

СПЕКТРОМЕТР-ДОЗИМЕТР SDMF-1206PRO.DB – ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО И γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

П.Руднев¹, Н.Моисеев², А.Дидык³

УДК 539.1.075
БАК 05.11.00

Измерения в области ионизирующих излучений условно подразделяют на радиометрию (измерение характеристик источников и полей излучения) и дозиметрию (определение величин, характеризующих воздействие ионизирующего излучения на физические и биологические объекты). И в радиометрии, и в дозиметрии традиционно используются в основном приборы, фиксирующие интегральные характеристики излучений. Такие устройства дешевле, но не обеспечивают необходимую точность измерений. Особенно это касается "черных" (неизвестных) радиационных полей. В ООО "Центр АЦП" создан прибор нового поколения, позволяющий определять спектральные характеристики ионизирующих излучений. Рассмотрим возможности и преимущества устройства.

Специалистами ООО "Центр АЦП" [1] разработан и изготовлен спектрометр-дозиметр SDMF-1206PRO.DB, предназначенный для определения параметров полей нейтронного и фотонного излучения. Прибор, построенный на одном скинтилляционном кристалле с фотоэлектронным умножителем, использует современные методы цифровой регистрации и специальные фильтрующие алгоритмы математической обработки поступающих сигналов.

Наличие одного кристалла для одновременного определения параметров фотонного и нейтронного излучения значительно упрощает процедуру измерений. Стоит отметить, что применение других СИ для измерений в смешанных полях подразумевает использование отдельных блоков для каждого вида излучения, что влечет за собой дополнительные сложности.

Спектрометр состоит из следующих частей:

- блока детектирования, изготовленного на основе органического скинтиллятора размером 25×25 мм;
- фотоумножителя с электронным модулем высокого напряжения;
- блока быстродействующего аналогово-цифрового преобразователя (АЦП);
- ноутбука с установленным программным обеспечением для управления работой спектрометра.

¹ ООО "Центр АЦП", директор, peter@centeradc.ru.

² ФГУП "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева", руководитель лаборатории, n.n.moiseev@vniim.ru.

³ ФГУП "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева", научный сотрудник, avd@vniim.ru.



Рис.1. Спектрометр SDMF-1206PRO.DB в малогабаритном кейсе

Весь комплект оборудования умещается в небольшом кейсе (рис.1).

Основное преимущество прибора SDMF-1206PRO.DB – новый подход для разделения сигналов детектора, образующихся в результате регистрации нейтронов и гамма-квантов [2, 3]. В приборе реализован метод цифровой идентификации по форме импульса. Внедрение таких методов стало возможным благодаря развитию высокопроизводительных устройств: АЦП, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и микропроцессоров.

Алгоритм использования метода в описываемом приборе заключается в преобразовании токового импульса, возникающего в анодной цепи фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) при регистрации ионизирующего излучения, в цифровую форму с помощью быстродействующего АЦП. Полученный массив данных впоследствии обрабатывается по специальному алгоритму, в результате чего определяется тип частицы, попавшей в детектор. В отличие от классического (аналогового) метода разделения частиц, реализованного, например, в спектрометре НС-3 [4], данный подход позволяет применять оптимальные фильтры, выполнять сложную математическую обработку полученных данных, что повышает эффективность работы системы разделения импульсов, позволяет управлять ей и производить ее тонкую настройку.

Спектрометр дает возможность измерять энергетические распределения плотности потока нейтронного излучения в диапазоне энергий нейтронов 0,1–15 МэВ и γ -излучения в диапазоне энергий γ -квантов 0,08–6,5 МэВ в смешанных полях гамма-нейтронного излучения. На основании измеренных спектра и плотности потока рассчитываются следующие параметры поля:

- мощность AMBIENT EQUIVALENT DOSE (МАЭД) гамма- и нейтронного излучений;
- мощность кермы в воздухе и экспозиционной дозы гамма-излучения.

Переход от плотности потока к МАЭД осуществляется с использованием конверсионных коэффициентов, значения которых приведены в международных нормативных документах [5, 6].

Функция световыхода, связывающая амплитуду сигнала с энергией нейтронов, задается аналитически. Параметры функции световыхода определяются экспериментально на основе анализа аппаратурного спектра радионуклидного плутоний-бериллиевого (Pu-Be) источника нейтронов, имеющего хорошо известную резонансную структуру (рис.2).

Энергетическая калибровка спектрометра выполняется с помощью набора радионуклидных источников гамма-излучения. Предусмотрена возможность оперативной калибровки с использованием двух распространенных энергий – 0,661 МэВ (гамма-излучение радионуклида ^{137}Cs) и 4,43 МэВ (гамма-излучение радионуклидного источника нейтронов типа Pu-Be). Реализована также возможность энергетической калибровки на произвольном источнике γ -квантов.

В 2015 году специалисты ФГУП "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева" провели предварительные испытания и калибровку спектрометра SDMF-1206PRO.DB в полях фотонного и нейтронного излучений. Измерения выполнялись на установках из состава Государственного первичного эталона единиц потока и плотности потока нейтронов ГЭТ 10-81 и Государственного вторичного эталона единиц кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, AMBIENT EQUIVALENT DOSE, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей AMBIENT EQUIVALENT DOSE,

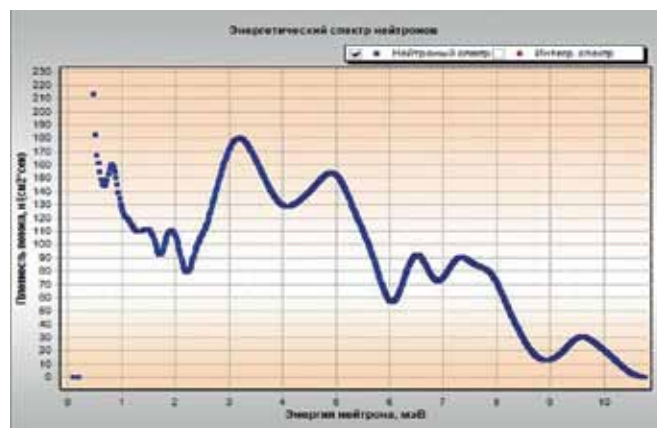


Рис.2. Спектр радионуклидного плутоний-бериллиевого источника нейтронов

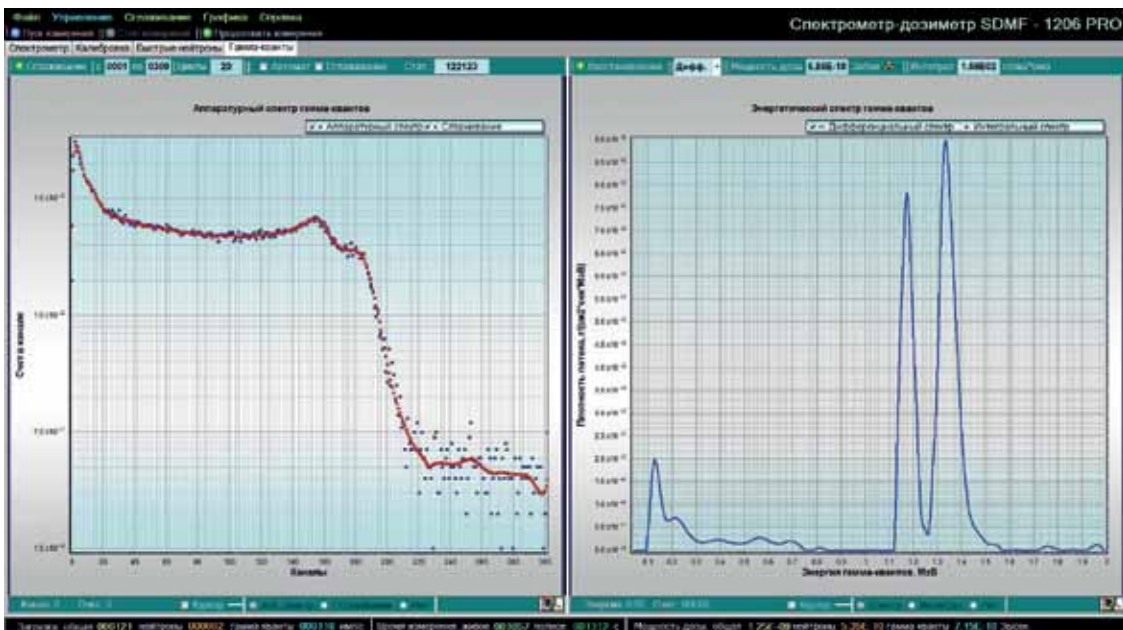


Рис.3. Энергетический спектр гамма-излучения радионуклида ⁶⁰Co: слева – аппаратный спектр, справа – восстановленный спектр

направленного и индивидуального эквивалентов дозы гамма-излучения ГВЭТ 8-2 [7].

По результатам измерений установлено, что энергетическое разрешение спектрометра составляет:

- 7–7,5% по линии 0,661 МэВ (¹³⁷Cs);
- 4,5–5% по линии 1,33 МэВ (⁶⁰Co, рис.3).

Энергетическое разрешение нейтронного канала спектрометра определялось с использованием моноэнергетических нейтронов с энергией ~14,5 МэВ из реакции T(d,n)⁴He и оказалось равным 2,5–3% (рис.4).

Результаты предварительных испытаний и калибровка позволяют сделать выводы о возможности использования прибора в качестве:

- средства измерения энергетического распределения плотности потока нейтронов и гамма-квантов за биологической защитой ядерно-энергетических установок;
- устройства для обнаружения и идентификации источников гамма-излучения;
- дозиметра МАЭД гамма- и нейтронного излучений;

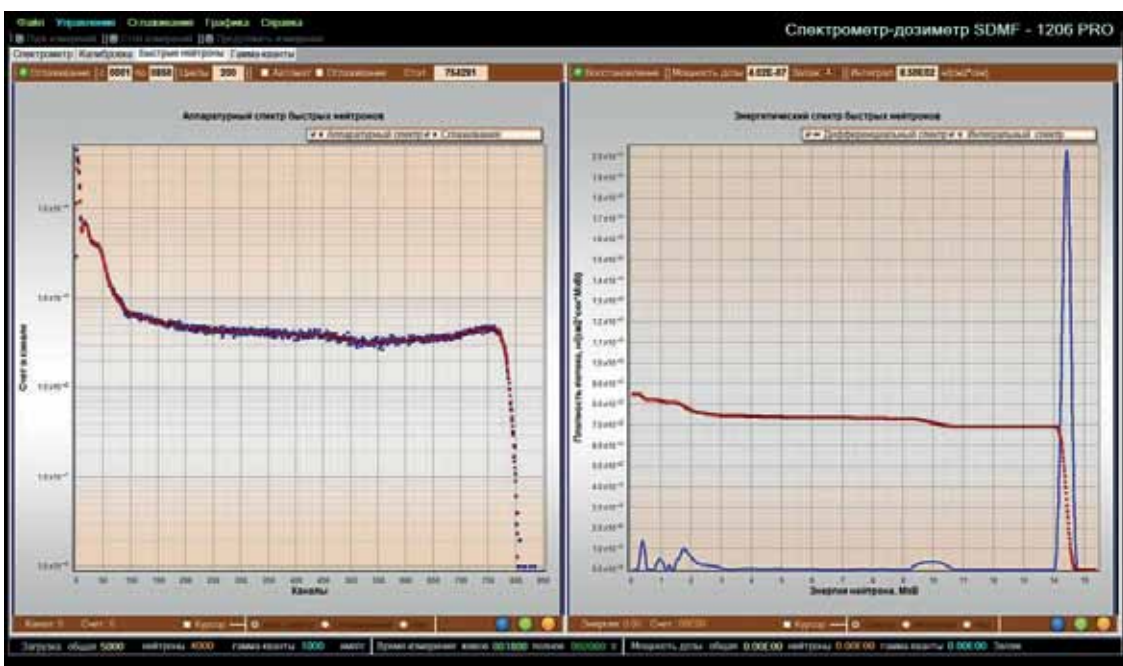


Рис.4. Энергетический спектр моноэнергетических нейтронов из реакции T(d,n)⁴He: слева – аппаратный спектр, справа – восстановленный спектр

- средства передачи размера единицы плотности потока и МАЭД нейтронов.

Таким образом, в ООО "Центр АЦП" разработан компактный многофункциональный прибор для определения основных характеристик полей гамма- и нейтронного излучений.

Прибор может применяться в научно-исследовательских, испытательных и калибровочных лабораториях, на объектах использования атомной энергии, предприятиях, выпускающих радионуклидную продукцию и т. д.

В ближайшем будущем планируется проведение дополнительных исследований метрологических и технических характеристик прибора с последующим проведением процедуры утверждения типа средства измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт ООО "Центр АЦП" (www.centeradc.ru).
2. **Sellin P. J., Jaffar G. and Jastaniah S.D.** Performance of digital algorithms for n/γ pulse shape discrimination using a liquid scintillation detector, 2003 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record. Vol. 2. PP. 1057–1060.
3. Application Note AN2506 – Digital Gamma Neutron discrimination with Liquid Scintillators rev.3 – 09 September 2016
4. **Kharitonov I.A., Tchitchikaluk J.A., Rasko M.A., Moiseev N.N.** Experimental investigation of the metrological characteristics of the scintillation spectrometer in mixed gamma-neutron field // NEUSPEC 2000. P. 476. Proceedings of the International Workshop on Neutron Field Spectrometry in Science, Technology and Radiation Protection, Pisa, Italy, June 4–8, 2000.
5. Стандарт ISO 4037, X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy.
6. Стандарт ISO 8529, Reference neutron radiations.
7. Российская метрологическая энциклопедия. Т. 1. – СПб, 2015. С. 676, 689.