно не учитывать. При сильной устойчивости, когда σ_w мало, возможное влияние конечной скорости гравитационного оседания должно быть учтено.

На скорость седиментации влияет также агрегатирование отражателей в результате некачественного диспергирования.

Оценка основных характеристик метода. С методической точки зрения особенностью обсуждаемого метода для решения поставленной задачи является радиолокация пространственно-распределенной цели, какой являются отражатели, на малой высоте в условиях помех от гидрометеоров (облака, осадки) и местных предметов (подстилающая поверхность, растительность, постройки).

Основные характеристики радиолокационно-трассерного метода оценены в работе [5]. В предположении гауссовой модели диффузии для простейшего случая без учета

отражения примеси от поверхности Земли и для времени, намного большего лагранжева временного масштаба турбулентности τ_L , получено уравнение радиолокации для нахождения предельной дальности (по времени и расстоянию) сопровождения отражателей в зависимости от диффузионных параметров x_L и r_L :

$$\lg t'_c = \frac{1}{7} \left\{ 2 \lg \sigma_\Sigma + \frac{1}{5} \left(\frac{P_0}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{дБ}} + 2 \lg \Pi - 3 \lg 4\pi - 6 \lg r_L - 4 \lg x_L \right\},$$

где σ_Σ — первоначальная эффективная поверхность рассеяния выброса («заряда») отражателей; Π , P_0 , $P_{\text{ш}}$ — потенциал, импульсная мощность и чувствительность приемника радиолокационной станции соответственно; $r_L = \tau_L \sqrt{\langle v^2 \rangle}$ — масштаб диффузии; $\langle v^2 \rangle$ — дисперсия пульсаций скорости движущейся частицы; $x_L = \bar{u} \tau_L$ — пространственный масштаб вдоль направления переноса ($\bar{u}$ — средняя скорость переноса под действием ветра); $t' = t/\tau_L$ — безразмерное время диффузии, которое можно интерпретировать одновременно и как безразмерную дальность R' , поскольку $t' = t/\tau_L = \bar{u}t/\bar{u}\tau_L = r/x_L = R'$. Расчеты t'_c для отражателей типа ВПР-19с при массе выброса 200 г ($\sigma_\Sigma = 100 \text{ м}^2$) показали, что, например, при умеренной турбулентности и условиях, близких к нейтральным ($r_L \sim 10^2 \text{ м}$, $x_L = 10^3 \text{ м}$), дальность сопровождения, например, для радиолокатора типа МРЛ-2 ($\Pi = 3,195 \text{ м}^3$, $P_{\text{ш}} = 2 \cdot 10^{-13} \text{ Вт}$, $P_0 = 150 \text{ кВт}$ [14]) может составить до $50 \tau_L$ по времени и до $50 x_L$ по расстоянию на фоне всех форм не дающих осадков облаков [5]. Эти оценки были подтверждены экспериментально. Метрическая дальность сопровождения отражателей составила от 15 до 50 км в зависимости от метеорологической ситуации.

За критерий влияния подстилающей поверхности на характеристики сопровождения принималось время, по истечении которого полезный сигнал от отражателей становился неотличимым от сигналов местных предметов. Это имеет место, когда угловая высота центра облака отражателей становится меньше ширины диаграммы направленности антенны. Оценка времени раздельного приема сигналов от отражателей типа ВПР-19с, диспергированных с высоты 30 м, составила $t^* \sim (1,5-3)10^3 \text{ с}$, что оказалось близко к наблюдавшемуся времени сопровождения [5].

Путем использования методов поляризационной селекции и селекции движущейся цели надежность обнаружения отражателей на фоне гидrometeopов и местных предметов может быть повышена. Для трассирования различных фракций радиоактивной примеси целесообразно использовать многокомпонентные выбросы отражателей, состоящие из групп диполей с разной скоростью седиментации.

Использование радиолокационно-трассерного метода при радиационной разведке в районе аварийного объекта. Радиолокационная визуализация радиоактивного облака может существенно повысить оперативность авиационной, наземной и водной разведок с одновременным уменьшением экономических издержек на их проведение, так как нет необходимости в широкомасштабной зондировке всего воздушного или водного бассейна и объезде по кольцевым маршрутам местности, прилегающей к аварийному объекту. Пробы воздуха, почвы и воды в процессе зондировки отбираются целенаправленно в точно известном участке воздушного или наземного следа радиоактивного облака.

При авиационной разведке самолет-зондировщик на радиоактивное облако наводится либо с помощью бортового радиолокатора или наземной станции по отметкам маркеров-отражателей от облака и самолета (см. рис. 1). Управление последним с наведением на облако отражателя было практически реализовано при использовании

радиолокационного метода контроля активного воздействия на теплые облака и туманы [15]. Эксперименты, проводившиеся в НПО «Тайфун» при разработке этого метода, могут служить примером организации и практического выполнения целенаправленного пробоотбора.

Для радиолокационной визуализации зону активного воздействия маркировали отражателями параллельно с засевом реагентом через определенные интервалы по дальности. С помощью МРЛ-2 методом азимутального сканирования определяли текущие координаты самолета-лаборатории и зоны засева и получали данные для точного (в пределах инструментальных ошибок) решения навигационной задачи — наведения самолета на зону воздействия. Данные, необходимые для корректировки курса, оператор передавал по радиосвязи. Моменты входа и выхода самолета из зоны воздействия определяли по совпадению радиолокационной отметки от самолета и маркирующих границы зоны выбросов отражателей.

Целенаправленный пробоотбор проводили при изучении в натурных условиях закономерностей изменений микроструктуры облачной среды в результате активного воздействия.

Представляется, что при авиационной радиационной разведке можно будет применить описанный опыт с учетом замены зоны активного воздействия на радиоактивное облако. Такую методику можно использовать при отсутствии своевременного ввода маркеров в область действия источника радиоактивной примеси. Тогда при обнаружении радиоактивного облака с помощью оперативного бортового анализа проб воздуха достаточно диспергировать в соответствующий момент времени отражатели, которые позволят следить за ним наземными радиолокационными средствами и после возвращения самолета на базу.

Отметим, что поскольку радиоактивное облако может быть объектом активного воздействия в целях осаждения аэрозолей, радиолокационно-трассерный метод предоставляет очевидные возможности для эффективной дезактивации атмосферы, выражающиеся, в частности, в целенаправленном наведении самолета с реагентом в позицию воздействия на облако. При наземной и водной разведке соответствующие средства наводятся в район под воздушным следом облака с учетом горизонтального смещения аэрозолей при оседании за счет ветра, а также в результате вымывания осадками.

Определение траекторно-геометрических характеристик радиоактивного облака. При использовании радиолокационной поддержки необходимо передавать подразделениям радиационной разведки информацию о размере и положении радиоактивного облака в пространстве, имеющего, как правило, нерегулярную форму. Такие характеристики, как положение его центра, размер и динамика перемещения (поступательная и вращательная скорость), визуально определяются с большой погрешностью.

При обработке радиолокационного изображения облака отражателей может быть предложена процедура установления формальной аналогии между радиолокационной отражаемостью, которая пропорциональна концентрации отражателей, и плотностью некоторого механического тела. В этом случае нахождение искомых характеристик радиоактивного облака можно свести к разработанной в механике задаче определения механических моментов тел [16].

Рассмотрим радиолокационное изображение облака отражателей без помеховых экосигналов.

Путем вычисления моментов тела (радиолокационного изображения) определяются параметры так называемого эквивалентного эллипса радиоактивного облака: координаты центра тяжести; дисперсии координат вдоль осей x' и y' главной центральной системы координат $D_{x'}$ и $D_{y'}$; размеры большой $2a = 2\sqrt{D_{x'}}$ и малой $2b = 2\sqrt{D_{y'}}$ осей; площадь $S_3 = \pi\sqrt{D_{x'}D_{y'}}$; эксцентриситет (вытянутость вдоль главной оси симметрии

$x')$ $\varepsilon = \sqrt{1 - D_y/D_{x'}}$; ориентация большой оси симметрии относительно главной центральной системы координат $\beta = 0,5 \arctg\{2D_{xy}/(D_x - D_y)\}$ (главное значение). Оценивается также площадь реальной фигуры P . Расчеты проводят с учетом соответствующей плотности — уровня эхосигнала того или иного участка изображения, который выделяется радиолокационной системой изоэха [14] или программным оконтуриванием соответствующих участков.

При регистрации вертикальных радиолокационных разрезов облака отражателей путем угломестного сканирования можно дополнительно вычислить параметры эквивалентного эллипсоида, построенного на стандартном отклонении координат точек облака в трех направлениях декартовой системы координат как на полуосях. При условии сохранения массы, т.е. условия, по которому интегральная радиолокационная отражаемость по всему облаку (количество отражателей) должна быть равной аналогичному параметру эквивалентного эллипсоида, размеры полуосей могут отличаться от указанных.

По результатам определения координат центра изображений, соответствующих паре моментов наблюдения t_j и t_{j+1} , находят такие динамические характеристики облака отражателей, как скорость и направление перемещения, скорость расширения радиоэха в горизонтальной (вертикальной) плоскости и завихренность (угловую скорость вращения радиоэха).

Такая процедура может быть применена не только к отдельным облакам с неравномерной отражаемостью, но и к их совокупности, на которые часто распадается облако отражателей при распространении в пограничном слое атмосферы.

Указанный подход к обработке радиолокационных данных позволяет, кроме того, в режиме интерактивного диалога с ЭВМ отфильтровывать от полезного эхосигналы от местных предметов и гидрометеоров, что имеет важное значение ввиду необходимости сопровождать облако отражателей на низкой высоте.

Оценка некоторых радиационных характеристик облака радиоактивной примеси. Одной из основных проблем при расчете мощности дозы γ -излучения, обусловленной радиоактивным облаком, является неизвестное распределение в нем объемной активности $A_v(t, x, y, z)$ [17]. Рассматриваемый метод в некоторых случаях способствует решению этого вопроса.

Пусть, например, определено количество диспергированных отражателей N_Σ (по радиолокационным данным) и суммарная активность выброса A_Σ (по дополнительной информации). Тогда можно определить коэффициент пропорциональности: $K = N_\Sigma/A_\Sigma$. Этот коэффициент можно определить и сравнением удельной эффективной поверхности обратного радиолокационного рассеяния η отражателей элементарного (радиолокационного) объема облака объемной активностью $A_v(r)$ в этом же объеме, полученной путем авиационного пробоотбора. Тогда при адекватности распространения отражателей и газоаэрозольных частиц радиоактивного облака $A_{v,i} = n_i/K$ (n — концентрация отражателей). В случае некогерентного рассеяния значение n_i в каждой точке облака пропорционально удельной поверхности рассеяния $n_i = \xi\eta_i$, где ξ — определяемый калибровкой радиолокатора постоянный коэффициент, пространственное распределение $\eta(\vec{r})$ измеряют путем сканирования лучом радиолокатора в азимутальной и угломестной плоскостях (для радиолокационной станции с диаграммой направленности карандашного типа) и тем самым определяют $A_v(t, x, y, z)$.

Отметим, что если суммарное количество отражателей оценивать по интегральной поверхности рассеяния, K определять сравнением авиационных и радиолокационных данных, то можно оценить априорно неизвестную A_Σ и, следовательно, мощность выброса.

Определение некоторых динамических характеристик пограничного слоя атмосферы, используемых при прогнозе дальнего распространения радиоактивных выбросов. Выброс отражателей вместе с радиоактивной примесью позволяет не только трассировать распространение радиоактивного облака в пределах нескольких десятков километров, но и оперативно определять без дополнительных метеорологических измерений текущее динамическое состояние пограничного слоя атмосферы: скорость и направление среднего переноса, наличие вертикального сдвига ветра, высоту слоя перемешивания и коэффициенты турбулентной диффузии. Кроме этого, радиолокатор позволяет определять местоположение и оценивать интенсивность осадков, которые влияют на перенос и вымывание примеси из атмосферы. Эти параметры служат входными данными для прогностических моделей дальнего переноса аварийных радиоактивных выбросов радиационно опасных производств, и их оперативное определение есть важная функция радиолокационной поддержки. Приведем способы определения перечисленных параметров.

1. Скорость и направление среднего переноса (основные метеорологические параметры) на высоте выброса рассчитывают по смещению центра тяжести изображения облака отражателей, соответствующего двум моментам наблюдения.

2. Определение коэффициентов турбулентной диффузии с помощью радиолокационно-трассерного метода основывается на измерении изменения во времени дисперсии координат частиц облака по двум или трем осям декартовой системы координат [9].

Известно, что в нижней части пограничного слоя атмосферы, по крайней мере, для высоты выброса 300 м расширение облака примеси в основном подчиняется соотношениям однородной турбулентности с учетом возможных сдвигов ветра. Однако основные параметры рассеяния облака примеси, а именно интегральные временные лагранжевы масштабы турбулентности и коэффициенты диффузии могут существенно изменяться для разных выбросов даже при примерно одинаковых условиях стратификации [10]. Это означает, что даже расширенные измерения метеорологических параметров в точке не всегда могут быть использованы для оценки коэффициента турбулентной диффузии.

3. Измерение сдвига ветра основывается на анизотропии размеров облака отражателей в горизонтальной плоскости и его вытягивании вдоль вектора сдвига, представляющего собой векторную разность скоростей ветра на нижнем и верхнем уровнях слоя распространения отражателей. При наличии сдвига не только по скорости, но и по направлению большая ось облака не совпадает с направлением среднего переноса. Вертикальный сдвиг ветра можно оценить по наклону облака в вертикальной плоскости (по данным угломестного сканирования), характеру изменения его продольной горизонтальной дисперсии по соотношениям для дисперсии примеси в условиях однородной турбулентности. Исследования конфигурации облака отражателей целесообразно провести на основе решения полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии по всем трем пространственным переменным при наличии сдвига ветра с поворотом [18].

4. Исходя из определения слоя перемешивания как слоя, за пределы которого примесь не выходит при распространении по вертикали, этот параметр оценивают по высоте верхней границы ($H_{в.г.}$) радиолокационного изображения облака отражателей на стационарном участке зависимости $H_{в.г.}(t)$ с учетом погрешностей радиолокационных измерений $\Delta H \sim 0,2$ км. Пример процесса распространения облака отражателей в вертикальной плоскости с выходом на насыщение приведен в работах [5, 10].

5. Пятна радиоактивного загрязнения, обусловленные вымыванием радиоактивных аэрозолей из атмосферы, определяют анализом взаимного положения радиоэхо осадков и траектории перемещения облака отражателей с использованием моделей и методик оценки активности осажденных аэрозолей [19].

Заключение. Таким образом, содержанием радиолокационной поддержки является комплекс мероприятий, состоящий из натурного моделирования выброса радиоактивной примеси (радиолокационного сопровождения, маркированного отражателями) на начальном периоде аварии, определения основных динамических характеристик пограничного слоя атмосферы для последующего их использования в качестве входных параметров в прогностических моделях дальнего переноса примеси, оценки некоторых



Р и с. 2. Радиолокационная поддержка системы радиационного контроля и разведки в районе радиационно опасного объекта

радиационных характеристик облака радиоактивной примеси при наличии дополнительной информации и выдачи указаний подразделениям радиационной разведки и другим потребителям (рис. 2).

Радиолокационная поддержка может стать одним из звеньев системы мониторинга обстановки [20] в районе расположения радиационно опасных объектов, может использоваться при метеорологическом обследовании мест будущего их размещения, а также при штатной работе для оценки характеристик выбросов.

Работа выполнена по заказу Госкомэкологии России (контракт Е4-97) в рамках разработки федеральной целевой программы «Создание ЕГАСКРО».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Боярчук К.А., Кононов Е.Н., Ляхов Г.А. Радиолокационное обнаружение областей локальной ионизации в приземном слое атмосферы. — Письма в ЖЭТФ, 1993, т. 19, вып. 6, с. 67—72.
- Диденко А.Н., Усов Ю.П., Юшков Ю.Г. и др. Использование импульсных радиолокаторов СВЧ-диапазона для контроля радиоактивных выбросов в атмосферу. — Атомная энергия, 1996, т. 80, вып. 1, с. 47—54.
- Елохин А.П., Кононов Е.Н. Применение радиолокационных станций для обнаружения радиоактивных выбросов АЭС. — Там же, вып. 2, с. 129—135.
- Протасевич Е.Т. Метод определения радиоактивного загрязнения окружающей среды по свечению воздуха. — Оптика атмосферы и океана, 1994, т. 7, № 5, с. 697—700.
- Жуков Г.П., Юрчак Б.С. Оценка возможности определения местоположения и конфигурации облака вредных атмосферных выбросов промышленных предприятий радиолокационным методом. — Метеорология и гидрология, 1993, № 12, с. 94—100.
- Uthe E. Airborne CO₂ DIAL measurement of atmospheric tracer gas concentration distributions. — Applied Optics, 1986, v. 25, p. 2492—2498.
- Иванов В.Н., Орданович А.Е. Способ контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. А.с. 1817859. — Бюл. «Открытия, изобрет., пром. образцы, тов. знаки», 1993, № 19, с. 196.
- Гирс С.П., Каменцев В.Н., Серова М.Н. и др. О возможности использования электропроводящих углеродных нитей для исследования воздушных потоков в облаках. — Труды ГГО, 1979, № 420, с. 82—88.
- Шхиртладзе Г.И., Юрчак Б.С. Измерение коэффициента горизонтальной турбулентности диффузии в кучевых облаках радиолокационным методом. — Изв. АН СССР. ФАО, 1979, т. 15, № 2, с. 146—153.
- Жуков Г.П., Юрчак Б.С. Диффузия пассивной примеси в пограничном слое атмосферы по радиолокационным данным. — Там же, 1994, т. 30, № 4, с. 451—457.
- Бессонов В.А., Гришин Ю.П., Иорданский М.А. и др. Изделие «Метка» для изучения структуры и динамики воздушных потоков в околооблачном пространстве. — Метеорология и гидрология, 1987, № 1, с. 118—120.
- Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
- Csanady G. Turbulent diffusion of heavy particles in the atmosphere. — J. Atmosph. Sci., 1963, v. 20, № 3, p. 201—205.

14. Белов Н.П. Метеорологические радиолокационные станции. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 376 с.
15. Гирс С.П., Каменцев В.М., Степаненко В.Д. и др. Способ контроля активного воздействия на атмосферные образования. А.с. 665552 (СССР). — Бюл. «Открытия, изобрет., пром. образцы, тов. знаки», 1982, № 44, с. 275.
16. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1995. 560 с.
17. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справ. М.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.
18. Волинец Л.М., Кудрявцева С.К., Боханов В.П. Исследование горизонтальной турбулентной диффузии пассивных радиолокационных отражателей в слоистообразных облаках. — Труды УкрНИГМИ, 1986, № 212, с. 25—49.
19. ApSimon H., Simms K., Collier C. The use of weather radar in assessing deposition of radioactivity from chernobyl across England and Wales. — Atmosph. Environment, 1988, v. 22, № 9, p. 1895—1900.
20. Еремеев И.С., Еременко В.А., Жернов В.С. и др. Гибридный мониторинг радиационной обстановки — перспективный подход к оперативному контролю и прогнозированию радиационного загрязнения среды выбросами и сбросами АЭС. — Атомная энергия, 1985, т. 59, вып. 5, с. 370—372.

Поступила в Редакцию 20.02.98

УДК 621.039.54:389.14:519.233.3

СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ В СИСТЕМЕ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Зайдель Р.М. (ВНИИА)

Настоящая работа выполнена в рамках осуществляемой ВНИИА программы исследований и мероприятий по совершенствованию системы учета и контроля ядерных материалов.

При контроле за сохранностью ядерных материалов целесообразно иметь соответствующее метрологическое обеспечение, дающее необходимую точность измерений на всех этапах технологических процессов, в которых они задействованы. В частности, оценка погрешности измерений чрезвычайно важна при физической инвентаризации, определении инвентарной разности и процедурах приема-передачи ядерных материалов. Анализ погрешностей и степени достоверности измерений требует разработки математических моделей, адекватно отражающих реальные условия. Требования, которым должны отвечать средства измерений, изложены в ГОСТе 8.009-84*.

Погрешности средств измерений включают систематическую и случайную составляющие. Относительно случайной составляющей среди специалистов нет разночтений в ее оценке и трактовке результатов. Понятию же систематической составляющей погрешности придают разный смысл в зависимости от того, относят ее к совокупности измерительных приборов данного типа или же к одному конкретному прибору. В ГОСТе систематическую составляющую основной погрешности рассматривают как детерминированную величину для отдельного экземпляра средства измерений, но как случайную величину (процесс) на совокупности средств измерений данного типа.

Метрологическими характеристиками совокупности средств измерений данного вида предприятия-изготовители подтверждают качество выпускаемой продукции. В противоположность этому пользователь (оператор, инспектор) имеет дело с конкретным измерительным прибором, систематическая погрешность которого определенная. Если при очередной регламентной поверке обнаружится, что систематическая погрешность выходит за допустимые пределы, то она либо устраняется регулировкой прибора, либо используется в качестве поправки к результату измерений. Описанная типичная

*Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. ГОСТ 8.009-84, методический материал по применению ГОСТ 8.009-84, РД 50-453-84. М.: Изд-во стандартов, 1988.