

Техническое и методическое обеспечение спектрометрических комплексов СКС, используемых в системах радиационного контроля АЭС

А.Б. Дорин, В.Ф. Ельцин

ООО НИИП «Грин Стар Инструментс» г.Москва

Радиационная безопасность включает в себя контроль за всеми основными радиационными показателями, определяющими уровни облучения персонала и населения. Это в частности:

- радиационно-технологический контроль, где определяется объемная активность реперных радионуклидов и их групп в технологических средах или в воздухе производственных помещений (йод-131, цезий-137, ИРГ, КЖА для АЭС);
- радиационно-дозиметрический контроль, где кроме внешнего облучения оценивается доза внутреннего облучения персонала путем расчета поступления радионуклидов внутрь организма (период времени поступления на объемную активность радионуклидов в помещении нахождения персонала), непосредственного измерения персонала на СИЧе, по результатам контроля биофизических проб;
- радиационный контроль значений выбросов в атмосферу и паспортизация ТРО и ЖРО, передающихся на хранение;
- радиационный контроль окружающей среды (атмосферный воздух, почва, растительность, вода открытых водоемов, продукты питания и т.д.).

В радиационно-технологическом контроле в связи со сложным изотопным составом применение альфа-, бета-, и гамма- спектрометров стало насущной необходимостью.

В радиационно-дозиметрическом контроле внедрение альфа- и гамма-спектрометров обосновано необходимостью контроля объемной активности радионуклидов в производственных помещениях для оценки годового поступления.

При установлении годовых допустимых выбросов (ДВ) радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу учитывается тот факт, что основной вклад (свыше 98%) в дозу облучения населения в режиме **нормальной** эксплуатации АЭС вносят инертные радиоактивные газы (аргон, криптон, ксенон) и радионуклиды: йод-131, кобальт-60, цезий-134, цезий-137 (натрий-24 для реакторов типа БН-600). А как быть при ненормальной эксплуатации АЭС?

По результатам гамма- спектрометрического анализа проб твердых радиоактивных отходов ОАО «НИИАР», ОАО «СХК», ФГУП «ГХК» и нескольких АЭС (КАЭС, РАЭС...) определен следующий изотопный состав: марганец-54, -56, хром-51, железо-59, цинк-65, кобальт-58, кобальт-60, цезий-137 и прочие радионуклиды. Проанализировав его, становится ясно, что для паспортизации РАО необходимо использовать гамма-спектрометры с полупроводниковыми детекторами.

Опыт применения спектрометров при радиационном контроле окружающей среды в центрах СЭН и лабораториях гидрометеорологии показывает, что для контроля проб атмосферного воздуха, почвы, растительности, воды открытых водоемов и продуктов питания вполне достаточно спектрометров с сцинтилляционными блоками детектирования. Однако, для контроля в санитарно-защитной зоне, зоне наблюдения

АЭС и химических комбинатов необходимо применение спектрометров с коаксиальными детекторами на основе кристалла из сверхчистого германия.

Из всего перечисленного можно сделать вывод, что определение радионуклидного состава и значений активности радионуклидов составляет практическую основу радиационного контроля АЭС.

Спектрометрические комплексы СКС, производимые ООО НИИП «Грин Стар Инструментс», применяются для технологического и радиационного контроля на АЭС и окружающей среды.

Основой спектрометрических комплексов СКС являются процессоры импульсных сигналов серии SBS, которые устанавливаются в IBM-совместимый компьютер, превращая его в современный спектрометр (см. рис.1). Это позволяет отказаться от использования каких-либо дополнительных устройств при построении спектрометрических комплексов. Наличие специализированного программного и методического обеспечения позволяет легко адаптировать его под различные задачи.



Рис.1

Внешний вид одного из процессоров импульсных сигналов (SBS-75) представлен на рис.2.

Процессор SBS-75 обеспечивает работу с любыми типами блоков детектирования: сцинтилляционными детекторами, фосвич-детекторами, пропорциональными счетчиками, ионизационными камерами, детекторами на основе кристаллов особо чистого германия, кремния, теллурида кадмия и т.д.



Рис.2

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, %/°C	Постоянная времени, нс	Плотность, г/см ³	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 ₃ (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 LaBr₃(Ce). В приборах группы предприятий «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 LaBr₃(Ce) представлен на рис.3.

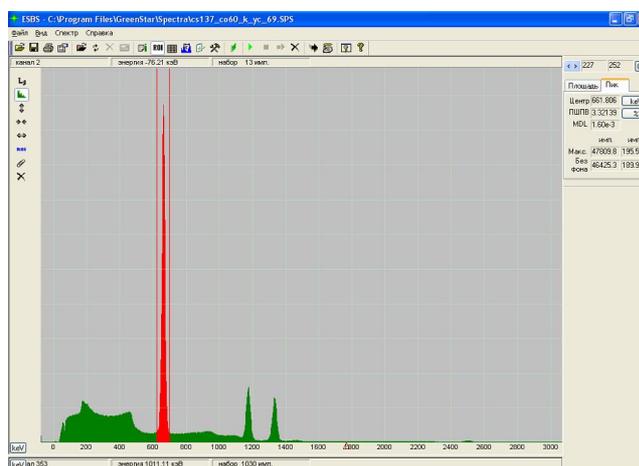


Рис. 3

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 CdZnTe и Si p-i-n.

Специализированное программное обеспечение спектрометрического анализа группы предприятий «Грин Стар» предназначено для создания комплексного математического и программного обеспечения автоматизированного рабочего места спектрометрического анализа на базе процессора импульсных сигналов SBS как в одноплатном, так и многоплатном варианте исполнения.

Пакет программ включает в себя:

- Программу эмулятор анализатора «Esbs», обеспечивающую полную настройку комплекса и получение от него спектрометрических данных.
- Программы обработки спектров: альфа, бета, гамма и рентгеновского – излучения «AlfaBasic», «BetaBasic», «GammaBasic», «ScintBasic», «Gamma Pro», «FusMat», «X-ray», «Liquid Master», позволяющие подготавливать все калибровки спектрометра, данные о нуклидах и элементах, их линиях и производить обработку спектров, включая качественный и количественный анализ.

Все программы обработки спектров зарегистрированы в Отраслевом фонде алгоритмов и программ Государственного координационного центра информационных технологий РФ и сертифицированы в системе Ростехнадзора РФ.

Программное обеспечение реализовано на базе разработанных в соответствии с современными требованиями и аттестованных во ФГУП «ВНИИФТРИ» методик выполнения измерения счетных образцов различного агрегатного состояния, геометрической формы, плотности и элементного состава.

Примеры использования спектрометрических комплексов СКС:

1. Мобильный спектрометрический паспортизатор протяженных источников гамма-излучения (см. рис.4), позволяющий проводить измерения активности и нуклидного состава гамма-излучающих источников любых геометрий и размеров (куб, цилиндр, сфера, плоскость) с учетом поправки на неомогенность распределения радионуклидов, а также позволяющий определять распределение активности непосредственно по измеряемой геометрии образца, используя математическое моделирование методом Монте-Карло.



Рис.4

2. Лабораторный вариант гамма – спектрометрического комплекса СКС-07П-Г предназначенного для измерения активности счетных образцов, оценки степени обогащения урана и изотопного состава плутония (рис.5).

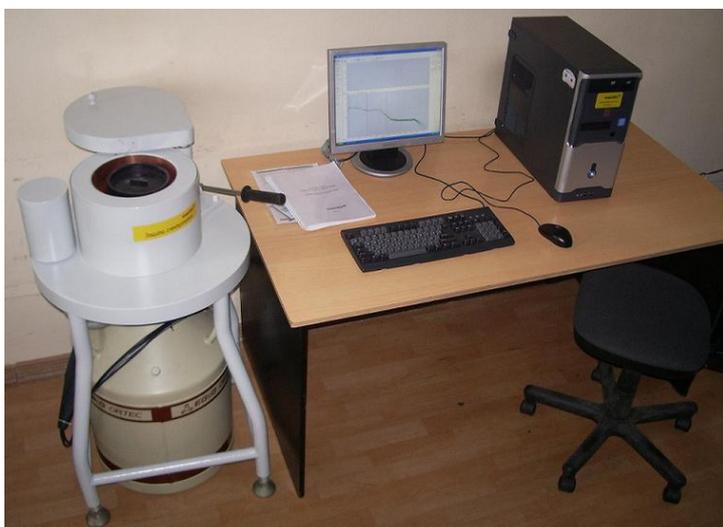


Рис.5

3. Мобильный вариант гамма – спектрометрического комплекса СКС-07П-Г предназначенного для измерения активности счетных образцов (рис.6).



Рис.6

4. Лабораторный вариант бета – спектрометрического комплекса СКС-07П-Б предназначенного для измерения активности счетных образцов известного состава (рис.7).

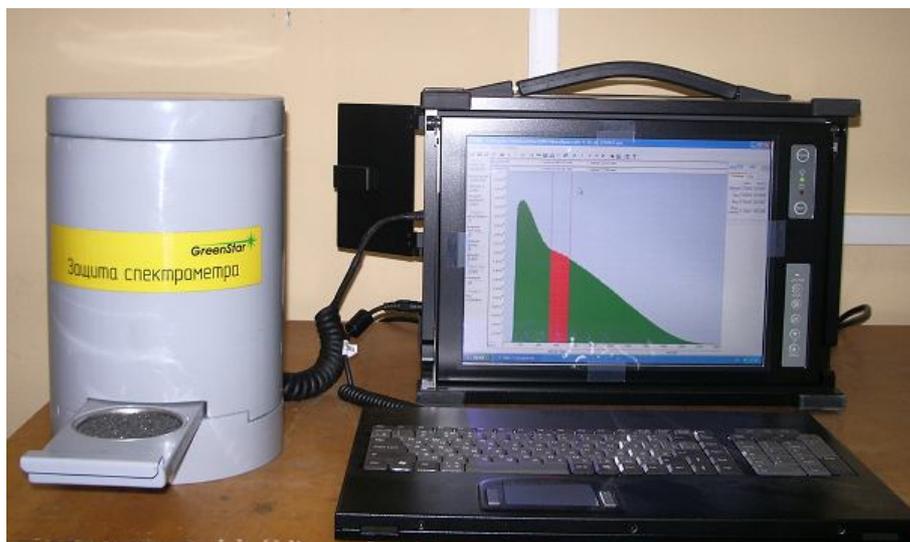


Рис.7

Внешний фон в защите с блоком детектирования БДБС-03ПЛ диаметром 70 мм в энергетическом диапазоне 0.1 – 3 МэВ составляет 0.9 имп/с.

5. Для проведения полноценного радиоизотопного анализа альфа, бета-излучающих радионуклидов (с возможностью регистрировать бета-излучение с энергий от 2 кэВ, высокой эффективностью регистрации (~100% для всех альфа-частиц и для бета-частиц с энергией >50 кэВ), возможностью отдельной регистрации бета- и альфа-излучения) разработан жидкосцинтилляционный спектрометрический комплекс СКС-07П-Б11 (рис.8).

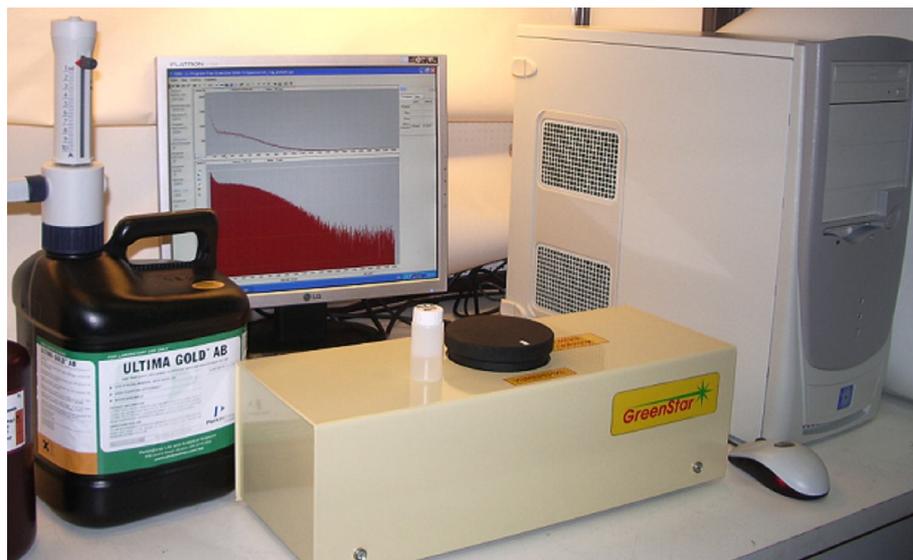


Рис.8

Диапазон измерения активности радионуклидов в счетных образцах, находящихся в измерительных кюветах объемом 20 мл, от 0,05 Бк до $2 \cdot 10^4$ Бк. Время, необходимое для проведения одного измерения, определяется активностью счетного образца и находится в диапазоне от 1 мин до 1000 мин.

Расширенная неопределенность измерения активностей радионуклидов в счетных образцах, находящихся в измерительных кюветах объемом 20 мл для смеси не более шести радионуклидов не превышает 50% при доверительной вероятности $P=0,95$.