

УДК 504:6
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.85.94.016

ОБНАРУЖЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИЙ

Сергеев И.Ю.¹ к.т.н.; Валуев Н.П.² д.т.н

¹ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

²ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

Аннотация. Описан метод мониторинга радиационной обстановки на территориях с помощью подвижной высокочувствительной дозиметрической системы. Метод позволяет обнаруживать радиоактивные источники и одновременно определять степень их радиационной опасности.

Ключевые слова: динамический радиационный контроль, радиоактивное загрязнение, риск радиационных инцидентов.

DETECTING AND DETERMINING LOCATIONS AND HAZARD OF THE SOURCE AT DINAMIC MONITORING OF TERRITORIES

Sergeev I.Yu. Ph.D.¹ of Engineering Sciences; Valuev N.P.² Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences

¹FSBEI HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

²FSBMEI HE Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Russia

Abstract. The effective method of dynamic control of the radiation situation in the territories using a highly sensitive dosimetric system. The method allows detecting local radiation anomalies and determining hazard anomalies.

Key words: dynamic radiation control, radioactive contamination, risk of radiation incidents.

Мониторингу радиационной обстановки на территориях уделяется значительное внимание [1-7]. При обследовании местности важно не только обнаружить радиационную аномалию, но и определить ее местоположение и мощность ее излучения и, как следствие, ее радиационную опасность. В работе [8] описан метод определения зоны расположения источника в транспортном средстве. Однако для реализации этого метода необходимо использовать два детектора и его применение для обследования территорий затруднено. Известный способ [7], в котором установленный на транспортном средстве детектор движется по территории, возможностью определения местоположения и радиационной опасности обнаруженного источника не обладает, т.к. сигнал детектора зависит одновременно от мощности источника и от расстояния от источника до детектора. Существует неопределенность между показаниями дозиметрической системы, мощностью и местоположением обнаруженного источника. При срабатывании системы обнаружения источника необходимо останавливать транспорт

с детектором и оператору с помощью переносного дозиметра находить источник и определять его мощность, что существенно увеличивает время контроля.

В рамках данной работы предложен способ динамического контроля, который обеспечивает одновременное определение мощности и местоположения источника при динамическом контроле территории путем анализа параметров сигнала детектора и скорости перемещения системы контроля по территории.

Способ основан на зависимости сигнала детектора, пропорционального мощности дозы регистрируемого излучения, от координаты x перемещения детектора относительно источника (рис. 1).

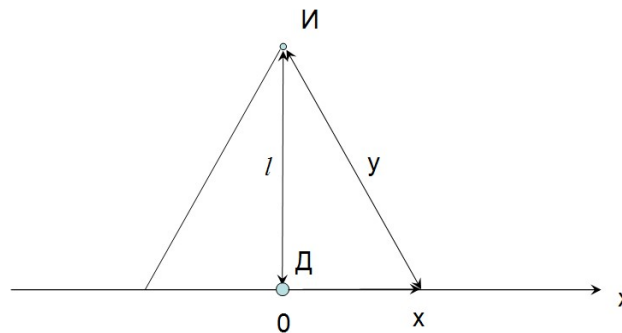


Рис. 1. Схема регистрации излучения источника И детектором Д при его перемещении по направлению x

l – кратчайшее расстояние от источника до детектора;

y – расстояние между источником и детектором при произвольном положении детектора x .

По мере приближения детектора к источнику, величина y уменьшается, амплитуда сигнала возрастает. В положении детектора, соответствующем кратчайшему расстоянию между источником и детектором, величина $y = l$. В этом случае фиксируется максимальное значение сигнала:

$$P_m = P_0 R_0^2 / l^2, \quad (2)$$

где P_0 – мощность дозы излучения источника на расстоянии R_0 (1 м).

После прохождения точки $x = 0$, $l = y$, амплитуда сигнала уменьшается следующим образом:

$$P|x| = P_0 R_0^2 / y^2 = P_0 R_0^2 / (l^2 + x^2), \quad (3)$$

Зависимость амплитуды сигнала от координаты x представлена на рисунке 3:

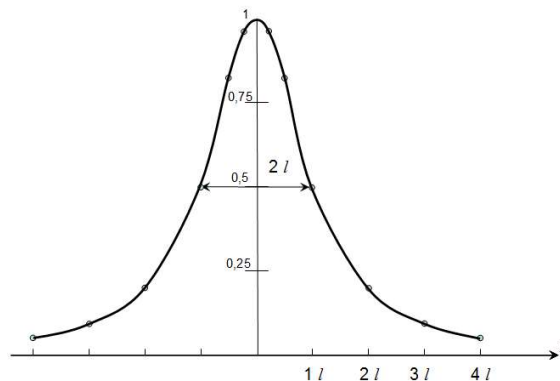


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала детектора от координаты его перемещения x относительно источника

При $x = 0,25l$ амплитуда сигнала составляет 0,93 от максимальной P_m ; при $x = 0,5l - 0,8P_m$; при $x = l - 0,5P_m$; при $x = 2l - 0,2P_m$; при $x = 3l - 0,1P_m$; при $x = 4l - 0,06P_m$.

Таким образом, измеряя ширину сигнала детектора можно судить о кратчайшем расстоянии между источником и детектором, а измеряя амплитуду сигнала можно определять его мощность, зная указанное расстояние.

Ширину сигнала детектора (рис. 3) можно определить на различной высоте сигнала. Высота, на которой проводится измерение ширины сигнала, соответствует отношению амплитуды сигнала в произвольной точке x к максимальной амплитуде сигнала, т.е.:

$$m = P|x|/P_m = l^2/(l^2+x^2), \quad (4)$$

При $x = l$, $m = 0,5$ измерение проводится на половине высоты сигнала;

при $x = 2l$, $m = 0,2$ измерение проводится на 0,2 высоты сигнала;

Из (4) следует, что:

$$l = x \sqrt{\frac{m}{1-m}}, \quad (5)$$

В связи с тем, что измерение ширины сигнала производится в двух точках с обеих сторон от максимума сигнала (рисунок 2.9.), длительность t равна:

$$t = 2x/V, \quad (6)$$

где V – скорость перемещения детектора относительно источника.

С учетом (6) расстояние между источником и детектором определяется, как:

$$l = tV/2 \sqrt{\frac{m}{1-m}}, \quad (7)$$

Из (7) следует, в частности, что при $m = 0,5$ (измерение проводится на половине высоты сигнала) $l = tV/2$.

Средняя квадратическая погрешность δ_l измерения расстояния l (источник–детектор) определяется погрешностью измерения ширины сигнала $\delta_{2x} = \sqrt{2}\delta_x$, уменьшенной в число раз, равное отношению $2x/l$, т.е. соотношению, показывающему во сколько раз величина $2x$ превышает расстояние l . Таким образом, погрешность δ_l определяется, как:

$$\delta_l = \sqrt{2}\delta_x l / 2x, \quad (8)$$

где δ_x – средняя квадратическая погрешность измерения координаты x , соответствующей точке, где производится отсчет ширины сигнала.

Величину δ_x можно определить следующим образом:

$$\delta_x = \delta_p / S_p, \quad (9)$$

где δ_p – стандартное отклонение сигнала в точке x ;

$S_p = K_n dP_x/dx$ – крутизна изменения сигнала в точке x ;

K_n – коэффициент чувствительности детектора к излучению источника ($имп/с / нЗв/ч$);

P_x – мощность дозы излучения источника в точке x .

Величины δ_p и S_p определяются следующим образом:

$$\delta_p = \sqrt{\frac{P(x)K_n + P_\phi K_\phi}{\Delta t}} = \frac{1}{\sqrt{\Delta t}} \sqrt{\frac{P_0 R_0^2 K_n}{(l^2+x^2)} + P_\phi K_\phi}, \quad (10)$$

$$S_p = \frac{2P_0 R_0^2 x K_n}{(l^2+x^2)^2}, \quad (11)$$

где Δt – длительность интервала усреднения скорости счета (частоты) импульсов детектора (предполагается, что Δt не уменьшает крутизну сигнала, т.е. $\Delta t \leq x/V$).

С учетом (11) погрешность δ_l можно найти из соотношения:

$$\delta_l = \frac{\sqrt{2}l}{2x} \delta_x = \frac{l \sqrt{\frac{P_0 R_0^2 K_{и}}{(l^2+x^2)} + P_{\phi} K_{\phi} (l^2+x^2)^2}}{x \sqrt{2\Delta t P_0 R_0^2 K_{и} x}}, \quad (12)$$

Из (12) следует, что погрешность измерения расстояния от источника до детектора уменьшается с ростом мощности источника P_0 , чувствительности детектора к излучению источника $K_{и}$, снижением уровня фона P_{ϕ} , чувствительности детектора к фону K_{ϕ} , увеличением длительности интервала усреднения Δt до значения, не превышающего x/V , при котором снижается крутизна изменения сигнала. Величина δ_l увеличивается с ростом расстояния l (источник - детектор).

На рис. 4 представлена зависимость погрешности δ_l от координаты x , определяющей ширину сигнала, используемую для измерения расстояния между источником и детектором. Указываемая зависимость построена для случая: $P_0 = 10$ мкЗв/ч; $P_{\phi} = 0,1$ мкЗв/ч; $K_{и} = 30$ ($\frac{1}{с} / \frac{нЗв}{ч}$); $K_{\phi} = 10$ ($\frac{1}{с} / \frac{нЗв}{ч}$); $R_0 = 1$ м; $l = 10$ м; $t = 1$ с.;

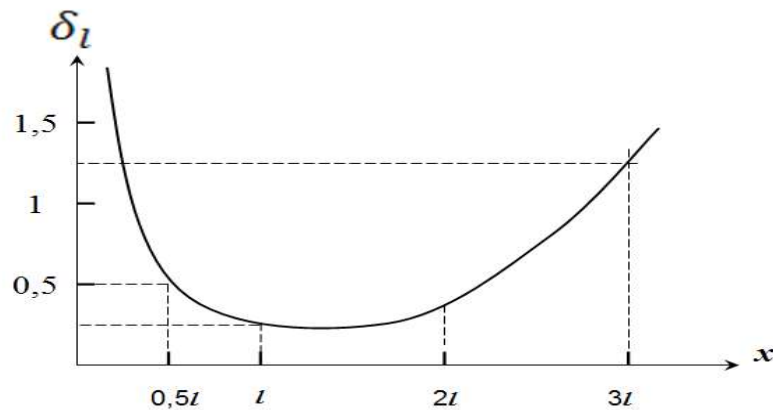


Рис. 4. Зависимость погрешности измерения расстояния между источником и детектором от положения точки отсчета ширины сигнала по координате x в единицах указанного расстояния.

Анализ рисунка 4 показывает, что погрешность имеет пологий минимум при $x = (1-1,5)l$, т.е. при измерении ширины сигнала в диапазоне от половины до одной трети его высоты.

Предпочтительным является измерение на половине высоты, т.к. в данном случае наблюдается простейшая связь между расстоянием l и длительностью сигнала ($l = tV/2$) и проще отстроиться от флуктуаций сигнала, соответствующего фону, что важно при слабых сигналах от источника.

Ширину сигнала целесообразно измерять на половине его высоты $P_m/2$, так как в этом случае наблюдается максимальная крутизна сигнала и, соответственно, минимальная погрешность определения расстояния l , которое определяется как

$$l = Vt/2, \quad (13)$$

где V – скорость перемещения детектора; t – длительность сигнала на половине его высоты.

Мощность излучения обнаруженного источника на расстоянии 1 м определяется как

$$P_0 = P_m \cdot l^2 \quad (14)$$

Величина P_m соответствует мощности дозы излучения, регистрируемого детектором в точке $x = 0$, (рис. 2), а l определяется из выражения (13). Таким образом, в процессе движения детектора определяются одновременно расстояние до обнаруженного источника и его мощность, что позволяет оценить радиационную опасность источника и своевременно принять меры по его обезвреживанию.

Выводы

1. Предложен метод обнаружения источников при обследовании территорий с одновременным определением его местоположения и степени радиационной опасности без остановки транспорта с детектором и использования носимых дозиметров.

2. Обоснованы оптимальные условия обнаружения источников, определения его местоположения и степени радиационной опасности.

3. Получены аналитические соотношения для вычисления основных параметров радиационного мониторинга территорий с возможностью обнаружения, определения местоположения и радиационной опасности источников.

Литература

1. Соболев И.А., Беляев Е.Н. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды. – М.: «Медицина», 2002. – 432 с.

2. Методические рекомендации по защите населения в зонах возможных чрезвычайных ситуаций радиационного характера; МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 84 с.

3. Современные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Монография, ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России – 2013 г. – С. 139–147.

4. Техническое задание на выполнение работы: «Создание комплексного мобильного пункта управления безопасностью на водных объектах и реализации государственных услуг гражданам отдаленных населенных пунктов», Красноярск, 2015.

5. Радиэкологические исследования поймы реки Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината (г. Железногорск) А.Я. Болсуновский <http://ru.convdocs.org/docs/index-244562.html>.

7. Сергеев И.Ю. Выбор параметров радиационного мониторинга территорий. Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. №2 (13). С. 45-48.

8. Сергеев И.Ю., Валуев Н.П. Способ определения местоположения источника радиации в транспортном средстве при динамическом контроле. Научный журнал «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты». – 2016, № 2, с.70–75.