

## СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ СКС ГРУППЫ ПРЕДПРИЯТИЙ «ГРИН СТАР»

А.Б. Дорин, В.Ф. Ельцин, Г.Е. Скакун, А.К. Чураков

ООО НИИП «Грин Стар Инструментс» г. Москва

Спектрометрические комплексы специализированные (СКС), производимые группой предприятий (ГП) «Грин Стар», используются при спектрометрическом анализе как отдельные измерительные средства регистрации альфа-, бета-, рентгеновского и гамма-излучения, так и в составе многочисленных стационарных и переносных устройств измерения (рентген-флуорисцентные анализаторы состава веществ, системы радиационного и технологического контроля, поисковые системы).

В 2007 году ГП «Грин Стар» награждена золотой медалью федерального агентства по техническому регулированию и метрологии «За высокое качество изготовления спектрометрической аппаратуры».

Процессоры импульсных сигналов SBS-79, SBS-78, SBS-77 и «Колибри», являющиеся фактически «сердцем» СКС, предназначены для работы с детекторами невысокого разрешения. Основными в ряду детекторов невысокого разрешения являются сцинтилляционные детекторы, которые уже в течение многих лет работают, как наиболее распространенные детекторы ионизирующего излучения. Их достоинства хорошо известны: высокая плотность вещества в чувствительном объеме детектора, относительно небольшое время реакции на частицу или квант, вызвавших сцинтилляцию, возможность выбора приемлемых размеров и свойств сцинтиллятора.

В таблице 1 приведены характеристики некоторых сцинтилляционных материалов, с которыми были проведены экспериментальные работы.

Таблица 1.

### Характеристики некоторых сцинтилляционных материалов

Материал	Световыход, %	Температурный коэффициент, %/°С	Постоянная времени, нс	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Разрешение по линии 662 кэВ, %
NaJ(Tl)	100	-0,3	250	3,67	6-8
BGO	20	-1,2	300	7,13	9-12
LaBr <sub>3</sub> (Ce)	130	-0,01	26	5,29	2,5-3,5
LYSO	75	0,04	41	7,1	7,5-11
YAP	40	-0,1	27	5,55	4,5-8

Для корректной дешифровки получаемых спектров наиважнейший параметр это энергетическое разрешение блока детектирования. Из таблицы видно, что наилучшим разрешением обладает сцинтиллятор из LaBr<sub>3</sub>(Ce). В приборах ГП «Грин Стар» с этим детектором было достигнуто энергетическое разрешение 2.7% по линии 662 кэВ. Реальный спектр, полученный на СКС с процессором импульсных сигналов SBS-79 и блоком детектирования на базе сцинтиллятора из LaBr<sub>3</sub>(Ce) представлен на рис.1.



Рис. 1

Сцинтиллятор из  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  или  $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$  по сравнению с другими типами сцинтилляторов кроме энергетического разрешения имеет еще ряд преимуществ:

- относительно малая постоянная времени высвечивания (26 нс) на порядок меньше, чем у наиболее часто используемого сцинтиллятора  $\text{NaI}(\text{Tl})$ , позволяет работать в высоких полях излучения;
- малая дополнительная температурная нестабильность (-0,01 %/°C).

СКС с процессорами импульсных сигналов SBS-79, SBS-78, SBS-77 и «Колибри» хорошо работают и с полупроводниковыми детекторами типа  $\text{CdZnTe}$  и Si p-i-n.

В таблице 2 приведены данные о некоторых параметрах полупроводниковых материалов, используемых для изготовления детекторов.

Таблица 2

### Параметры полупроводниковых материалов

Материал	Атомный номер	Плотность, г·см <sup>-3</sup>	Энергия образования пары носителей, эВ
Si	14	2,33	3,7 (300 К)
			3,6 (77 К)
Ge	32	5,32	2,98 (77 К)
CdZnTe	48;30;52	6,06	4,43

С точки зрения поглощения гамма излучения теллурид кадмия имеет определенные преимущества по сравнению с германием и кремнием. Поскольку у теллурида кадмия эффективный атомный номер ( $Z_{\text{эф}} \approx 48$ ) существенно больше, чем у германия ( $Z=32$ ) и кремния ( $Z=14$ ), теллурид кадмия обладает способностью поглощать гамма-излучение значительно больше, чем германий. Учитывая, что значение плотности материала детектора из теллурида кадмия больше по сравнению с

германием и кремнием, эти детекторы нашли преимущественное применение для регистрации гамма-квантов при малых размерах детекторов, а также в повышенных полях ионизирующих излучений.

На рис.2 приведен спектр, полученный на СКС с процессором импульсных сигналов SBS-77 и блоком детектирования на базе кристалла из CdZnTe. При использовании детекторов CdZnTe объемом 0.5 см<sup>3</sup> энергетическое разрешение составляет от 2.3 до 2.6% по линии 662 кэВ.

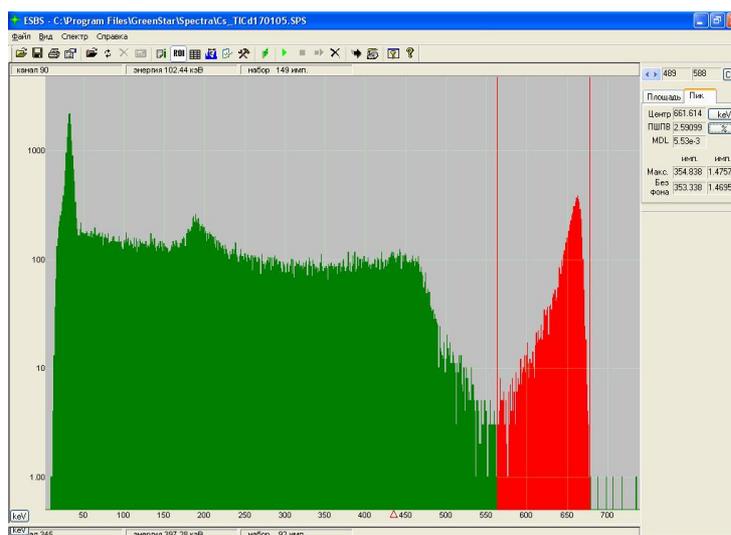


Рис. 2

На рис.3 приведен спектр, полученный на СКС с процессором импульсных сигналов «Колибри» и блоком детектирования из кристалла Si p-i-n типа XR-100CR(Amptek), охлаждаемый двумя элементами Пельтье.

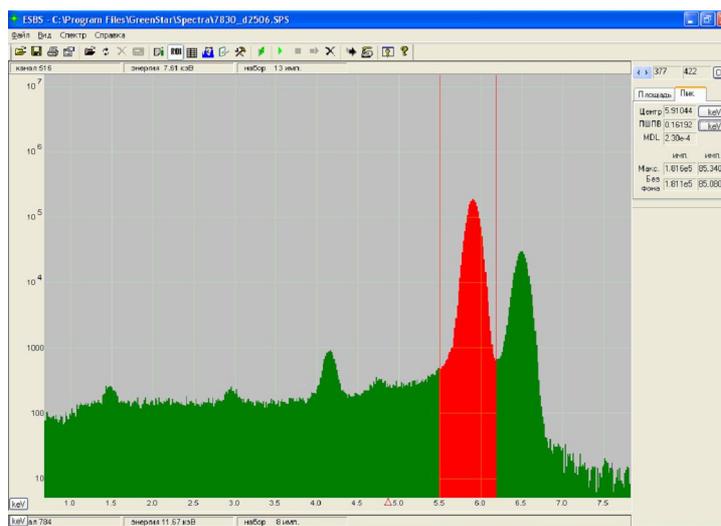


Рис. 3

Фирма-производитель устанавливает значение энергетического разрешения для такого типа детекторов в диапазоне от 145 эВ до 240 эВ в зависимости от размера.

На базе процессора импульсных сигналов SBS-78 и Si p-i-n детекторов работает рентгенофлуоресцентный анализатор элементного состава вещества «Респект», использующийся для экспрессного определения массовой концентрации элементов, содержащихся в анализируемом образце. Для твердых образцов диапазон определяемых концентраций от 0.0001% до 100%. РФА анализатор позволяет определять очень малые содержания делящихся материалов и широко применяется в технологическом контроле. Например, для контроля хода процесса выделения и очистки материала при производстве МОКС топлива, при анализе учетных единиц без защитной упаковки. На рисунке 4 показан спектр образца МОКС топлива массой 100 мкг (медь – внутренний стандарт).

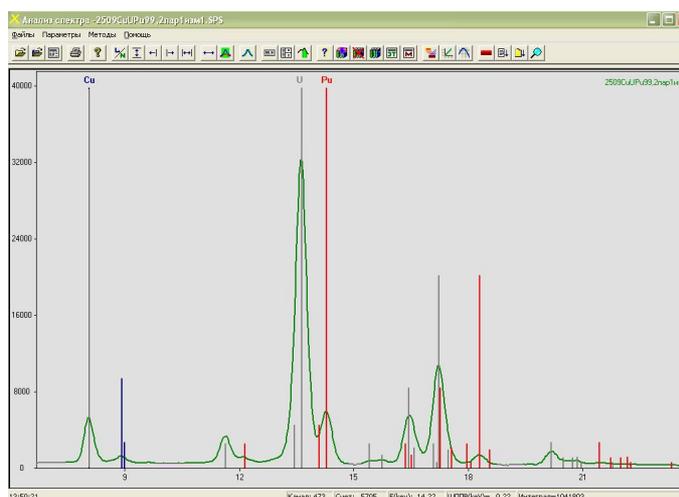


Рис. 4

СКС с универсальными процессорами SBS-75 и SBS-70 обеспечивают работу как с детекторами, указанными выше, так и с детекторами, позволяющими работать с высоким энергетическим разрешением. Один из типовых спектров, полученных на СКС, с детектором на базе кристалла из ОЧГ и процессором SBS-75 (энергетическое разрешение 1.8 кэВ по линии 1332 кэВ при постоянной времени формирования 1 мкс) представлен на рис.5.

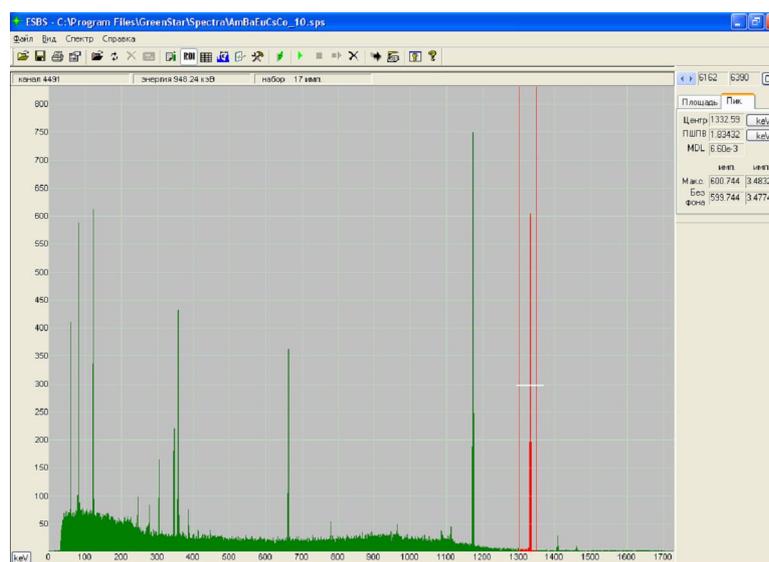


Рис. 5

Приведем несколько примеров решения поставленных заказчиком задач, используя спектрометрический комплекс СКС с процессором импульсных сигналов SBS-75.

Пример 1. Аттестация МВИ «Определение степени обогащения урана в образцах продукции, находящейся в контейнерах модели 30В без снятия защитных чехлов транспортных упаковочных комплектов COG-OP-30B, DOT-21PF-1 А/В, UX-30, NCI-21PF-1 при помощи спектрометрического комплекса СКС-50М».

Основным итогом применения методики является определение значений степени обогащения урановой продукции в исследуемом объекте и оценка неопределённости каждого измерения. Расширенная неопределенность ( $P=0,95$ ) расчета степени обогащения урана в образцах продукции, находящейся в контейнерах модели 30В без снятия защитных чехлов упаковочных комплектов, по серии измерений (не менее 3-х и обязательно с двух сторон ТУК) не превышает 10 %.

На рис. 6 отображен один из эпизодов аттестации МВИ.

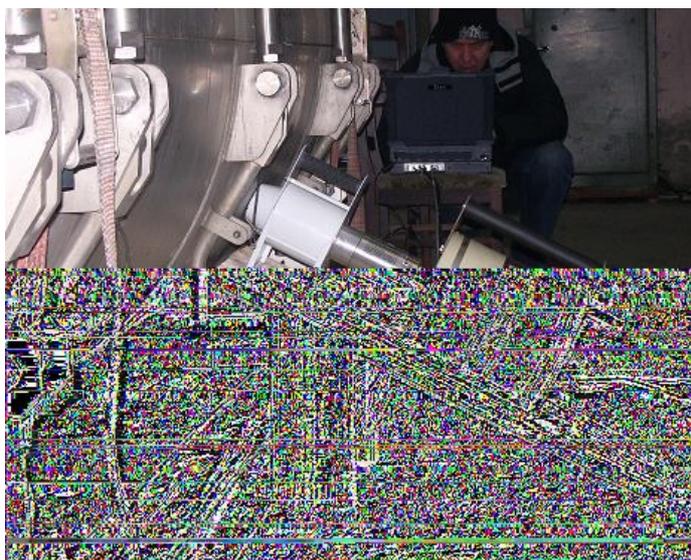


Рис. 6

Пример 2. Дистанционный метод исследования радиоактивного загрязнения донных отложений с применением погружного спектрометрического комплекса “Нырок-2” применен на практике при проведении радиационного обследования в зоне влияния утечки ЖРО одной из АЭС.

Результаты применения спектрометрического комплекса “Нырок-2” в полевых условиях при проведении радиационного обследования донных отложений водных объектов АЭС свидетельствуют об удовлетворительном согласии данных, полученных с помощью дистанционного метода, и традиционных методов отбора и измерения проб.

По сравнению с используемыми промышленными погружными блоками детектирования на основе сцинтилляционных детекторов спектрометрический комплекс “Нырок-2” позволяет более достоверно определять состав и активность радионуклидов, а также оценивать мощность дозы  $\gamma$ -излучения в контрольных точках. Кроме того, “Нырок-2”, за счет конструктивных особенностей размещения ППД в капсуле и высокой чувствительности детектора позволяет охватывать при единичном измерении большую площадь, что позволяет более адекватно оценивать среднюю удельную активность нуклидов.

Результаты применения спектрометрического комплекса “Нырок-2” в полевых условиях показали эффективность и перспективность использования данной разработки при радиационном обследовании донных отложений.

На рис.7 приведен момент погружения спектрометрического комплекса “Нырок-2” при радиационном обследовании донных отложений.



Рис.7

Спектрометрические комплексы СКС ГП «Грин Стар» апробированы для выполнения различных поставленных перед ними задач и могут быть поставлены Заказчику в установленные сроки.