УДК 004.42

DOI: 10.15827/0236-235X.121.158-165

Дата подачи статьи: 23.10.17

2018. Т. 31. № 1. С. 158–165

АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**А.Е. Давыдов**¹, д.т.н., зав. кафедрой, alex.davidov@mail.ru**И.К. Фомина**², к.т.н., доцент, fominga@list.ru**Б.Б. Никольский**³, аспирант, ibentechi@gmail.com

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Кронверкский просп., 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

² Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, 198035, Россия

³ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, наб. реки Мойки, 48, г. Санкт-Петербург, 191186, Россия

В данной статье рассмотрена проблема перехода с аналоговых приборов регистрации ионизирующего излучения на цифровые. Проанализированы многокритериальные аппаратные задачи и характерные особенности применения цифровой обработки данных и микропроцессорного управления, а также распространенные виды детекторов гамма-излучения на основе счетчиков Гейгера–Мюллера и кристаллических детекторов на основе сцинтилляторов. Определена технологическая задача применения переносных детекторов гамма-излучения.

Предложены программно-технические решения по применению микроконтроллеров и созданию аппаратуры анализа и оценки радиационной обстановки, обнаружения и идентификации объектов гамма-излучения. Представлены математические и алгоритмические решения, реализованные в системах управления блоками детектирования ионизирующего излучения. Показано преимущество использования цифровых схем управления на основе микроконтроллеров в составе блоков детектирования ионизирующего излучения.

Представлен алгоритм корректировки счетной характеристики детектора на основе счетчиков Гейгера–Мюллера методом расчета поправочных коэффициентов счетчиков. Раскрыты результаты экспериментальной оценки алгоритмов детектирования источников гамма-излучения. Даны рекомендации по созданию эффективной приборной основы детектирования в составе алгоритмов измерения мощности дозы и идентификации источника гамма-излучения.

Рассмотрены технические решения по реализации новых способов обработки данных, получаемых с детекторов, обеспечивающих регистрацию ионизирующего излучения.

Предложено решение по идентификации источников ионизирующего излучения программно-математическим методом. Проведен анализ двух алгоритмов идентификации источников гамма-излучения, основанных на оконном методе анализа спектрометрической информации. Исследована проблема ложных срабатываний рассматриваемого алгоритма. Предложены варианты оптимизации алгоритмов идентификации для уменьшения количества ложных срабатываний.

Ключевые слова: измерительное цифровое оборудование, датчики ионизирующего излучения, микроконтроллеры, радиационный мониторинг.

Широкое применение источников гамма-излучения в различных отраслях промышленности, медицины, науки предъявляет особые требования к организации безопасности и выводит на новый уровень проблему разработки и использования приборов детектирования биологически опасного излучения.

Практическое применение источников гамма-излучения (гамма-дефектоскопия, гамма-нож, ускорители частиц и т.д.) позволяет раскрывать новые горизонты прикладных и научных задач, однако облучение гамма-квантами (в зависимости от дозы и продолжительности) представляет определенную опасность для организма человека, оказывая негативное воздействие [1].

Чтобы предотвратить нежелательное облучение, необходимо контролировать окружающую радиационную обстановку, выявлять, идентифицировать и локализовывать проблемные зоны и объекты излучения, причем довольно часто в оперативной обстановке, в обстоятельствах, ограничивающих использование стационарного оборудования. Воз-

никает технологическая задача применения переносных детекторов гамма-излучения, и, соответственно, предъявляются повышенные требования к техническим, габаритным, функциональным и другим характеристикам приборов детектирования.

Наиболее распространенными видами детекторов гамма-излучения являются детекторы на основе счетчиков Гейгера–Мюллера [2] и кристаллические детекторы на основе сцинтилляторов [3]. Каждый из данных типов детекторов имеет преимущества и недостатки.

Преимущества детекторов на основе счетчиков Гейгера–Мюллера:

- регистрация двух типов излучения (бета- и гамма-частиц) в широком энергетическом диапазоне;
- минимальные требования к элементной базе, обеспечивающей работу счетчика;
- нересурсоемкие алгоритмы обработки полученных со счетчика данных;
- низкая стоимость;
- небольшие размеры (компактность).

Эти преимущества позволили устройствам с данным типом детектора занять обширную нишу как в бытовой, так и в промышленной дозиметрии. Однако эти детекторы имеют и недостатки: технологически они не предназначены для определения энергии гамма-частиц и не способны определять слабые потоки гамма-частиц, что делает невозможным использование таких приборов в сферах, где требуются идентификация типа источника гамма-излучения, поиск радиоизотопов, регистрация слабых потоков гамма-излучения.

Детекторы на основе сцинтилляционных кристаллов лишены этих недостатков, но они на порядок дороже, сложнее в производстве и имеют большие габариты. Однако развитие радиоэлектроники и ее элементной базы позволяет значительно уменьшить габариты и упростить производство за счет применения сверхкомпактных фотоэлектронных умножителей [4] и высокопроизводительных микроконтроллеров [5].

Современные электронные компоненты дают возможность решить проблему больших габаритов и массы, позволяя создавать компактные носимые приборы со сцинтилляционным детектором, а применение микроконтроллеров в системе управления [6] – реализовать алгоритмы управления, распознавания, хранения, постобработки и визуализации полученных данных в реальном времени с выводом информации как на встроенный дисплей, так и на дисплей персонального компьютера.

Цель авторов данной статьи – разработка эффективной приборной основы детектирования в составе алгоритмов измерения мощности дозы и идентификации источника гамма-излучения, реализуемых программными средствами на базе микроконтроллеров типа STM32F1 и XC167CI.

Алгоритм измерения мощности дозы источника гамма излучения

Программная реализация рассматривается на примере блока детектирования гамма-излучения (БДГ). БДГ содержит в себе два канала детектирования – дозиметрический и спектрометрический. Дозиметрический (на базе счетчиков Гейгера–Мюллера) позволяет определить *мощность дозы* (МД) гамма-излучения. Спектрометрический (на базе сцинтилляционного детектора) обеспечивает идентификацию источника частиц и определение их энергии.

Расчет МД осуществляется по следующей формуле:

$$P = \frac{1}{n \cdot K \cdot t_{\text{изм}}} \cdot \sum_{i=1}^K \frac{N_i \cdot C_i}{1 - \frac{\tau}{t_{\text{изм}}}}, \quad (1)$$

где P – искомая мощность дозы (МГр/ч).

Основным входным параметром формулы расчета МД является количество зарегистрированных

импульсов на счетчике N_i за время t , где i – порядковый номер счетчика в дозиметрическом канале БДГ. Ключевой характеристикой дозиметрического канала является счетная характеристика детектора – максимально возможное количество зарегистрированных импульсов за время $t_{\text{изм}}$. Для улучшения счетной характеристики могут использоваться несколько счетчиков Гейгера–Мюллера. Количество этих счетчиков определяет константа K .

Регистрация импульсов обеспечивается блоком электроники БДГ. Данный блок управляет электропитанием счетчиков, периодически отключая их (так называемое мертвое время – τ), тем самым обеспечивается принудительное гашение разряда в счетчике и улучшается его счетная характеристика.

Дополнительными расчетными параметрами являются чувствительность счетчика – n и его поправочный коэффициент – C_i .

Применяемые счетчики могут иметь различные модификации, например, СБМ-20, СБМ-21, СИ-29БГ, СИ-38, которые отличаются чувствительностью к гамма-излучению. Параметр чувствительности обеспечивает пересчет ценности импульса в значение, используемое для расчета МД. Это позволяет применять данный алгоритм к любой модификации счетчика Гейгера–Мюллера.

Счетчики одной модификации имеют различные характеристики даже в рамках одной производственной партии из-за особенности их производства. Для компенсации различия вводится поправочный коэффициент счетчика C_i , расчет которого производится в рамках метрологической процедуры для каждого счетчика индивидуально по следующей формуле:

$$C_i^m = \frac{P_{\text{д}} \cdot t_{\text{изм}} \cdot \eta}{N_i} \left(1 - \frac{\tau^m}{t_{\text{изм}}} \cdot N_i\right), \quad (2)$$

где $P_{\text{д}}$ – действительное значение МД (МГр/ч) в точке расположения счетчика, полученное с помощью поверенного метрологического оборудования.

Алгоритм детектирования источника ионизирующего излучения

Для установления типа источника гамма-излучения необходимо определить энергию зарегистрированного гамма-кванта. Для решения этой задачи в БДГ имеется спектрометрический канал детектирования (рис. 1), основу которого составляет сборка сцинтилляционного детектора типа NaI(Tl) [7] и фотоэлектронного умножителя [8].

В отличие от дозиметрического канала блок электроники спектрометрического канала определяет амплитуду импульса входного сигнала. Полученное значение амплитуды импульса характеризует энергию зарегистрированного гамма-кванта. Для дальнейшей работы со значением энергии про-

ведем аналого-цифровое преобразование (оцифровку) амплитуды зарегистрированного импульса. Используем 11-разрядный *аналого-цифровой преобразователь* (АЦП) с опорным напряжением $U_{ref} = +5$ В (рис. 2) [9]. Младшие 10 разрядов содержат текущий номер энергетического канала, старший, 11-й, разряд – знак числа. Это позволяет про-

водить оцифровку с шагом $U_{step} = \frac{U_{ref}}{2^{10}}$, таким образом, шаг оцифровки $\approx 0,005$ В. Бит знакового разряда позволяет контролировать положение нуля энергетической шкалы спектрометра. Выходные значения с АЦП должны лежать в диапазоне от 0 до 1 023. Отклонение от них означает смещение нуля энергетической шкалы и требует калибровки прибора относительно контрольного источника гамма-излучения.

Детектор прибора регистрирует гамма-излучение в энергетическом диапазоне до 3 МэВ. Для применения алгоритма идентификации источника гамма-излучения необходимо установить соотношение между энергетическим диапазоном спектрометрического канала (энергией) и оцифрованными значениями амплитуды зарегистрированных импульсов (каналами). Соотношение каналов с энергией показано на рисунке 3.

Процесс детектирования источника основан на расчете параметра x – квантиля обнаружения. Для расчета квантиля выполним две подготовительные операции: накопление фоновых спектров и накопление текущего спектра.

Расчет фоновых спектров B_j производится по формуле

$$B_j = \sum_{i=1}^{t_{фон}} C_i, \quad (3)$$

где C_i – текущий, 1024-й, каналный спектр; $t_{фон}$ – время накопления фоновых спектров. Результирующий массив B_j содержит в себе значение суммарного счета каждого канала за время $t_{фон}$. Так как время накопления текущего спектра может не совпадать со временем накопления фона, необходимо произвести нормировку значений массива относительно времени накопления фоновых спектров $t_{фон}$ по формуле

$$X_j = \frac{B_j}{t_{фон}}, \quad (4)$$

где массив X_j содержит в себе значения скорости счета в каждом канале.

Текущий спектр D_j накапливается за заданное в настройках прибора время $t_{изм}$:

$$D_j = \sum_{i=1}^{t_{изм}} C_i, \quad (5)$$

где C_i – текущий, 1024-й, каналный спектр; $t_{изм}$ – время накопления текущего спектра. После накопления данных фоновых и текущего спектров производится расчет квантиля обнаружения:

$$\chi = \frac{D_j - X_j \cdot t_{изм}}{\sqrt{X_j \cdot t_{изм}} + 1}. \quad (6)$$

Исходя из формулы осуществляется восстановление фоновых значений счета в каждом канале путем умножения средней скорости счета каждого канала на время накопления текущего спектра.

Вычисленный квантиль χ сравнивается с заданным порогом $\chi_{порог}$, при превышении которого выносится гипотеза об обнаружении источника (превышение порога по фону).

Алгоритм обнаружения и идентификации со статичным окном

На основании полученных данных при детектировании источника гамма-излучения можно произвести и идентификацию радионуклида. Различные радиоактивные нуклиды испускают гамма-кванты различной энергии (табл. 1).

Таблица 1

Расположение пиков радионуклидов на энергетической шкале

Table 1

Location of radionuclide peaks on the energy scale

Нуклид	Энергия	Фотопик
Цезий-137 (Cs-137)	661,7 кэВ	220-й канал
Кобальт-60 (Co-60)	1173 кэВ, 1333 кэВ	391-й, 444-й каналы
Йод-131 (I-131)	360 кэВ	120-й канал

Регистрация гамма-квантов, излучаемых каким-либо из радионуклидов, отображается на спектральной картине в виде характерного пика, называемого фотопиком. Максимум фотопика приходится на канал, которому соответствует энергия идентифицируемого радионуклида. Таким образом, для изотопа цезия-137 максимум фотопика приходится на 220-й канал, а для изотопа кобальта-60 – на 391-й и 444-й каналы (данный изотоп имеет два характерно выделенных фотопика). Спектр цезия-137 с выдержкой в 30 сек. представлен на рисунке 4 (линия 1) относительно спектра фона (линия 2).

Из рисунка 4 следует, что спектр цезия-137 представляет собой график гаусс-подобной функции с фотопиком в 220-м канале и симметричными левым и правым склонами фотопика. Помимо энергии радионуклида, немаловажным фактором в процессе идентификации является и активность источника, зависящая от массы радионуклида и от расстояния до него. Регистрируемый спектр от слабого источника/большого расстояния подвержен

фоновому зашумлению, что сильно затрудняет процесс идентификации. Для компенсации зашумления используется увеличение времени накопления спектра $t_{изм}$.

Также на рисунке 4 можно увидеть, что после 500-го канала происходит практически полное затухание спектрального графика. Это связано с отсутствием в фоновом излучении гамма-квантов высоких энергий. С точки зрения идентификации радионуклидов рабочий диапазон спектрометра лежит в пределах 450–500-го каналов. Остальная часть спектра отведена для узкоспециализированных задач, таких как регистрация частиц в физике высоких энергий, определение продуктов распада ядерного взрыва и т.д.

Оконный алгоритм основан на преобладании какого-либо радионуклида на спектральном графике в заранее заданном окне. Входными параметрами для настройки данного алгоритма являются порог квантиля обнаружения $\chi_{порог}$, границы окон радионуклида, время накопления текущего спектра $t_{изм}$. Определение преобладания радионуклида исходит из расчета квантиля обнаружения для каждого оконного диапазона. Например, для рассматриваемого радионуклида цезий-137 окно задается в границах 204–232-го каналов. Производится расчет квантиля обнаружения:

$$\chi = \frac{D_i - X_i}{\sqrt{X_i + 1}}, \quad (7)$$

$$D_j = \sum_{i=204}^{i=232} C_i, \quad (8)$$

$$\chi_j = \sum_{i=204}^{i=232} B_i \cdot t_{изм}, \quad (9)$$

где C_i – массив счетов текущего спектра; B_i – массив скоростей счета фонового спектра.

Если рассчитанный $\chi > \chi_{порог}$, выносится гипотеза об идентификации радионуклида. Порог $\chi_{порог}$ задается согласно правилу распределения

Рис. 4. Пик радионуклида Cs-137 на энергетической шкале

Fig. 4. The peak of Cs-137 radionuclide on the energy scale

значений нормально распределенной случайной величины (правило трех сигм), и в данной интерпретации алгоритма $\chi_{\text{порог}} = 4$.

Несмотря на математически высокий процент вероятности однозначной идентификации источника (99,73 %), данный алгоритм имеет недостатки, связанные с ложными срабатываниями, вызванными статистическим разбросом (всплесками) величин зарегистрированного текущего спектра относительно зафиксированной во времени поканальной скорости счета фонового спектра. Снизить количество ложных срабатываний можно следующими способами:

- провести первоначальное детектирование, после которого запустить процесс идентификации;
- увеличить время $t_{\text{фон}}$ для накопления статистики по возможным фоновым всплескам.

Также данный алгоритм, помимо ложных фоновых срабатываний, имеет проблему ложной идентификации. Ложная идентификация возникает при детектировании одновременно нескольких источников гамма-излучения, когда источник с более высокой энергией влияет на счет в низкоэнергетических каналах.

Данные проблемы частично решены в более сложном варианте алгоритма идентификации – алгоритме с бегущим окном.

Алгоритм обнаружения и идентификации с динамическим окном

Алгоритм обнаружения и идентификации с бегущим окном является дальнейшим развитием рассмотренного выше оконного алгоритма и направлен на устранение проблем ложных срабатываний.

Принцип расчета квантиля обнаружения остается таким же, однако меняется характер обработки входных данных. Полученный спектр анализируется не в заранее заданном окне, а в окне, границы которого динамически изменяются в зависимости от номера энергетического канала, для ко-

торого проводится анализ. Расчет квантиля производится по формуле

$$\chi = \frac{S^{\max, j} - F^{\max, j}}{\sqrt{F^{\max, j}} + 1}, \quad (10)$$

$$S^{\max, j} = \sum_{e=[(946-0,957*j)]}^{1004-j} \sum_{t=1}^{\Delta t} N_e^{\max, t}, \quad (11)$$

$$F^{\max, j} = \Delta t \cdot \sum_{e=[(946-0,957*j)]}^{1004-j} f_e^{\max}, \quad (12)$$

где χ – квантиль обнаружения; $S^{\max, j}$ – счет в j -м окне; $F^{\max, j}$ – фоновый счет в j -м окне.

Параметр Δt характеризует время накопления статистической информации.

Проверка на наличие источника начинается с высокоэнергетических каналов (j принимает значения от 1 до 984). Визуально работа алгоритма представлена на рисунке 5. Номером 1 обозначена зона поиска при $j = 1$, номером 2 – зона начала поиска радионуклида Cs-137, где $j = 746$, номером 3 – зона окончания поиска Cs-137, $j = 775$. Всего производится $775 - 746 = 29$ оконных выборок с размерами окна от 26 до 25 каналов (размер окна изменяется в зависимости от порядкового номера выборки) в энергетическом диапазоне радионуклида Cs-137. Для каждой оконной выборки высчитывается квантиль обнаружения χ .

Это позволяет одинаково эффективно анализировать данные по всей шкале энергетического разрешения спектрометра; так как в более высокоэнергетических каналах практически отсутствуют какие-либо данные, для их анализа требуется большее их количество, что влечет за собой увеличение размера поискового окна. В низкоэнергетических каналах ситуация обратная. Данных с избытком (в том числе паразитных, таких как комптоновский эффект, шум в электрических цепях спектрометра и т.д.), поэтому размер поискового окна необходимо уменьшать, снижая таким образом вероятность ложных или ошибочных срабатываний.

Рис. 5. Графическая интерпретация работы алгоритма с динамическим окном

Fig. 5. A visual representation of the algorithm with a dynamic window

После расчета квантиля обнаружения χ при $\chi > 4$ выносится гипотеза об обнаружении источника радиоактивного загрязнения. По значению j , при котором произошло превышение, происходит идентификация источника радиоактивного загрязнения (если превышение квантиля произошло при j в диапазоне значений из таблицы 2).

Таблица 2

Соответствие значения индекса j
искомым радионуклидам

Table 2

The ratio of the j -index to the desired radionuclides

Значение j	Нуклид
746–775	Cs-137
696–726	Cs-134
508–546	Co-60
852–875	I-131

Если превышение квантиля произошло при отсутствующем в таблице 2 диапазоне значений j , обнаруженный радиоактивный нуклид считается неизвестным.

Эксперименты и выводы

Для сравнения эффективности двух алгоритмов был произведен ряд экспериментов, оценивающих алгоритмы по характеристикам:

- количество и частота ложных срабатываний по превышению квантиля;
- эффективность идентификации, ложная идентификация;
- оценка времени обработки данных микроконтроллером и требования к производительности.

1. Эксперимент на количество ложных срабатываний.

Практическое сравнение работы двух алгоритмов производилось на спектрометре со сцинтилляционным детектором СДН-31, диаметр кристалла 160 мм, высота 50 мм, со следующими заданными параметрами измерений:

- время накопления фоновых данных – 60 сек.;
- время накопления данных – 4 сек.;
- время экспозиции – 600 сек.;
- количество экспозиций (δ) – 5;
- радиационный фон (20 мкР/ч) измерен дозиметром ДКС-96;
- порог превышения квантиля обнаружения – 4.

Оценочным параметром эксперимента является квантиль обнаружения, превышение порога которого сигнализирует об обнаружении источника гамма-излучения. Величина квантиля привязана к стандартному отклонению в статистическом анализе (σ – сигма). Установленный порог превышения квантиля в 4σ задает точность обнаружения источника гамма-излучения в 99,98 %.

Исследуемым элементом эффективности алгоритма являлось количество ложных срабатываний (табл. 3).

Таблица 3

Статистика ложных срабатываний

Table 3

Statistics of false positives

Ложное срабатывание		Продолжительность превышения квантиля, сек.	Максимальное значение квантиля
Количество	Номер		
2	1	2	4,21
	2	1	4,43
1	1	1	4,31
3	1	1	4,21
	2	2	4,12
	3	1	4,07
1	1	1	4,23
2	1	2	4,47
	2	1	4,23

Алгоритм со статичным окном.

В процентном соотношении алгоритм со статичным окном отработал 4 секунды в состоянии ложного обнаружения (результат наиболее неудачной 3-й экспозиции) относительно 10-минутной экспозиции, что дает результат 99,3 % точности обнаружения.

Алгоритм с бегущим (динамическим) окном.

Из пяти проведенных прогонов алгоритма было зафиксировано только одно ложное срабатывание продолжительностью 1 сек. со значением квантиля $\chi = 4,15$.

2. Эксперимент на эффективность идентификации.

В качестве контрольного источника гамма-излучения будут использоваться Cs-137 и Co-60. Параметры измерений:

- время накопления фоновых данных – 60 сек.;
- время накопления данных – 4 сек.;
- расстояние – 0,5–2 м;
- порог превышения квантиля обнаружения – 4.

Для каждого технологического прогона было произведено четыре измерения с изменением расстояния до источника гамма-излучения шагом 0,5 м (табл. 4). Фиксировались сам факт обнаружения источника (превышение квантиля) и корректность идентификации при обнаружении (превышение квантиля в окне источника).

3. Оценка времени обработки данных микроконтроллером и требования к производительности.

Для оценки производительности был произведен замер времени выполнения обеих версий алгоритма на микроконтроллерах типа XC167CI и STM32F100 с максимально возможной для каждого типа микроконтроллера тактовой частотой ядра (табл. 5) [10, 11].

В ходе экспериментов было установлено, что с точки зрения чувствительности алгоритм с динамическим окном предоставляет более низкий процент ложных срабатываний и обладает значительно меньшим разбросом вычисляемого квантиля обнаружения (особенно при низком уровне

Таблица 4

Сравнение идентификационных свойств

Table 4

Comparison of identification properties

№ п/п	Расстояние, м	Нуклид	Статичное окно		Динамическое окно	
			Квантиль	Обнаружение	Квантиль	Обнаружение
1	0,5	Cs-137	12,5	Да	13,1	Да
		Co-60	31,5	Да	29,7	Да
	1,0	Cs-137	7,3	Да	8,1	Да
		Co-60	12,2	Да	13,1	Да
	1,5	Cs-137	4,2	Да	4,5	Да
		Co-60	5,5	Да	4,9	Да
	2,0	Cs-137	1,8	Нет	2,1	Нет
		Co-60	3,3	Нет	3,0	Нет
2	0,5	Cs-137	14,7	Да	13,4	Да
		Co-60	30,1	Да	30,5	Да
	1,0	Cs-137	8,8	Да	8,4	Да
		Co-60	16,4	Да	14,9	Да
	1,5	Cs-137	3,8	Нет	4,6	Да
		Co-60	6,1	Да	4,9	Да
	2,0	Cs-137	1,2	Нет	2,0	Нет
		Co-60	2,9	Нет	3,5	Нет
3	0,5	Cs-137	11,6	Да	12,6	Да
		Co-60	29,5	Да	29,5	Да
	1,0	Cs-137	9,2	Да	8,8	Да
		Co-60	14,2	Да	14,2	Да
	1,5	Cs-137	4,2	Да	4,3	Да
		Co-60	6,0	Да	4,2	Да
	2,0	Cs-137	2,0	Нет	1,9	Нет
		Co-60	2,7	Нет	3,4	Нет

сигнала), что позволяет повысить селективность алгоритма при низком уровне сигнала и малой статистике входных данных.

Таблица 5

Характеристика рассматриваемых микроконтроллеров

Table 5

Characteristics of the microcontrollers under consideration

Алгоритм	XC167CI (20MHz)	STM32F100 (24MHz)
Со статичным окном	320 мкс	112 мкс
С динамическим окном	440 мс	11. 250 мс

Алгоритм со статичным окном имеет явно выраженную проблему ложных срабатываний. Уменьшить эту проблему в рамках данного алгоритма можно, увеличив порог квантиля обнаружения, что снизит чувствительность алгоритма к обнаружению и идентификации. Чтобы значительно снизить количество ложных срабатываний, необходимо использовать более сложный алгоритм с динамическим окном.

Алгоритм с динамическим окном имеет более высокую ресурсоемкость, связанную с большим количеством проходов по массиву данных, включающих в себя выполнение операций с плавающей запятой, чем алгоритм со статичным окном. Желательно использовать более производительный однокристальный микрокомпьютер с наличием аппаратного математического сопроцессора.

В основе обоих вариантов алгоритмов лежит одинаковый математический аппарат (формула

расчета квантиля), поэтому данные алгоритмы имеют практически одинаковую чувствительность (в частности, этим объясняется и отсутствие идентификации на расстояниях больше 1,5 м), для еще большего увеличения чувствительности и избирательности необходимо использовать принципиально иной подход к обработке исходных данных.

Также было зафиксировано, что алгоритм со статичным окном и алгоритм с динамическим окном не достигают заданного порога обнаружения в 99,98 %. Это связано с влиянием таких факторов, как флуктуационные погрешности полученных данных с детектора относительно измеренных фоновых данных и возможные электромагнитные помехи и всплески в усилительном тракте блока детектирования.

Литература

1. Рамендра Нат Мукерджи. Сравнительные биологические опасности химических загрязнителей и излучений. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/20305083138_ru.pdf (дата обращения: 22.10.2017).
2. Акимов Ю.К. Газовые детекторы ядерных излучений. Дубна: Изд-во ОИЯИ, 2011. 243 с.
3. Болондыня А.И., Ободовский И.М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы применения. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 208 с.
4. Hamamatsu photomultiplier tube. URL: <http://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/3001/index.html> (дата обращения: 11.09.2017).
5. ST's microcontrollers. URL: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f4-series.html> (дата обращения: 11.09.2017).
6. Никольский Б.Б., Фомин В.В. Система управления блоком детектирования для регистрации ионизирующего излуче-

ния // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2017. № 2. URL: <http://swsys-web.ru/control-system-for-the-detection-unit-for-recording-ionizing-radiation.html> (дата обращения: 21.09.2017).

7. Физика сцинтилляторов. Материалы, методы, аппаратура; [под ред. Б.В. Гринёва]. Харьков: Изд-во ИСМА, 2015. 270 с.

8. Берковский А.Г., Гаванин В.А., Зайдель И.Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. М.: Радио и связь, 1988. 272 с.

9. Analog Devices Ultra Low Power ADC. URL: <http://www.analog.com/en/products/analog-to-digital-converters/ad7091.html> (дата обращения: 9.07.2017).

10. The insider's guide to the STM32 ARM based microcontroller. UK, Hitex, 2008.

11. STMicroelectronics Microcontrollers. URL: <http://www.st.com/en/microcontrollers.html> (дата обращения: 28.09.2017).

Software & Systems

DOI: 10.15827/0236-235X.121.158-165

Received 23.10.17

2018, vol. 31, no. 1, pp. 158–165

ALGORITHMS FOR GAMMA RADIATION SOURCES IDENTIFICATION

A.E. Davydov¹, Dr.Sc. (Engineering), Head of Chair, alex.davidov@mail.ru;

I.K. Fomina², Ph.D. (Engineering), Associate Professor, fomina@list.ru

B.B. Nikolsky³, Postgraduate Student, ibentechi@gmail.com.

¹ The National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Kronverksky Ave. 49, St. Petersburg, 197101, Russian Federation

² Admiral Makarov State University of the Marine and River Fleet, Dvinskaya St. 5/7, St. Petersburg, 198035, Russian Federation

³ Herzen State Pedagogical University of Russia, Reki Moyki Quay 48, St. Petersburg, 191186, Russian Federation

Abstract. The article considers the problem of transition from analog to digital ionizing radiation recorders. It also analyzes multiobjective hardware tasks and characteristics of digital data processing application and microprocessor control, as well as common types of gamma-radiation detectors based on Geiger-Muller detectors and detectors crystal based on scintillators. The paper determines the process task of applying portable gamma-ray detectors.

The authors propose software and hardware solutions for applying microcontrollers and creating instruments for radiation situation analysis and assessment, gamma radiation detection and identification. They also present the mathematical and algorithmic solutions implemented in control systems of ionizing radiation detection units. The paper shows the advantages of using digital control systems based on microcontrollers as part of ionizing radiation detection units.

There is an algorithm for correcting a detector counting characteristic based on Geiger-Muller counters by calculating correction coefficients of counters. The paper shows the results of experimental evaluation of algorithms of gamma radiation sources detection. There are recommendations on creating an effective instrument detection framework consisting of algorithms for measurement of dose rate and identification of a gamma radiation source.

The authors discuss technical solutions for the implementation of new ways of processing data from gamma radiation detectors.

The paper proposes a solution for identifying ionizing radiation sources by a software-mathematical method. There is an analysis of two algorithms of identifying gamma radiation sources based on the window method of analyzing spectrometric information. The authors investigate the problem of false positives of the considered algorithm. They propose some options of optimization of the considered identification algorithms to reduce the number of false positives.

Keywords: digital measuring equipment, ionizing radiation recorder, radiation monitoring.

References

1. Ramendra Nat Mukerdzhi. Comparative biological hazards of chemical pollutants and emissions. *Byulleten MAGATE* [IAEA Bulletin]. Book 20, no. 2. Available at: https://www.iaea.org/sites/default/files/20305083138_ru.pdf (accessed October 22, 2017).

2. Akimov Yu.K. *Gazovye detektory yadernykh izlucheny* [Gas Detectors for Nuclear Radiation]. Dubna, 2011, JINR Publ., 243 p.

3. Bolozdynya A.I., Obodovsky I.M. *Detektory ioniziruyushchikh chastits i izlucheny. Printsipy primeneniya* [Detectors of Ionizing Particles and Radiations. Application Principles]. Dolgoprudny, Intellect Publ., 2012.

4. *Hamamatsu Photomultiplier Tube*. Available at: <http://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/3001/index.html> (accessed September 11, 2017).

5. *ST's microcontrollers*. Available at: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f4-series.html> (accessed September 11, 2017).

6. Nikolsky B.B., Fomin V.V. A control system for a detection unit for recording ionizing radiation. *Programmnye produkty, sistemy i algoritmy* [Software, Systems and Algorithms]. Available at: <http://swsys-web.ru/control-system-for-the-detection-unit-for-recording-ionizing-radiation.html> (accessed September 21, 2017).

7. *Fizika stsintillyatorov. Materialy, metody, apparatura* [Physics of Scintillators. Materials, Methods, Equipment]. B.V. Grinev (Ed.), Kharkiv, ISMA Publ., 2015, 270 p.

8. Berkovsky A.G., Gavanin V.A., Zaydel I.N. *Vakuumnye fotoelektronnye pribory* [Vacuum Photoelectronic Devices]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1988, 272 p.

9. Analog Devices Ultra Low Power ADC. Available at: <http://www.analog.com/en/products/analog-to-digital-converters/ad7091.html> (accessed July 9, 2017).

10. *The Insider's Guide To The STM32 ARM Based Microcontroller*. UK, Hitex Publ., 2008.

11. *STMicroelectronics Microcontrollers: development and design of embedded systems*. Available at: <http://www.st.com/en/microcontrollers.html> (accessed September 28, 2017).