

УДК 5.50.504:6

Многоканальная методика обработки сигналов детекторов систем обнаружения радиоактивных источников в движущемся транспорте

И.Ю. Сергеев¹, к.т.н.; Н.П. Валуйев², д.т.н.; П.М. Юданов² к.т.н.

¹ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

²ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России

Аннотация:

Описана многоканальная методика регистрации сигналов детекторов с различными интервалами усреднения сигнала для каждого канала. Методика позволяет повысить надежность обнаружения радиоактивных источников, расположенных на различной глубине движущегося транспортного средства при непостоянстве его скорости в зоне контроля за счет оптимизации величины интервала усреднения сигналов различной длительности.

Ключевые слова: радиационный контроль, обнаружение радиоактивных источников в транспортном средстве, усреднение сигналов детекторов.

Multichannel technique for processing signals from detectors of detection systems for radioactive sources in moving vehicles

I.Y. Sergeev¹, Ph.D. of Engineering Sciences; N.P. Valuev², Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences; P.M. Yudanov², Ph.D. of 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: A multichannel technique for detecting detector signals with different signal averaging intervals for each channel is described. The technique improves the reliability of detection of radioactive sources located at different depths of a moving vehicle with inconsistent speed in the control zone by optimizing the size of the averaging interval of signals of various durations.

Keywords: radiation monitoring, detection of radioactive sources in a vehicle, averaging of detector signals.

В последнее время для предупреждения несанкционированного перемещения радиоактивных и делящихся материалов достаточно широко используются высокочувствительные системы радиационного контроля – транспортные мониторы [1,2]. Эффективность подобных систем во многом определяется возможностью надежного обнаружения источников излучения различной мощности и энергии частиц во всем объеме транспортного средства. В связи со значительным ослаблением излучения источников грузами крупногабаритных транспортных средств, система контроля должна фиксировать крайне незначительные (несколько нЗв/ч) приращения сигналов источников над уровнем естественного радиационного фона (около 100 нЗв/ч). Поэтому надежность выявления источников в транспорте во многом связана со снижением порога обнаружения, которая определяется в первую очередь размерами чувствительного объема детекторов (достигающего в некоторых системах 100 литров) и временем усреднения частоты импульсов детектора [3]. Стоимость подобных систем с крупногабаритными детекторами превышает 150 тысяч долларов.

Интервал усреднения определяется длительностью сигнала от источника, движущегося вместе с транспортом относительно детектора так, что длительность обратно пропорциональна скорости транспорта в зоне контроля. На практике интервал усреднения устанавливается, исходя из максимальной скорости транспорта и кратчайшего расстояния от источника до детектора, и составляет обычно 0,1 – 0,3 с. Однако такой подход не учитывает существующий разброс скорости движения транспорта в зоне контроля (от 2 до 15 км/ч) и различную длительность сигналов от источников, расположенных на различной глубине транспортного средства.

Задачей данной работы является снижение порога обнаружения источников, расположенных на различной глубине транспортных средств, в условиях непостоянства их скорости движения в зоне контроля без увеличения габаритов детектора за счет многоканальной обработки сигналов детектора с различными интервалами усреднения сигналов для каждого канала.

Схема проведения контроля транспорта представлена на рисунке 1. Транспорт Т перемещается в зоне контроля относительно детекторов Д1, Д2. Детекторы регистрируют фоновое излучение и при наличии источника И в транспорте – излучение источника. На выходе детекторов формируется непрерывная последовательность импульсов, скорость счета n (частота, с-1) которых пропорциональна потоку (мощности дозы) регистрируемого излучения.

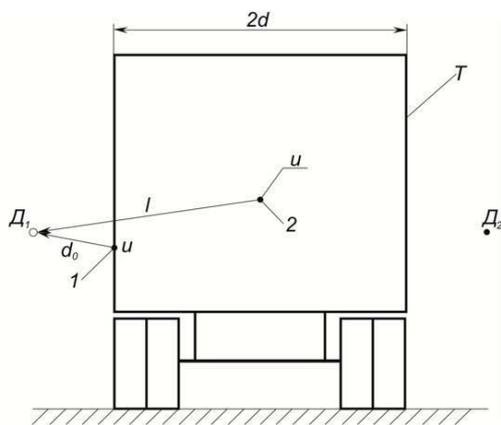


Рис. 1. Схема проведения радиационного контроля транспортных средств.
 Т – транспорт, Д1, Д2 – детекторы, И – радиоактивный источник.

Для обеспечения необходимого значения статистической погрешности измерения скорости счета импульсов детектора (стандартного отклонения σ_N), система фиксирует суммарное количество импульсов N за определенный интервал времени Δt (интервал усреднения сигнала детектора) так, что

$$N = n\Delta t \text{ и } \sigma_N = (n\Delta t)^{1/2} \quad (1)$$

В процессе контроля фиксируется временная последовательность значений N , соответствующая фоновому излучению. При появлении источника значения n и, соответственно N , возрастают на величину, определяемую мощностью источника, его расстоянием l до детектора, степенью поглощения излучения в объеме транспортного средства, размерами детектора. При превышении сигналом от источника порога срабатывания системы контроля вырабатывается сигнал тревоги, свидетельствующий об обнаружении источника.

В процессе движения транспорта расстояние x от источника I до детектора D (рисунок 2) в направлении x (перпендикулярном плоскости рисунка 1) непрерывно изменяется так, что при $x = 0$ (источник находится напротив детектора) расстояние минимально и равно l или d_0 (рисунок 1). Зависимость скорости счета от положения источника на оси x определяется следующим образом

$$n(x) = n_0 / (x^2 + l^2), \quad (2)$$

где n_0 – скорость счета детектора на расстоянии l м от источника.

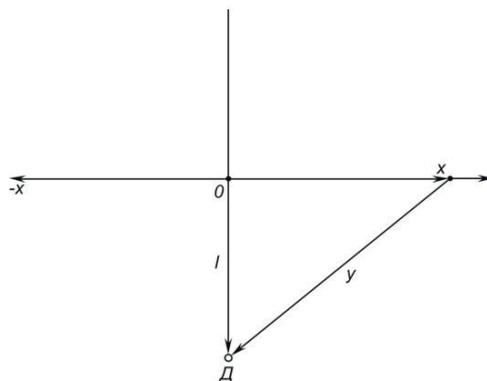


Рис. 2. Изменение расстояния у от источника до детектора при перемещении транспорта в зоне контроля.

На рисунке 3 представлена зависимость $n(x)$ от соотношения x/l , характеризующего во сколько раз расстояние от источника до детектора по направлению движения транспорта превышает кратчайшее расстояние источник – детектор. Видно, что при движении транспорта с источником скорость счета детектора непрерывно возрастает до момента, когда источник располагается напротив детектора ($x = 0$). Наибольшие изменения сигнала происходят в области $1,5 x/l$. Характер зависимости скорости счета детектора от времени t аналогичен рассмотренному выше с учетом того, что $t = x/V$, где V – скорость движения транспорта.

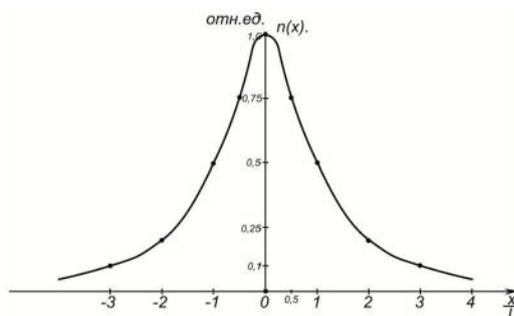


Рис. 3. Изменение скорости счета детектора при перемещении транспорта с источником в направлении x относительно детектора. При $x = 0$ $l = l_{\min}$ (источник расположен напротив детектора).

На рисунке 4 представлена форма нормированных по амплитуде сигналов от источника при разной скорости перемещения транспорта относительно детекторов. Скорость транспорта, соответствующая появлению сигнала 1, в 4 раза превышает скорость, соответствующая сигналу 2. Видно, что длительность сигнала 2 в четыре раза превышает длительность сигнала 1.

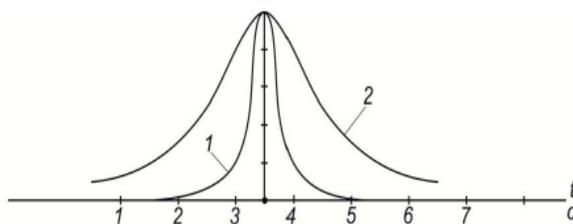


Рис. 4. Форма сигналов от источника при различной скорости транспорта. Скорость, соответствующая сигналу 1, в 4 раза выше скорости, соответствующей сигналу 2.

Такой же эффект может быть получен при различной глубине залегания источника в транспортном средстве (рисунок 1). Сигнал 1 соответствует расположению источника в положении 1, а сигнал 2 – в положении 2. Сигналы на рисунке 4 соответствуют следующим условиям: скорость транспорта 2 м/с, $d_0 = 0,5$ м, $d = 1,5$ м.

Отношение длительностей сигналов 2 и 1 при одинаковой скорости транспорта равно:

$$T_2/T_1 = (d - d_0)/d_0 \quad (3)$$

Таким образом, длительность сигнала от источника изменяется при различной скорости транспорта и разной глубины залегания источника в транспортном средстве. На практике разброс длительностей сигнала может достигать в 5 – 8 раз. В связи с этим для повышения надежности обнаружения источников в движущемся транспорте целесообразно иметь набор различных интервалов усреднения сигналов, каждый из которых позволяет оптимальным образом выявить сигнал от источника различной длительности, определяемой разными значениями скорости транспорта и глубины залегания источника в транспортном средстве.

Наилучшие условия выявления сигнала от источника при наличии фонового излучения обеспечиваются в случае, когда достигается максимальное значение отношения сигнала N_c , усредняемого в течении времени Δt (длительности интервала усреднения), к шуму, определяемому значением стандартного отклонения среднего значения фона n_ϕ за время Δt . Указанное отношение ε выражается следующим образом

$$\varepsilon = N_c / (n_\phi \Delta t)^{1/2} \quad (4)$$

Величина сигнала N_c от источника увеличивается с ростом интервала усреднения Δt . Наиболее значим прирост N_c при увеличении зоны усреднения от 0 до $4x/l$ (рисунок 3) и, соответственно, Δt от 0 до $4l/V$ (рисунок 4). Дальнейший рост Δt приводит к незначительному увеличению сигнала от источника и возрастанию шума в степени $\Delta t^{1/2}$ (4). В связи с этим отношение полезного сигнала к шуму имеет максимум при определенных значениях интервала усреднения Δt .

На рисунке 5 представлены зависимости отношения ε полезного сигнала (от источника) к шуму для случая, когда длительность сигнала 1 в четыре раза меньше длительности сигнала 2 и скорость транспорта составляет 2 м/с, а $d_0 = 0,5$ м, $d = 1,5$ м.

Видно, что величина этого отношения имеет пологий максимум при длительности интервала Δt равной 4–10 значениям соотношения l/V . Целесообразно устанавливать Δt близкое к $(4-5)l/V$, так как при больших значениях интервала усреднения падает амплитуда полезного сигнала, что нежелательно при непостоянстве фона.

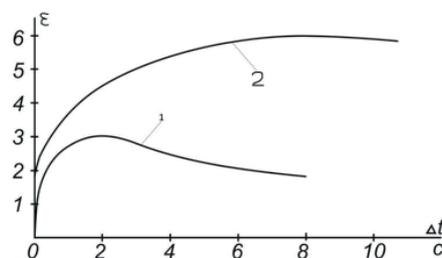


Рис. 5. Зависимость отношения полезного сигнала к шуму от длительности интервала усреднения сигнала. Длительность сигнала 2 в четыре раза превышает длительность сигнала 1.

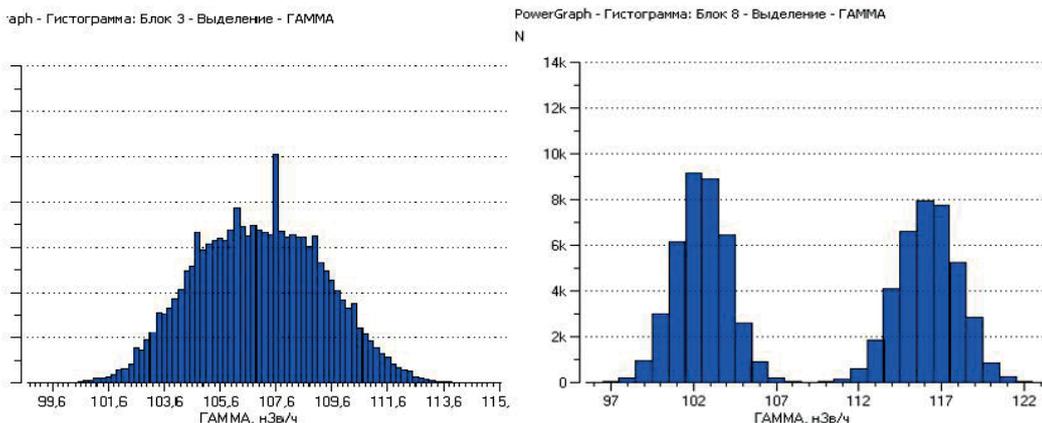
Анализ представленных данных показывает, что при использовании двух каналов усреднения сигналов с различными временами усреднения (1 и 4 секунды) отношение сигнала к шуму, определяющее надежность выявления источника, для сигнала большей длительности в 2 раза превышает это отношения для сигнала меньшей длительности при равенстве амплитуд сигналов. Использование одного канала усреднения приводит к значительному снижению отношения сигнала к шуму для значений длительности интервала усреднения, отличающихся от величины, соответствующей максимуму указанного отношения.

Учитывая существующий разброс длительности сигналов детекторов при контроле транспортных средств (в 5 – 8 раз) и пологий характер максимумов зависимости $\varepsilon(\Delta t)$, достаточно иметь четыре канала усреднения с различными значениями интервала усреднения сигнала детектора. Канал с минимальным интервалом должен соответствовать минимальной длительности сигнала и не превышать величину $2d_0/V_{max}$. Длительность интервала усреднения последующих каналов должна превышать минимальный интервал, соответственно, в 2, 4 и в 8 раз. Такое построение многоканальной системы обработки сигналов детекторов обеспечивает по сравнению с одноканальной системой повышение отношения полезный сигнал–шум в 2,5 – 3 раза для источников, расположенных в середине транспортного средства.

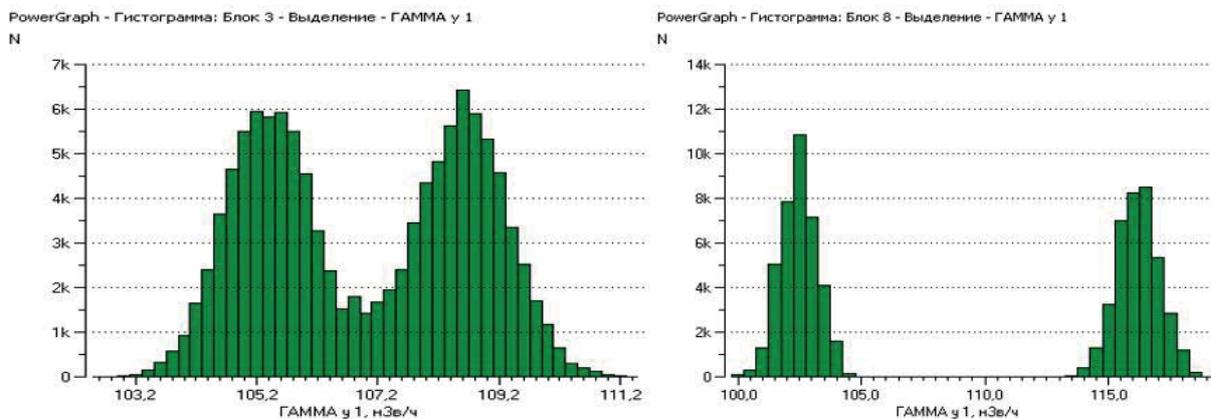
Возможность повышения надежности обнаружения радиоактивных источников путем использования нескольких каналов регистрации сигналов детектора с различными значениями времен усреднения иллюстрируется рисунком 6, на котором приведены гистограммы показаний высокочувствительной дозиметрической системы СИММЕТ [4-14] при длительности времен усреднения 0,2 с, 1 с и 4 с.

Каждая гистограмма соответствует регистрации двух значений мощности дозы излучения. Приращение мощности дозы для левой колонки гистограмм равно 3,2 нЗв/ч, для правой – 11,7 нЗв/ч. Видно, что использование нескольких каналов регистрации с различной длительностью времен усреднения обеспечивает надежную регистрацию сверхмалых приращений мощности дозы от источников излучения.

Усреднение 0,2 с



Усреднение 1 с



Усреднение 4с

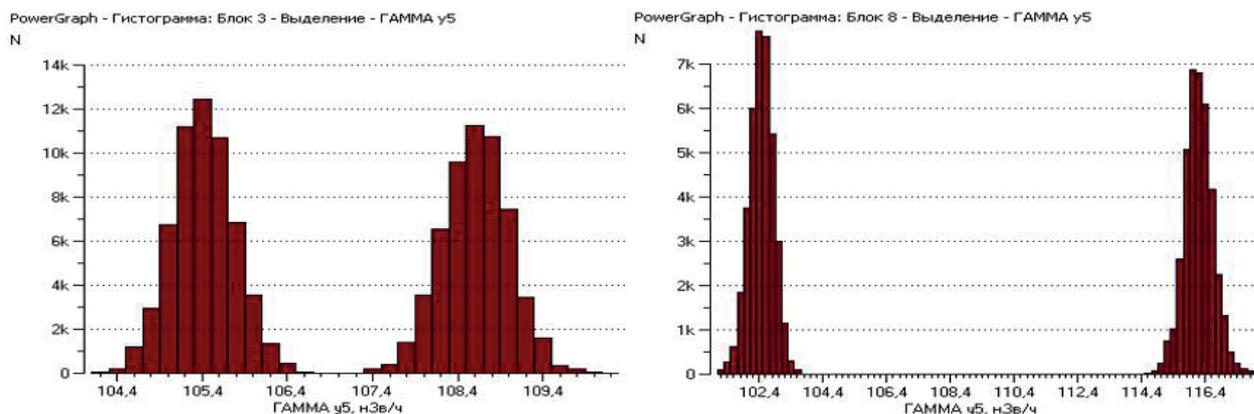


Рис. 6. Гистограммы показаний при различных временах усреднения

Выводы:

1. При проведении радиационного контроля движущихся транспортных средств длительность сигналов от радиоактивных источников может изменяться в 5 – 8 раз. Для повышения надежности обнаружения источников, расположенных на различной глубине транспорта при непостоянстве скорости транспортных средств, целесообразно использовать многоканальную регистрацию сигналов с различной длительностью интервала усреднения сигналов для каждого канала.
2. Максимальная надежность обнаружения источников наблюдается в случае, когда длительность интервала усреднения составляет $(4-5)l_{min}/V$, где l_{min} – минимальное расстояние источник-детектор, V – скорость транспорта в зоне контроля.

Литература

1. Валуев Н.П., Лысова О.В., Никоненков Н.В., Пушкин И.А. Радиационный контроль движущихся транспортных средств с помощью высокочувствительных дозиметрических систем «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты», Научный журнал. 2011, №4, С. 36-40.
2. Костин М.Ю., Савицкая Е.Н., Санников А.В., Янович А.А. Характеристики радиационного монитора для контроля перемещений радиоактивных материалов движущимися транспортными средствами «Ядерная физика и инжиниринг». – 2015, Т.6, №3-4, С.193-194.
3. 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.
4. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Стасишин Л.А. Автомобильная система динамического радиационного мониторинга территорий. «Грузовик» – 2017, №2, С. 37-41.
5. Сергеев И.Ю. Выбор методики определения вероятности обнаружения радиационной аномалии при динамическом контроле радиационной обстановки // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 1 (12). С. 8-11.
6. Сергеев И.Ю. Выбор параметров динамического радиационного мониторинга территорий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 2 (13). С. 45-48.
7. Сергеев И.Ю. Повышение эффективности радиационного мониторинга закрытого административного территориального образования с объектами атомной промышленности и прилегающих территорий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 3 (10). С. 9-12.
8. Сергеев И.Ю. Способы контроля радиационной обстановки для систем комплексной безопасности территорий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 4 (11). С. 8-10.
9. Сергеев И.Ю. Предложения по способам контроля радиационной обстановки для системы комплексной безопасности закрытого административного территориального образования с объектами атомной промышленности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 1 (28). С. 63-71.
10. Сергеев И.Ю., Валуев Н.П. Способ определения местоположения источника радиации в транспортном средстве при динамическом контроле // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 2 (29). С. 71-75.
11. Валуев Н.П., Лысова О.В., Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов // В книге: Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий XX Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Тезисы докладов. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2015. С. 169-171.
12. Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов // В сборнике: Безопасность и живучесть технических систем Материалы и доклады: в 3-х томах. 2015. С. 95-99.
13. Сергеев И.Ю. Определение параметров динамического радиационного контроля грузов в транспортных средствах // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 94-98.
14. Сергеев И.Ю., Гарелина С.А., Латышенко К.П., Валуев Н.П. Математическое моделирование дозиметрических систем контроля // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 1 (16). С. 64-68.