

СИСТЕМА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

¹Д. т. н. В. А. Мокрицкий, д. т. н. О. В. Маслов¹, д. т. н. О. В. Банзак²

¹Одесский национальный политехнический университет;

²Одесская государственная академия технического регулирования и качества
Украина, г. Одесса
maslov@onu.ua

Выявление органических взрывчатых веществ осуществляется путем регистрации либо вторичного гамма-излучения, которое возникает в контролируемом объеме при облучении нейтронами и гамма-излучением, либо нейтронов обратного рассеяния. Разработана измерительная система для определения характеристик смешанных полей нейтронного и гамма-излучения с амплитудно-временным анализом регистрируемых событий взаимодействия вторичного или рассеянного ионизирующего излучений с материалом детектора. Измерение спектров гамма-излучения проводится цифровым спектрометром на основе многоэлементного CdZnTe-детектора. Для регистрации нейтронов разработан сцинтилляционный детектор с твердотельным фотоэлектронным множителем.

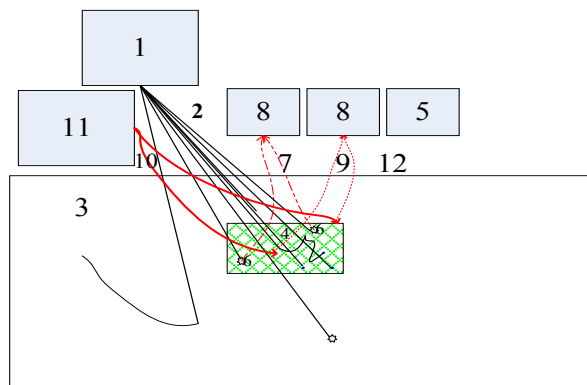
Ключевые слова: CdZnTe, выявление органических взрывчатых веществ, обратное рассеивание нейтронов, спектрометр гамма-излучения.

Выявление органических взрывчатых веществ (ВВ) осуществляется путем регистрации либо вторичного ионизирующего излучения, которое возникает в контролируемом объеме при облучении нейтронами и гамма-излучением, либо нейтронов обратного рассеяния [1]. Наличие ВВ можно идентифицировать путем регистрации замедлившихся нейтронов, рассеянных в обратном направлении (первый атрибутивный признак), а анализ спектров гамма-излучения продуктов нейтронной или фотоядерной активации позволяет выявить наличие специфических химических элементов, присутствующих во взрывчатых веществах в определенных соотношениях (второй атрибутивный признак). Совместное применение этих двух подходов позволяет повысить вероятность обнаружения ВВ. Для повышения надежности и информативности контроля химического состава контролируемого объекта также применяется анализ спектров вторичного характеристического гамма-излучения. Результаты измерения элементного состава позволяют получить третий атрибутивный признак наличия ВВ. Методы, основанные на анализе спектров гамма-излучения, относятся к прямым методам обнаружения ВВ. Выполнение современных требований к чувствительности и оперативности обнаружения ВВ может быть реализовано путем разработки комплексных систем.

Аналогичная задача определения характеристик смешанных полей нейтронного и гамма-излучений имеет место при проведении контроля ядерно-физических характеристик ядерного топлива [2]. На основании ранее полученных результатов и была разработана комбинированная система обнаружения органических ВВ, представленная на рисунке. Одной из целей разработки являлось повышение эксплуатационных характеристик системы обнаружения ВВ за счет замены изотопного источника ионизирующего излучения (нейтронов) на мобильный генератор нейтронов. Появилась возможность регулировать плотность потока первичного излучения, длительность импульса излучения и время его появления, а для рентгеновского излучения — и его энергию. Реализация системы обнаружения ВВ предусматривает выделение двух функциональных частей — излучатель (источник излучения) и детектор излучения с устройством обработки измеренной информации.

Быстрые нейтроны 2 с энергией 14 МэВ, излучаемые генератором нейтронов 1, попадают в контролируемый объект 3 (см. рисунок). В объеме контролируемого объекта происходит их взаимодействие с веществом. При наличии органических ВВ 4, которые являются хорошим замедлителем, часть нейтронов замедлится и будет рассеяна в обратном направлении 12 (на рисунке показано условно) и будет зарегистрирована детектором тепловых нейтронов 5. При отсутствии ВВ-замедлителя

тепловые нейтроны будут отсутствовать. Недостаток — сильное влияние влажности, возможность ложных срабатываний — можно устранить за счет анализа результатов измерений спектров вторичного гамма-излучения. При радиационном захвате быстрых нейтронов 2 в контролируемом объекте 3 образуются радиоактивные элементы 6, которые, распадаясь с задержкой несколько миллисекунд, испускают гамма-излучение 7, регистрируемое многоэлементным CdZnTe-детектором 8. Спектры гамма-излучения позволяют идентифицировать химические элементы. Анализ соотношения концентраций Н:С:N:О позволяет идентифицировать ВВ. Повышение чувствительности обеспечивает регистрация характеристического гамма-излучения 9, излучаемого под действием первичного гамма-излучения (рентгеновского) 10 генератора 11. Отличительной чертой описанной технологии является использование двух видов излучения, как первичного, так и регистрируемого вторичного.



Принцип работы системы обнаружения органических ВВ

Реализация предложенной технологии обнаружения ВВ потребовала разработки системы измерения характеристик смешанных полей нейтронного и гамма-излучения с амплитудно-временным анализом регистрируемых событий взаимодействия вторичного или рассеянного излучения с материалом детектора.

Измерение спектров гамма-излучения проводится цифровым спектрометром на основе нескольких CdZnTe-детекторов. Для регистрации нейтронов разработан сцинтилляционный детектор с твердотельным фотоэлектронным умножителем, который также подключается к цифровому спектрометру. Применение многоэлементных CdZnTe-детекторов позволило повысить эффективность регистрации, снизить

массу и габариты [1], уменьшить энергопотребление, обеспечить измерение спектра гамма-излучения с высоким разрешением [3]. Использование цифрового спектрометра позволило реализовать алгоритм амплитудно-временного анализа, аналогичного применяемому для электронной коллимации в томографии ядерного топлива [3].

Предложенный подход позволил по сравнению с другими методами повысить чувствительность (не более 50 г тринитротолуола) и избирательность выявления ВВ при снижении вероятности ложного обнаружения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Avtonomov P., Kornienko V. Integrated system for detection of dangerous materials and illicit objects in cargoes // Procedia - Social and Behavioral Sciences. — 2015. — 195 — P. 2777—2785.
2. Мокрицкий В.А., Маслов О.В., Банзак О.В. Автоматизированная система определения глубины выгорания отработавшего ядерного топлива // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2014. — № 5–6. — С. 63—71. — <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2014.2.63>
3. Maslov O.V., Mokritskiy V.A., Sokolov A.V. Multiple energies passive computer tomography of nuclear fuel // International Journal of Tomography & Simulation. — Vo. 31, iss. 1. — 2018. — P. 1—13.

V. Mokritskiy, O. Maslov, O. Banzak

System for detection of hidden organic explosives using nuclear physics methods

Detection of hidden organic explosives is carried out by recording either secondary gamma radiation produced in controlled volume because of neutron or gamma irradiation or backscattering neutrons. A measuring system has been developed to determine characteristics of mixed neutron and gamma radiation fields with amplitude-time analysis of recorded facts of interaction of secondary or scattered ionizing radiation with the material of the detector. The gamma-radiation spectra are measured by a digital spectrometer based on a multi-element CdZnTe detector. A scintillation detector with a solid-state photo-electron multiplier was developed for neutron detection.

Keywords: CdZnTe, organic explosives detection, backscattering neutrons, gamma-ray spectrometer.