

АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ВЫЯВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В ПРИБОРАХ НА ОСНОВЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ СЧЕТЧИКОВ

С.Л.Пасков, Д.А.Алексеев, Н.К.Черезов

ГУП “НПО Радиевый институт им.В.Г.Хлопина”

Аннотация

При проведении измерений плотности потоков проникающих излучений желательно как можно оперативней и точнее определить ее изменение по сравнению с той, которую мы воспринимаем как фоновую. Наше решение проблемы состоит в непрерывном вычислении средней частоты регистрируемых событий и проведении методом последовательного анализа характера ее поведения.

Нулевая гипотеза H_0 соответствует ситуации, когда фон постоянен (стационарен), а конкурирующая гипотеза H_1 – изменению частоты событий, связанной с внесением или удалением любого источника излучений в точку наблюдения, который, в свою очередь, может вносить свой вклад в фон. Практическая реализация заключается в использовании газовых пропорциональных счетчиков с чувствительным объемом, наполненным пеннинговскими смесями редких газов. Микроконтроллер фиксирует в реальном времени моменты регистрации каждого события в любом из нескольких каналов, соответствующих различным амплитудам импульсов от счетчиков.

Установив пределы отношений вероятностей гипотез H_0 и H_1 , доверительный интервал и мощность критерия, возможно наблюдать незначительные вариации фона и одновременно определять природу их вызвавших источников.

Abstracts

To everyone who is involved in measurements of a flux of penetrating radiations it is desirable to know as soon and precise as possible: is there any change in the given radiation in comparison with that one considered as related to a background? Our solution consists of a continuous calculating of a mean density of income events and of subsequent analysis of a feature of its behaviour.

Zero hypothesis H_0 affirms that a background is constant (stationary) and competing hypothesis H_1 affirms that there has taken place a change in events density because of the introduction or taking off of any source of radiation which may supply its own input into background environment. Accomplishment is in use of the proportional counters filled by Penning mixtures of rare gases which are used as detecting components. A controller is to measure in real time the time moment of each event to come in every of several channels corresponding to various amplitudes of pulses from counters.

Having determined various limits of the probabilities of the hypotheses H_0 and H_1 ratio, of the confidence level and of the criterium strength, the advantage to determine the magnitude of background varianion and to identify the source of that varianion is obtained.

При необходимости автоматизированного радиационного мониторинга больших площадей и/или контроля незначительных утечек техногенных радионуклидов из стоимостных сооружений применение газоразрядных детекторов имеет, на наш взгляд, очевидное преимущество перед соответствующим для полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов. Далее не будем рассматривать первые из сравниваемых по соображениям высокой стоимости, больших эксплуатационных расходов, требований наличия квалифицированного обслуживающего (интерпретирующего результаты измерений) персонала, сложности

использования и разработки алгоритмов расчета и архивации получаемых данных в портативной аппаратуре.

Основными трудностями, с которыми сталкиваются разработчики аппаратуры с использованием сцинтилляционных детекторов, являются:

а) необходимость учета множества факторов, обуславливающих процессы взаимодействия излучения с рабочим веществом детектора – комптоновское рассеяние, фотоэффект, образование пар и т. д.

б) точность решения уравнения (1) во многом определяется обусловленностью ковариационной матрицы. Как правило, приходится использовать специальные методы решения /4/.

в) размерность матрицы А обычно велика. Например, для кристалла NaJ (Tl) размером 40x40 мм, в задаче восстановления энергетического спектра используется матрица с числом элементов более 10000 .

г) увеличение числа детектирующих устройств несущественно влияет на свойства матрицы А из-за взаимозависимости функций отклика однотипных детекторов. При этом уменьшаются лишь статистическая составляющая погрешности.

Безусловно, функцию отклика детектора можно изменить с помощью многослойных фильтров. Однако, портативный прибор, в состав которого входят подобные системы регистрации, представить сложно. Кроме того, использование сцинтилляторов требует, как правило, дополнительных мер по обеспечению стабильности (временной, температурной и др.) их работы. Все вышеперечисленное накладывает существенные ограничения на использование сцинтилляционных детекторов в аппаратуре регистрации ИИ и особенно – в портативных приборах.

Особенностями применения разложения потока ИИ на составляющие компоненты при использовании газовых несамогасящихся пропорциональных счетчиков являются:

а) небольшой размер матрицы, требуемый для надежной идентификации радионуклидов. Например, в приборе МАК-3В/02 амплитудный спектр, регистрируемый каждым счетчиком, разбиваем на два интервала. Отметим, что оптимальная ширина интервала для разбиения амплитудного спектра сцинтилляционного детектора соответствует его энергетическому разрешению. При диапазоне регистрации энергий фотонов до 5 МэВ число интервалов превышает 100. Увеличение числа интервалов не оказывает существенного влияния на ранг формируемой матрицы, а лишь приводит к дополнительным вычислительным трудностям, тогда как их уменьшение ведет к ухудшению селективности прибора.

б) привлекательные свойства матрицы - обусловленность и полнота ранга, обеспечены существенными различиями функций откликов счетчиков для различных нуклидов. При этом также регистрируем характеристическое рентгеновское излучение, гамма- и бета- излучения нуклида.

в) возникает принципиальная возможность направленного изменения селективности прибора. Это реализуется программно-аппаратным способом путем оптимизации разбиений амплитудных спектров на интервалы, а также путем варьирования функции отклика детекторов за счет изменения состава газовой смеси и(или) добавок, изменения давления газа, изменения материалов и (или) технологии изготовления конструктивных элементов.

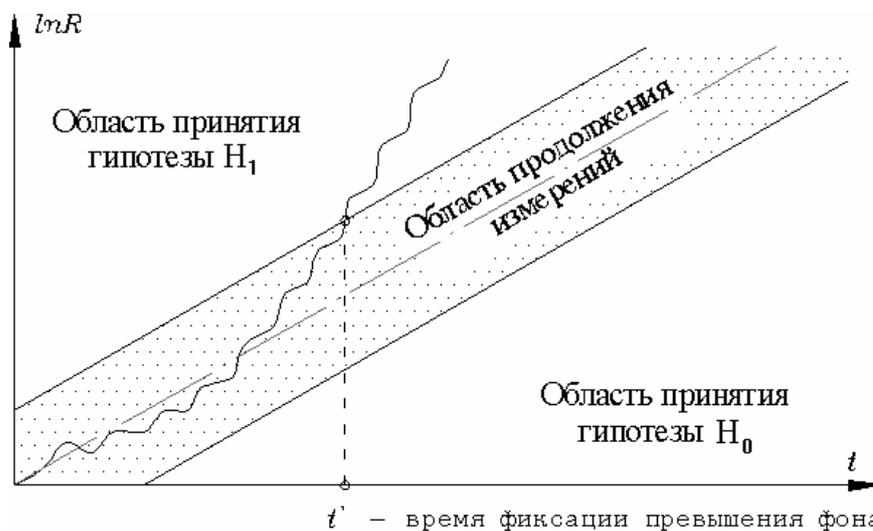
г) свойство высокой анизотропии подобных приборов позволяет учесть пространственное распределение регистрируемого потока: возможность экспрессного выявления местонахождения источника, автоматическая подстройка геометрии измерений.

Требуемые чувствительность и время реакции прибора (или время достижения заданной погрешности измерений) обеспечиваются увеличением числа однотипных счетчиков.

Требуемые селективность и число одновременно определяемых нуклидов обеспечиваются надлежащим способом разбиения амплитудных спектров и типами счетчиков, входящих в состав прибора.

Итак, амплитудные спектры импульсов от каждого счетчика разбиваем на несколько неперекрывающихся интервалов. Как обычно, начинаем измерение фона. В каждом интервале проводим измерения интенсивностей фонового излучения (λ_{ib}), где $i = 1 \dots m$, m – общее число интервалов. Производим измерения интенсивностей потоков (λ_{ij}), создаваемых в i -ом интервале ($i = 1 \dots m$) от j -го источника ($j = 1 \dots n$), то есть градуируем устройство. Тогда вектор, элементами которого являются $|a_{ij}| = |\lambda_{ij} - \lambda_{ib}|$, составит “образ” j -го нуклида в геометрии проведения измерений. Совокупность “образов” составит библиотеку. Библиотек с различным набором нуклидов может быть несколько. Выбрав библиотеку, измеряем интенсивности, регистрируемые в каждом i -ом интервале – λ_i . Затем решаем систему уравнений $\mathbf{VAX} = \mathbf{VY}$ (уравнение 1), где $\mathbf{Y} = |y_i| = |\lambda_i - \lambda_{ib}|$, $\mathbf{A} = \|a_{ij}\|$, $\mathbf{V} = \mathbf{W}^{\frac{1}{2}}$, $W_i = [\sigma^2(y_i)]^{-1}$ – диагональная матрица, элементами которой являются числа, обратные значениям дисперсий элементов y_i . Здесь величина $\mathbf{X} = |x_j|$, x_j является отношением содержания j -го нуклида к таковому для j -го эталона.

Подобный способ решения задачи разложения регистрируемого потока ИИ на составляющие его компоненты достаточно широко применяется в гамма-спектрометрии с использованием сцинтилляционных детекторов /2-4/. При этом, для формирования библиотеки “образов” измеряют стандартные меры /2/, либо применяют расчетные методы /3,4/. После вычисления ковариационной матрицы $\text{cov}(\mathbf{X}) = (\mathbf{A}'\mathbf{W}\mathbf{A})^{-1}$ по значениям \mathbf{X} и $\text{cov}\mathbf{X}$ оцениваем погрешность результата $\sigma(\mathbf{X})/\mathbf{X}$. Погрешность контролируем в реальном времени и, сравнивая ее с требуемой, завершаем или продолжаем измерения.



По значениям $\mathbf{X} = \text{cov}(\mathbf{X})\mathbf{A}'\mathbf{W}\mathbf{Y}$ и данным для эталонов библиотеки определяем содержания нуклидов.

Процедура обнаружения нестационарности регистрируемого потока основана на строгом подчинении потока событий от рассматриваемых счетчиков закону Пуассона. Тогда при измерении фона за время t в i -м интервале регистрируем k_i отсчетов. Соответствующая вероятность при средней интенсивности λ_{ib} равна

$$P_{ib} = \frac{(\lambda_{ib} \cdot t)^{k_i}}{k_i!} \exp(-\lambda_{ib} \cdot t)$$

а для системы в целом:

$$Pb = \prod_{i=1}^m \frac{(\lambda_{ib} \cdot t)^{k_i}}{k_i!} \exp(-\lambda_{ib} \cdot t)$$

Представим, что имеется поток (λ_{ic}) , который по условиям контроля значимо отличается от фонового. Для этого потока

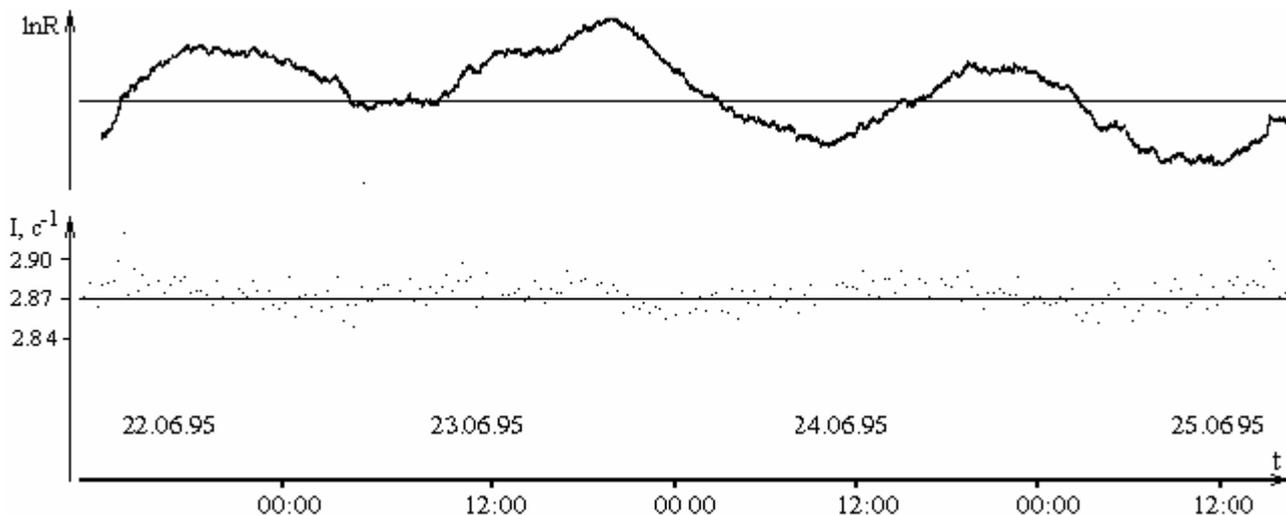
$$Pc = \prod_{i=1}^m \frac{(\lambda_{ic} \cdot t)^{k_i}}{k_i!} \exp(-\lambda_{ic} \cdot t)$$

В работе /5/ показано, что если отношение $\ln R = \ln \frac{Pc}{Pb}$ находится в пределах

$\ln \frac{\beta}{1-\alpha} < \ln R < \ln \frac{1-\beta}{\alpha}$, где α – вероятность ошибки 1-го рода (“ложной” тревоги), когда

флуктуация фона ошибочно принимается за искомое изменение, а β – вероятность ошибки 2-го рода (“примесь”), когда поток изменился, а система не отреагировала, то необходимо продолжить измерение, как показано на рисунке. При этом нулевая гипотеза H_0 соответствует ситуации, когда измеряемые параметры потока присущи фону, а конкурирующая гипотеза H_1 – значимо от него отличимыми.

В практической реализации вводим понятие максимально допустимого времени принятия решения, когда заданные значения α и β не могут быть достигнуты. В этих случаях выбираем ближайшую по значению критерия гипотезу и вычисляем оценку ее достоверности. В качестве примера приведем экспериментальный результат наблюдения суточных вариаций фона в период «белых» ночей в Санкт-Петербурге.



1. А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин, Методы решения некорректных задач, М, Наука, 1979.
2. А.Н.Силантьев, К.П. Махонько, Методика массового гамма-спектрометрического анализа проб природной среды, Л., Гидрометеиздат, 1984 г.
3. Н.Г. Волков, В.И. Дорогов. Ю.И. Малахов, «Интерполирование функции отклика гамма-спектрометров методом сплайнов», ПТЭ, № 3, 1977. , стр. 50.
4. Ю.А.Егоров, Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения и нейтронов, Атомиздат, 1963.
5. А.Вальд, Последовательный анализ, Государственное издательство физико-математической литературы, М., 1960.