

УДК 5.50.504.5

Выбор параметров динамического радиационного мониторинга территорий

Selection of parameters for dynamic radiation monitoring of territories

И.Ю. Сергеев,
канд. тех. наук
ФГБОУ ВО Сибирская
пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России

I.Y. Sergeev
Ph.D. of Engineering Sciences
FSBEI HE Siberian Fire
and Rescue Academy
EMERCOM of Russia

Аннотация:

В статье приводятся расчетные соотношения для определения основных параметров динамического радиационного контроля территорий. В полученных соотношениях учитываются реальные условия контроля: мощность подлежащего обнаружению радиоактивного источника, геометрические параметры зоны контроля, скорость контроля, уровень радиационного фона, длительность интервала усреднения сигнала детектора. Определены условия достижения максимальных значений ширины зоны контроля и производительности. Даны рекомендации для выбора рациональной скорости контроля.

Ключевые слова: мониторинг территорий, вероятность обнаружения, радиоактивный источник, зона контроля, скорость контроля.

Abstract:

The article provides the calculated ratios to determine the main parameters of the dynamic radiation monitoring of territories. The obtained ratios take into account the actual control conditions: the power of the radioactive source to be detected, the geometric parameters of the control zone, the control speed, the background radiation level, and the duration of the averaging interval of the detector signal. The conditions for achieving the maximum values of the width of the control zone and performance are determined. Recommendations for choosing a rational speed of control are given.

Key words: territory monitoring, detection probability, radioactive source, control zone, speed of control.

Расширение зон наблюдения, повышение оперативности мониторинга может быть достигнуто путем использования для обследования радиационной обстановки на территории мобильных средств контроля, интегрированных в комплексную систему безопасности и мониторинга. В последнее время для обследования территорий нередко используют способы контроля, основанные на применении высокочувствительных дозиметрических систем, установленных на автомобильном, водном и воздушном транспорте. Системы фиксируют изменение мощности дозы фонового излучения в процессе перемещения транспорта [1–2]. Достоинством высокочувствительных систем является возможность обнаружения крайне низких приращений мощности дозы излучения (4–6 нЗв/ч) над средним уровнем фона [3 – 5], что позволяет использовать такие системы в задачах высокопроизводительного обследования территорий.

Известные работы не содержат расчетных соотношений для опреде-

ления таких параметров, как максимальная ширина зоны контроля, скорость и производительность контроля в зависимости от мощности подлежащих выявлению источников радиации и характеристик используемых дозиметрических систем, что не дает возможности установить рациональные режимы осуществления динамического радиационного мониторинга территорий.

Задачей данной работы является определение рациональных режимов осуществления динамического обследования территорий, обеспечивающих достижение максимальных значений скорости и ширины зоны контроля при условии надежного выявления источников радиации определенной (допустимой) мощности с учетом характеристик системы контроля.

Обнаружение радиоактивных аномалий на местности реализуется путем перемещения детектора, установленного в транспортном средстве, по заданному маршруту при непрерывной регистрации показаний детектора во время движения. В случае превышения показаний заданного порога происходит фиксация события обнаружения. Задача контроля сводится к надежному обнаружению источника с предельно допустимой мощностью дозы излучения в любой точке зоны контроля при минимальном времени обследования территории. Схема обнаружения источника представлена на рисунке 1.

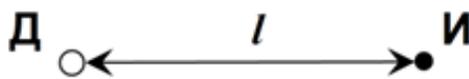


Рисунок 1. Схема обнаружения источника при обследовании территории

Д – детектор; И – источник; l – расстояние от источника до детектора.

Приращение мощности дозы регистрируемого излучения над фоном при появлении в зоне контроля источника определяется следующим образом

$$\Delta P = \frac{P_0 R_0^2}{l^2} B(l) \exp(-\mu_{мз} \rho l), \quad (1)$$

где ΔP – мощность дозы излучения источника на поверхности детектора, нЗв/ч; P_0 – мощность дозы излучения источника на стандартном расстоянии R_0 (1 м), нЗв/ч; $\mu_{мз}$ – массовый коэффициент поглощения энергии излучения воздухом, м²/кг; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $B(l)$ – фактор накопления в воздухе.

Для $l = 1$ м, $B = 1,1$; $l = 10$ м, $B = 2$; $l = 50$ м, $B = 4$.

Вероятность обнаружения источника $W(\Delta P)$ при обследовании местности по аналогии с работой [5] можно определить следующим образом

$$W(\Delta P) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left(\frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \left[\frac{P_0 R_0^2 B(l)}{l^2 \exp(\mu_{мз} \rho l)} - n\sigma \right] \right) \right\}, \quad (2)$$

где, ρ – плотность воздуха; σ – стандартное отклонение показаний системы, нЗв/ч; $n\sigma$ ($n > 3$) – порог срабатывания системы контроля. Под порогом срабатывания системы понимается уровень, превышение которого сигналом детектора приводит к появлению сигнала тревоги, свидетельствующей об обнаружении радиоактивного источника. Для получения значений вероятности обнаружения, больше 0,95, необходимо, чтобы сигнал источника превышал порог более, чем на удвоенное значение стандартного отклонения.

Анализ (2) показывает, что вероятность обнаружения увеличивается с ростом мощности источника, фактора накопления и снижается с увеличением расстояния до источника, порога срабатывания системы и стандартного отклонения показаний системы. Для нахождения основных параметров контроля (ширины зоны контроля, максимальной скорости обследования), определяющих общее время проведения контроля, задаются предельно допустимая мощность источника R_d , выявляемого в любой точке зоны контроля и вероятность обнаружения (не менее 0,95). Определяемыми параметрами являются ширина зоны контроля, равная удвоенному значению максимального расстояния, на котором выявляется указанный источник, и максимальная скорость движения транспорта с детектором.

Задача динамического радиационного обследования территорий сводится к нахождению ширины зоны контроля и максимальной скорости движения транспорта с детектором по местности. Условие надежного выявления радиационных аномалий является превышение сигнала аномалии порога срабатывания на величину двойного стандартного отклонения. Указанное условие представляется в следующем виде:

$$P_0 R_0^2 / l^2 \geq (n+2)\sigma \quad (3)$$

Полуширина зоны контроля (максимальное расстояние до источника мощностью R_d) не должна превышать следующего значения

$$l \leq R_0 \sqrt{\frac{P_d}{(n+2)\sigma}} \quad (4)$$

Из (4) следует, что максимальная удаленность источника от детектора, определяющая ширину зоны контроля, зависит от предельно допустимой мощности источника, порога срабатывания и стан-

дартного отклонения в степени $\frac{1}{2}$. Для типичного случая $R_d = 1$ мкЗв/ч, $R_0 = 1$ м, $\sigma = 1$ нЗв/ч; $n = 4$; ширина зоны контроля $2l = 26$ м. С учетом того, что:

$$\sigma = \frac{1}{K_{\text{и}}} \sqrt{\frac{P_{\text{ф}} K_{\text{ф}}}{\Delta t}} \quad (5)$$

$K_{\text{и}}$, $K_{\text{ф}}$ – коэффициенты чувствительности детектора к излучению источника и, соответственно, фона (определяются размерами детектора [7]), Δt – длительность интервала усреднения сигнала детектора. Величина $\sigma \approx 1$ нЗв/ч при $P_{\text{ф}} = 100$ нЗв/ч; $K_{\text{ф}} = 10$ имп/с / нЗв/ч; $K_{\text{и}} = 30$ импс/ нЗв/ч; $\Delta t = 1$ с.

Величина Δt , при которой наблюдаются лучшие условия выявления источника, зависит от длительности сигнала источника и составляет $(2-4)l/V$ (V – скорость контроля). Поэтому при изменении скорости и ширины зоны контроля можно варьировать длительностью интервала усреднения сигнала детектора так, что при замедлении транспорта с детектором величину Δt можно увеличивать, тем самым снижать стандартное отклонение (5) и увеличивать ширину зоны контроля (4).

Таким образом, увеличение скорости приводит к снижению ширины зоны контроля, при этом производительность контроля, оцениваемая контролируемой площадью в единицу времени, увеличивается, так как ширина зоны обратно пропорциональна скорости в степени $\frac{1}{2}$, а производительность контроля прямо пропорционально зависит от величины скорости.

Максимальная скорость контроля составит:

$V_{\text{max}} = 2l/\Delta t = 26$ м/с ≈ 94 км/ч при $\Delta t = 1$ с; $\sigma = 1$ нЗв/ч; $l \approx 13$ м.

Для $\Delta t = 2$ с; $\sigma = 0,7$ нЗв/ч; $l \approx 15,5$ м и $V_{\text{max}} \approx 56$ км/ч.

Для $\Delta t = 4$ с; $\sigma = 0,5$ нЗв/ч; $l = 18,3$ м и $V_{\text{max}} \approx 33$ км/ч.

Таким образом, при изменении скорости контроля от 94 км/ч до 33 км/ч ширина зоны контроля увеличивается от 26 м до 36,5 м, т.е. при трехкратном замедлении движения детектора зона контроля расширяется в 1,4 раза. Несмотря на расширение зоны контроля, его производительность, оцениваемая как количество проконтролированной площади территории в единицу времени, уменьшается при указанном изменении скорости приблизительно в 2 раза. Поэтому движение транспорта с детектором для получения высокой производительности контроля целесообразно осуществлять при больших скоростях.

Если же требуется фиксировать источники радиации на максимальном удалении от траектории перемещения транспорта с детектором, то следует

замедлять скорость транспорта, учитывая то обстоятельство, что максимальная удаленность источника от детектора зависит от величины, обратной скорости, в степени $\frac{1}{2}$. Двукратное расширение зоны контроля обеспечивается при снижении скорости в 4 раза.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. На основе проведенного теоретического анализа можно заключить, что расширение зоны контроля достигается увеличением мощности выявляемых радиационных аномалий, коэффициента чувствительности детектора к излучению источника, длительности интервала усреднения частоты импульсов детектора, а также снижением мощности дозы фона, коэффициента чувствительности детектора к фону, скорости контроля.
2. Зависимость ширины зоны контроля от указанных параметров не является пропорциональной (приблизительно в степени $\frac{1}{2}$).
3. Повышение производительности контроля достигается с увеличением скорости движения транспорта с детектором и одновременно уменьшением интервала усреднения сигнала детектора.
4. При движении транспортного средства по шоссейным дорогам максимальная скорость может достигать 100 км/ч. Снижение скорости в 2 раза увеличивает ширину зоны контроля на 25%. При движении по пересеченной местности целесообразно ограничивать скорость до 30-35 км/ч.

Литература

1. Сергеев И.Ю. Предложения по способам контроля радиационной обстановки системы комплексной безопасности закрытого административного территориального образования с объектами атомной промышленности // «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты», Научный журнал. – 2016, №1, С.63 – 71.
2. Сергеев И.Ю., Пашинин В.А., Валуев Н.П., Косырев П.Н. Способ аэродинамического контроля радиационной обстановки // Технологии гражданской безопасности, 2018, №4, С. 46 – 50.
3. Валуев Н.П., Мойш Ю.В., Никоненков Н.В. Способ радиационного контроля сырья и материалов в транспортных средствах и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RUS 2142145, 21.04.1999.

4. Валуев Н.П., Мойш Ю.В., Качалов В.М., Никоненков Н.В. Автоматизированные системы радиационного контроля сырья и металлолома. // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2009. – №3 – С.107 – 110.

5. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сергеев И.Ю., Сташишин Л.А. Радиационный контроль транспортных средств с помощью переносных приборов и стационарных систем. // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2015 – № 9 – С. 35–39.

6. Валуев Н.П., Лысова О.В., Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов.// «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты», Научный журнал. – 2015, №3, С.47 – 50.

7. Валуев Н.П., Лысова О.В., Дегтярев С.В., Юданов П.М. Выбор параметров детекторов высокочувствительных дозиметрических систем. «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты», Научный журнал. – 2017, №4, С.121 – 126.