

Аналитический обзор российских гамма - спектрометров

А.Б. Дорин, В.Ф. Ельцин, А.К. Чураков
ООО НИИП «Грин Стар Инструментс»

Развитие науки и техники непрерывно связано с созданием и совершенствованием измерительной техники и методов измерений. Особенно велика роль измерительной техники в ядерной физике и атомной технике. Каждый новый этап в развитии ядерной физики сопровождается усовершенствованием старых и созданием новых методов и приборов для регистрации и исследования ионизирующих излучений. В конце 50-х годов в СССР был разработан промышленный многоканальный анализатор АИ-100. Предпосылки для совершенствования анализатора возникли с появлением полупроводниковых приборов – диодов, транзисторов, стабилитронов. Первые образцы промышленных отечественных приборов (в частности, гамма – спектрометров - приборов для исследования энергетического распределения гамма - линий) выпущены в 1956 – 1958 гг. На данный момент, гамма - спектрометры представляют довольно сложные устройства, сосредоточившие накопленный опыт в микроэлектронике и вычислительной технике, базирующиеся на программируемых логических интегральных схемах, и содержащие быстродействующие спектрометрические детекторы. Следует отметить, что если на начальной стадии развития гамма – спектрометры создавались отдельными специалистами, то сейчас их разработка требует коллективных усилий групп специалистов – физиков, инженеров по электронике, конструкторов и технологов. В России на данный момент существует ряд фирм, занимающихся производством гамма – спектрометров и программного обеспечения к ним. Все фирмы можно легко распределить географически по месту первоначальной работы сотрудников или руководителей фирм:

- Из ОИЯИ г. Дубна, Московской обл.: ЗАО НТЦ «Аспект», ООО «Парсек».
- Из ФГУП НИЦ «СНИИП» г. Москва: Группа предприятий «Грин Стар».
- Из ФГУП «ВНИИФТРИ» п. Менделеево, Московской обл.: НПП «Доза», НТЦ «Амплитуда», ООО «ЛСРМ».
- Из ГНЦ РФ-ФЭИ г. Обнинск Экспериментальный Научно-Исследовательский и Методический Центр “Моделирующие Системы”.
- Из ФГУП «ВНИИМ» г. Санкт - Петербург: НТЦ «Радэк».
- Из ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН г. Санкт – Петербург: ЗАО «Техноэксан».

Приносим извинения у тех производителей отечественной аппаратуры, чьи изделия не рассмотрены в настоящей работе, поскольку к моменту подготовки данной работы мы, к сожалению, не располагали необходимой информацией.

Самыми распространенными типами гамма - спектрометров являются сцинтилляционный и полупроводниковый гамма - спектрометры.

Сцинтилляционные блоки детектирования.

В России основным поставщиком неорганических монокристаллов для производства сцинтилляционных детекторов являются г. Усолье - Сибирское, Иркутской области и г. Новосибирск, на Украине - г. Харьков. В таблице 1 приведены основные характеристики некоторых неорганических сцинтилляторов.

Таблица 1

Материал	Световыход, %	Темп.коэфф., %/°С	Постоянная времени спада, нс	Разрешение на 662 кэВ, %	Плотность, г/см ³	Гигроско- пичность
NaJ(Tl)	100	- 0,3	250	6-8	3,67	да
CsJ(Tl)	45	0,01	1000	7-8,5	4,51	слабая
CsJ(Na)	85	-0,05	630	7-8,5	4,51	да
CsJ	4-6	- 0,3	16	30-32	4,51	нет
CdWO ₄	30-50	-0,1	14000		7,9	нет
YAlO ₃ (Ce)	40	-0,1	27		5,55	нет
Y ₃ AlO ₅ O ₂₂ (Ce)	15	-	70		4,55	нет
BGO	20	- 1,2	300	9,5-12	7,13	нет
LYSO	75	0,04	41	7-11	7,1	нет
BaF ₂	3	0	0,6 – 0,8		4,88	слабая
LaBr ₃ (Ce)	130	0	26	2,5-3,5	5,29	да
LaCl ₃ (Ce)	70-90	0,7	28	2,5-3,5	3,79	да

Наряду с совершенствованием технологии изготовления классических сцинтилляторов в последние годы велись работы по использованию новых видов неорганических сцинтилляторов, позволяющих более эффективно решать отдельные задачи.

Наибольшей плотностью из неорганических сцинтилляторов обладают детекторы из кадмия CdWO₄, поэтому из них можно изготовить детекторы маленьких геометрических размеров. При этом сцинтилляционная эффективность CdWO₄ составляет от 30% до 50% от NaJ(Tl).

В последнее время появился новый вид сцинтилляторов на основе ортоалюмината иттрия легированного церием YAlO₃(Ce). По своим характеристикам он близок к CsI(Tl), но со значительно большим быстродействием.

В тех случаях, когда ограничен объем детектора гамма-излучения большой интерес вызывают сцинтилляторы, обладающие большой плотностью и позволяющие повысить эффективность регистрации гамма-излучения. Один из таких сцинтилляторов – ортогермант висмута $\text{Be}_4\text{G}_3\text{O}_{12}$ (BGO). Кристаллы BGO обладают по сравнению с $\text{NaI}(\text{Tl})$, более высокой поглощающей способностью, что позволяет снизить объем детектора на порядок. Кроме того, этот сцинтиллятор имеет малую чувствительность к нейтронам, что оказывается удобным при измерении гамма-излучения в смешанных полях. При изготовлении кристаллов BGO не возникает проблем равномерного распределения активатора для хорошей равномерности. Существенный недостаток этого сцинтиллятора – низкий световой выход. Улучшение технологии и получение чистого сырья позволили для кристаллов BGO с диаметром 25 мм и высотой 2,5 мм улучшить энергетическое разрешение с 15 до 9,5%.

Наконец, для многих неорганических сцинтилляторов, и в частности для $\text{NaI}(\text{Tl})$, свойственно послесвечение – наличие долговременного компонента высвечивания; кристаллы BGO обладают минимальным послесвечением.

Хотя, надо отметить ряд недостатков кристаллов BGO по сравнению с другими типами сцинтилляторов:

- относительно невысокое разрешение, что создает определенные сложности при обработке получаемых гамма-спектров;
- большая дополнительная температурная погрешность (-1,2 %/°C), что также требует применения более сложных алгоритмов при обработке спектров.

Еще один из перспективных сцинтилляционных материалов - LYSO ($\text{Lu}_{1,8}\text{Y}_{0,2}\text{SiO}_5:\text{Ce}$). Этот материал имеет сходные с BGO характеристики по энергетическому разрешению (от 7% до 11% на энергии 662 кэВ). Плотность и эффективный атомный номер кристаллов LYSO также близки к характеристикам кристаллов BGO и, соответственно, кристаллы LYSO имеют близкую, хотя и несколько большую, эффективность регистрации с кристаллами BGO. Отличительной особенностью кристаллов LYSO по сравнению с $\text{NaI}(\text{Tl})$ и BGO является существенно меньший температурный коэффициент светового выхода (0,04%/°C), что является важным при использовании в гамма-спектрометрах, работающих в разных условиях окружающей среды, поскольку позволяет получить гораздо более стабильную энергетическую шкалу системы. Основным преимуществом кристаллов LYSO по сравнению с традиционными кристаллами $\text{NaI}(\text{Tl})$ и BGO является существенно меньшая постоянная времени спада светового импульса – 40 нс по сравнению с 250 и 300 нс, соответственно. Это позволяет сформировать более короткий импульс на выходе детектора. Основной недостаток

кристаллов LYSO – высокая собственная радиоактивность, обусловленная изотопом Lu-176.

На рис. 1 представлен график зависимости пропускной способности спектрометрического тракта на базе процессора SBS-77 «Грин Стар» и сцинтилляционных детекторов с кристаллами LYSO и BGO без использования DL - преобразователя и с использованием DL – преобразователя. DL – преобразователь применяется для увеличения пропускной способности спектрометрического тракта.

При использовании кристалла LYSO удалось сформировать сигнал длительностью 120 нс, что позволило получить гораздо более производительные спектрометрические тракты ГП «Грин Стар» с использованием DL – преобразователя, способные работать до входных нагрузок 10^7 имп/с, и имеющие пропускную способность около $1,5 \cdot 10^6$ имп/с.

При использовании кристалла BGO пропускная способность спектрометрического тракта около $3,5 \cdot 10^5$ имп/с.

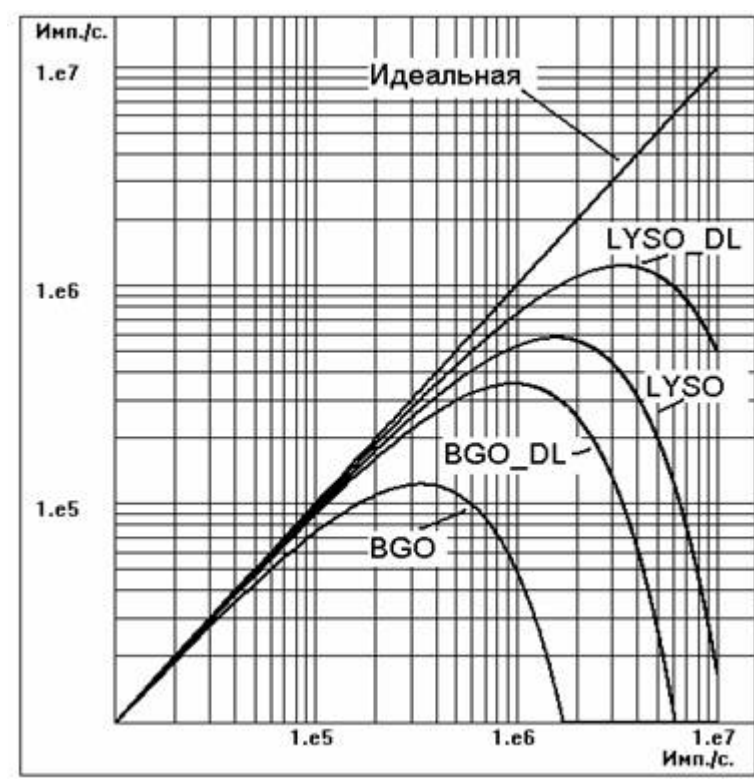


Рис. 1

Наименьшая длительность сцинтилляций в неорганических кристаллах была получена с детекторами из фторида бария BaF_2 . Быстрый компонент сцинтилляции позволяет получить временное разрешение во времяпролетной методе в 4 – 5 раза лучше, чем $NaI(Tl)$, и приближающееся к значениям, достигаемым с пластическими сцинтилляторами.

В 2001 г. корпорацией Saint-Gobain (Франция) была запатентована (международные патенты WO 01/60944, WO 01/60945) новая группа сцинтилляционных кристаллов – галогениды лантана легированные церием $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ и $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$. При световыходе сравнимом со световыходом $\text{NaJ}(\text{Tl})$, данные кристаллы обладают гораздо более высоким энергетическим разрешением и коротким временем высвечивания, что привлекает к ним большой интерес. Однако трудности, связанные с характерным радиоактивным загрязнением месторождений лантаноидов и сильной анизотропией температурного коэффициента линейного расширения, приводят к сложным технологиям и высокой стоимости продукции.

Для бромида лантана среднее энергетическое разрешение для 662 кэВ изотопа ^{137}Cs составляет $\sim 3,2\%$ и световыход превышающий световыход $\text{NaJ}(\text{Tl})$.

На базе кристаллов $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ производятся блоки детектирования, обладающие уникальными свойствами для класса сцинтилляционных детекторов:

- Энергетическое разрешение для энергии гамма-излучения 662 кэВ от 2,5 % до 3,5%. Для кристалла $\text{NaJ}(\text{Tl})$ аналогичного размера при тех же условиях, разрешение составляет не менее 6 %.
- Более высокая эффективность регистрации чем у детектора с аналогичными размерами кристалла $\text{NaJ}(\text{Tl})$;
- Высокая температурная стабильность характеристики преобразования, обеспечиваемая уникально низким температурным коэффициентом световыхода сцинтилляционного материала.

Приведенные преимущества блоков детектирования на базе кристаллов $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$, позволяют качественно улучшить потребительские свойства гамма – спектрометров на их основе.

В частности:

- блок детектирования на основе $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ позволят уверенно анализировать образцы со сложными спектрами гамма-излучателей;
- высокое разрешение напрямую ведет к улучшению качества идентификации радионуклидов в исследуемых образцах;
- значения минимально измеряемой активности, за идентичные интервалы времени, уменьшаются и как следствие уменьшаются времена измерения образцов для достижения требуемого результата;
- высокая температурная стабильность устройств детектирования позволяет эффективно применять их при тяжелых температурных воздействиях внешней среды.

Использование блоков детектирования на основе кристаллов $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$, позволит качественно улучшить парк приборов сцинтилляционной гамма - спектрометрии России.

Полупроводниковые детекторы.

Германиевые и кремниевые полупроводниковые детекторы производятся ограниченным числом предприятий, среди них наиболее известными и популярными на российском рынке являются Canberra (США), ORTEC (США), Baltic Scientific Instruments – BSI (Латвия). В России разработкой и поставкой германиевых детекторов промышленного производства занимается Институт Физико-Технических Проблем Росатома (г. Дубна) – ИФТП. Разработку и поставку отдельных детекторов осуществляет Петербургский Институт Ядерной Физики (г. Гатчина) – ПИЯФ.

Необходимо упомянуть положение дел с детекторами из другого полупроводникового материала – теллурида кадмия (CdTe и CdZnTe). Детекторы из этого материала используются для спектрометрии гамма- и рентгеновского излучений. Эти детекторы не требуют при выполнении измерений охлаждения до криогенных температур, но иногда для уменьшения шумов (особенно при измерениях в рентгеновской области) их охлаждают малогабаритными термоэлектрическими холодильниками, основанными на эффекте Пельтье. Следует отметить, что особого прогресса в увеличении объемов чувствительной области пока не достигнуто, что важно для повышения эффективности регистрации в гамма-диапазоне. Объемы чувствительной области у теллуридкадмиевых детекторов лежат в пределах от единиц кубических миллиметров до одного кубического сантиметра. Наиболее целесообразно применять эти детекторы для регистрации гамма-квантов с энергиями до 1 МэВ. Энергетическое разрешение для линии 122 кэВ лежит в пределах 5-12 кэВ, а для линии 661 кэВ – в пределах 15-55 кэВ. По этим причинам эти детекторы находят применение только для измерения однотипных хорошо детерминированных спектров (например, определение обогащения урана) или для анализа высокоактивных образцов (например, контроль тепловыделяющих сборок в бассейнах выдержки). Изготовителями теллуридкадмиевых детекторов являются фирмы eV-Products (США) и BSI, а также ПИЯФ. Теллуридкадмиевые детекторы существенно уступают германиевым по эффективности и энергетическому разрешению, поэтому они находят специализированное применение в измерительной практике.

Детекторы других типов.

Кроме упомянутых выше детекторов существует еще один класс гамма-детекторов, в которых в качестве рабочего вещества используется сжатый ксенон. С точки зрения энергетического разрешения они занимают промежуточное положение между полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами и обеспечивают разрешение

порядка (13-16) кэВ. Эти детекторы были разработаны в МИФИ и в настоящее время они проходят апробацию в различных лабораториях и организациях, которые используют эти гамма - детекторы для обнаружения и идентификации радиоактивных и делящихся материалов.

Основные характеристики ксеноновых гамма-спектрометров приводятся ниже.

1. Согласно теоретическим оценкам ксеноновые гамма-детекторы могут обеспечить энергетическое разрешение для гамма-линии с энергией 1 МэВ около 0.4%. Полученное на сегодняшний день для полупромышленных образцов ксеноновых детекторов с рабочем объемом от 0,2 до 6 литров энергетическое разрешение составляет 2% - для энергии 662 кэВ (^{137}Cs) и 1.5% для энергии 1170 кэВ (^{60}Co). Достигнутые значения энергетического разрешения для этих детекторов на гамма-линии 662 кэВ в несколько раз лучше, чем у сцинтилляционных детекторов (3-12)%, и в перспективе могут приблизиться к полупроводниковым детекторам (0,2-0,3)%.

2. В отличие от полупроводниковых детекторов для эксплуатации ксеноновых гамма-детекторов не требуется использование жидкого азота или каких-либо дополнительных систем охлаждения. Диапазон рабочих температур ксеноновых детекторов - (10°-200°) С, что позволяет использовать их даже в жестких температурных условиях. По сравнению со сцинтилляционными гамма-детекторами ксеноновые обладают высокой стабильностью в указанном температурном диапазоне. В частности, они сохраняют высокое энергетическое разрешение и для них отсутствует температурный дрейф амплитуды выходного сигналов в указанном диапазоне температур. Обычно для устранения температурной нестабильности основных спектрометрических характеристик сцинтилляционных детекторов применяются достаточно сложные компенсационные электронные схемы или специальные расчетные алгоритмы, используемые при обработке экспериментальных данных. Ксеноновые детекторы можно применять в условиях низких температур вплоть до минус 40-50 градусов при использовании ленточных обогревателей, которые практически не увеличивают общий габариты этих детекторов.

3. Ксеноновые гамма-детекторы в отличие от сцинтилляционных обладают очень хорошей линейной характеристикой в широком диапазоне энергий (проверено для 100-5000 кэВ). Ее отклонение от линейной аппроксимации меньше 1%. Сцинтилляционные гамма-детекторы не обладают такой хорошей линейной характеристикой, что приводит к необходимости применять специальные методики для обработки экспериментальных данных и тем самым значительно усложняет их обработку и интерпретацию.

4. Ксеноновые гамма-детекторы гораздо меньше (почти в 20 раз) активизируются нейтронами по сравнению со сцинтилляционными (NaI) в расчете на идентичные массы

рабочего вещества этих детекторов. Для ксеноновых гамма-детекторов было показано, что после воздействия нейтронов с энергиями 0,1-10 МэВ в фоновом спектре ксеноновых детекторов возникают активационные гамма-линии от отдельных изотопов ксенона, которые легко учитываются при регистрации гамма-излучения от других гамма-источников.

5. Ксеноновые гамма-детекторы обладают достаточно высокой устойчивостью к виброакустическим воздействиям. Показано, что их спектрометрические характеристики сохраняются при уровне акустических шумов до 80 дБ без применения каких-либо защитных экранов или амортизаторов.

6. Ксеноновые гамма-детекторы обладают достаточно высокой эффективностью регистрации гамма-квантов. Для сравнения, можно отметить, что при одинаковых массах рабочего вещества ксеноновых и сцинтилляционных гамма-детекторов их эффективности сравнимы.

7. Ксеноновые гамма-детекторы могут иметь различные чувствительные объемы (0,2-10 л), что позволяет обеспечивать как малые, так и большие массы рабочего вещества. При этом спектрометрические характеристики практически не зависят от объема рабочего вещества.

8. Ксеноновые детекторы технологичны в изготовлении и их стоимость значительно ниже полупроводниковых детекторов. Например, цена одного литра ксенона (5,6 г) при нормальных условиях на сегодняшний день составляет (10-15)\$, а один кубический сантиметр среднего по размерам кристалла сверхчистого германия (5,33 г) стоит несколько сотен долларов.

9. Ксеноновые гамма-детекторы обладают большим практически неограниченным ресурсом работы. Он может составлять несколько десятков лет. В частности, один из гамма-спектрометров на основе сжатого ксенона проработал на борту орбитальной станции "Мир" в непрерывном режиме более десяти лет (1990 – 2001 гг.).

Таким образом использование гамма-спектрометров на сжатом ксеноне в фундаментальных и прикладных исследованиях, по нашему мнению, позволит значительно расширить возможности применения методов ядерной физики для различных задач гамма-спектрометрии.

Аппаратура для гамма – спектрометров.

Цель настоящего обзора состоит в рассмотрении не только детекторов, но и аппаратуры для гамма - спектрометров, которую изготавливают наиболее известные фирмы России.

Попытаемся непредвзято провести анализ состояния наиболее применяемых и известных спектрометрических систем, которые могут использоваться для неразрушающего изотопного анализа с германиевыми и сцинтилляционными детекторами. Заранее приносим извинения тем производителям отечественной аппаратуры, чьи изделия не рассмотрены в настоящей работе, поскольку к моменту подготовки данной работы мы, к сожалению, не располагали необходимой информацией. Весь материал для сравнительного анализа гамма – спектрометров российских производителей взят из открытой печати (информация с официальных сайтов производителей, рекламные листы, плакаты, статьи и доклады).

Сравнительный анализ гамма- спектрометров российских производителей предлагаем провести по следующим критериям:

- по техническим характеристикам (энергетическое разрешение, интегральная нелинейность, долговременная нестабильность характеристики преобразования за 24 ч. непрерывной работы, максимальная статистическая загрузка);
- по использованию в составе спектрометра своих комплектующих (блоков детектирования, анализаторов, программного обеспечения).

Сравнительный анализ гамма – спектрометров российских производителей по техническим характеристикам.

Основные технические данные и характеристики **сцинтилляционных** гамма – спектрометров приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Энергетическое разрешение по пику Cs137, %	Интегральная нелинейность, не более %	Долговременная нестабильность, %	Максимальная статистическая загрузка, с ⁻¹
1	2	3	4	5
Гамма-спектрометр сцинтилляционный "Прогресс-гамма" НПП «Доза»	< 8,5			
Спектрометрический комплекс "МУЛЬТИРАД" НТЦ «Амплитуда»	< 8,5			

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Энергетическое разрешение по пику Cs137, %	Интегральная нелинейность, не более %	Долговремен- ная неста- бильность, %	Максималь- ная стати- стическая загрузка, с ⁻¹
1	2	3	4	5
Спектрометр энергии гамма-излучения сцинтилляционный ГАММА-1С ЗАО НТЦ «Аспект»	< 8,0	±1	не более 1	5·10 ⁴
Спектрометр –радиометр МКГБ-01 НТЦ «Радэк»				
Полевой гамма- спектрометр ЦИИ робототехники и технической кибернетики	< 8,5		± 2,0 за 8 ч непрерывной работы	5·10 ⁴
Комплекс спектрометрический СКС-07П_Г37...48 ГП «Грин Стар»	от 6 до 10,5 для блоков детектирования разного размера	±1	± 2,0 за 24 ч непрерывной работы	2·10 ⁶ (5·10 ⁶ при использова нии DL преобразов ателя)

Основные технические данные и характеристики **полупроводниковых** гамма – спектрометров приведены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Энергетическое разрешение по пику 1332 кэВ со ⁶⁰ , кэВ	Интегральная нелинейность, не более %	Долговремен- ная неста- бильность, %	Максималь- ная стати- стическая загрузка, с ⁻¹
1	2	3	4	5
Гамма-спектрометр полупроводниковый “Прогресс-ППД” НПП «Доза»	1,8-2	0,1		
Спектрометрический комплекс "МУЛЬТИРАД" НТЦ «Амплитуда»	< 2	0,1		
Спектрометр энергии гамма-излучения полупроводниковый ГАММА-1П ЗАО НТЦ «Аспект»	1,8-3,5	±0,05		5·10 ⁴
Спектрометр гамма - излучений РКГ-1К НТЦ «Радэк»	1,9			

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Энергетическое разрешение по пику 1332 кэВ ^{60}Co , кэВ	Интегральная нелинейность, не более %	Долговременная нестабильность, %	Максимальная статистическая нагрузка, с^{-1}
1	2	3	4	5
Комплекс спектрометрический СКС-07П_Г1...36 ГП «Грин Стар»	1,7-2,4 (Ge – детектор)	$\pm 0,05$	$\pm 0,02$ за 24 ч непрерывной работы	10^5 ($2 \cdot 10^5$ при использовании DL преобразователя)

Сравнительный анализ гамма – спектрометров российских производителей по использованию в составе комплектующих собственного производства (блоков детектирования, анализаторов, программного обеспечения).

Основные технические данные и характеристики **сцинтилляционных** гамма – спектрометров приведены в таблице 4.

Таблица 4

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Блоки детектирования	Анализатор	Программное обеспечение
1	2	3	4
Гамма-спектрометр сцинтилляционный «Прогресс-гамма» НПП «Доза»	сцинтилляционный БД на основе NaI(Tl) с кристаллом 63×63 и встроенными блоками питания, усиления и АЦП		«Прогресс-гамма»
Спектрометрический комплекс "МУЛЬТИРАД" НТЦ «Амплитуда»	NaI(Tl) 63×63 мм могут применяться сцинтилляционные детекторы других типов (CsI(Tl), CsF2(Eu) и другие) различных размеров		«Прогресс-гамма»
Спектрометр энергии гамма-излучения сцинтилляционный ГАММА-1С ЗАО НТЦ «Аспект»	БДС - Г на основе монокристалла NaI(Tl) 63×63 со встроенным усилителем, высоковольтным преобразователем напряжения, системой стабилизации по реперному пику светодиода и термокомпенсацией характеристики преобразования	Спектрометрический амплитудно-цифровой преобразователь АЦП - 1К - В1	Прикладное программное обеспечение "LSRM" ООО «ЛСРМ»
Многоканальный анализатор амплитуд импульсов МСА 2048 ЗАО «Техноэкскан»	БДЭГ		

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Блоки детектирования	Анализатор	Программное обеспечение
1	2	3	4
Спектрометр –радиометр МКГБ-01 НТЦ «Радэк»	БДЕГ-80, БДЕГ-60, БДЕГ-К	Аналого-цифровой преобразователь MD-198 BSI г.Рига	программа AScinti-W
Полевой гамма-спектрометр ЦИИ робототехники и технической кибернетики	СБДГ	БОИ	
Комплекс спектрометрический СКС-07П_Г1...36 ГП «Грин Стар»	БДЭГ NaJ(Tl), CsJ(Tl), CsJ(Na), CsJ, CdWO ₄ , YAlO ₃ (Ce), BGO, LYSO, BaF ₂ и т.д. различных размеров	ПРОЦЕССОРЫ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ SBS-77, SBS-78, SBS-79 или «Колибри»	СПО «ScintBasic»

Основные технические данные и характеристики **полупроводниковых** гамма – спектрометров приведены в таблице 5.

Таблица 5

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Блоки детектирования	Анализатор	Программное обеспечение
1	2	3	4
Гамма-спектрометр сцинтилляционный «Прогресс-ППД» НПП «Доза»	блок детектирования на основе детектора из особо чистого германия с эффективностью от 10% до 60% и более (производства фирм EG&G «ORTEC» или «Canberra»)	плата АЦП (8К или 16К) или отдельный блок анализатора	«Прогресс-ППД»
Спектрометрический комплекс "МУЛЬТИРАД" НТЦ «Амплитуда»	блок детектирования на основе детектора из особо чистого германия с эффективностью от 10% до 50% и более производства фирм EG&G «ORTEC» или «Canberra» (различные варианты и модификации)	плата АЦП (8К или 16К) или отдельный блок анализатора	«Прогресс-ППД»
Спектрометр энергии гамма-излучения сцинтилляционный ГАММА-1С ЗАО НТЦ «Аспект»	Германиевый полупроводниковый детектор (ОЧГ производства фирм EG&G «ORTEC» или «Canberra», или Ge(Li))	Спектрометрическое устройство, включающее в комплект спектрометрический усилитель, высоковольтный источник питания, низковольтный источник питания типа: СУ-03П, СУ-04П, СУ-05П и АЦП-8к, usb-8к, Rs-8к...	Прикладное программное обеспечение "LSRM" ООО «ЛСРМ»

Наименование спектрометра (фирма-производитель)	Блоки детектирования	Анализатор	Программное обеспечение
1	2	3	4
Многоканальный анализатор амплитуд импульсов МСА 2048 ЗАО «Техноэкскан»	ППД производства фирм EG&G «ORTEC» или «Canberra»		
Спектрометрическое устройство РКГ-1к НТЦ «Радэк»	ППД производства фирм EG&G «ORTEC» или «Canberra»	спектрометрическое устройство Multispektrum (BSI г.Рига)	программа обработки
Комплекс спектрометрический СКС-07П_Г37...48 ГП «Грин Стар»	Германиевые детекторы: Canberra, ORTEC, BSI, ИФТП. Детекторы из теллурида кадмия, дийодида ртути. Ксеноновые детекторы (МИФИ). Различные варианты и модификации.	ПРОЦЕССОР ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ SBS-75	СПО «GammaBasic», СПО «Гамма Про», СПО «FusMat»

Многоцелевой портативный спектрометр-дозиметр "СПЕДОГ" разработки ЭНИМЦ "Моделирующие Системы" г. Обнинск не рассмотрен в таблицах сравнения, т.к. в нем в качестве детектора используется кристалл кремния, а данные и характеристики приведены по сцинтилляционным спектрометрам и спектрометрам с ОЧГ.

Проанализировав содержание таблиц 2, 3, 4 и 5, можно сделать некоторые выводы:

1. По техническим характеристикам (энергетическому разрешению, интегральной нелинейности, долговременной нестабильности характеристики преобразования) как сцинтилляционные, так и полупроводниковые гамма - спектрометры российских фирм производителей примерно аналогичны.
2. По максимальной статистической нагрузке большое преимущество перед остальными имеют гамма- спектрометры ГП «Грин Стар».
3. Сцинтилляционные блоки детектирования собирают практически все российские производители гамма - спектрометров.
4. Анализаторы (процессоры) изготавливают только часть производителей (ЗАО НТЦ «Аспект», ГП «Грин Стар», ООО «Парсек») и еще некоторые фирмы).
5. НПП «Доза» и НТЦ «Амплитуда» имеют общее специализированное программное обеспечение «Прогресс».
6. ЗАО НТЦ «Аспект» использует прикладное программное обеспечение "LSRM" ООО «ЛСРМ».

7. В ГП «Грин Стар» разработано и сертифицировано свое специализированное программное обеспечение.

В итоге необходимо отметить, что несмотря на сложное время, отечественные производители гамма – спектрометров, обеспечивающие независимость России от зарубежной спектрометрической аппаратуры, имеют большой потенциал для дальнейшего развития.