

ПРИНЦИП НАИМЕНОВАНИЯ И СОСТАВ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СКС ГП «ГРИН СТАР»

П.В. Белоусов, В.Ф. Ельцин, Г.Е. Скакун, А.К. Чураков
ООО НИПП «Грин Стар Инструменте», г. Москва, Россия

Основой спектрометрических комплексов типа СКС являются процессоры импульсных сигналов собственной разработки и производства.

Специализированное программное обеспечение спектрометрического анализа (рис.1) предназначено для создания комплексного математического и программного обеспечения автоматизированного рабочего места спектрометрического анализа на базе процессора импульсных сигналов.

Пакет программ включает в себя:

- Программу эмулятор анализатора «Esbs», обеспечивающую полную настройку комплекса и получение от него спектрометрических данных.
- Программы обработки всех видов ионизирующих излучений «Альфа Про», «Бета-анализатор», «Гамма ППД», «Гамма СЦ» (см. рис.1), «Liquid Master», позволяющие подготавливать все калибровки спектрометра, данные о нуклидах и элементах, их линиях и производить обработку спектров, включая качественный и количественный анализ.

Гамма ППД

Версия 1.0 от 29.03.2012

ООО «ОКБ «ГС»
E-mail: okbgs@mail.ru
Тел.: +7 499 943 2031



Обработка спектров гамма-излучения,
полученных на полупроводниковых
детекторах

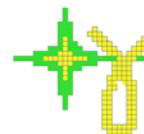
Требования к ПК:
операционная система Windows XP, Vista, 7,
дисплей с разрешением 1024x768 и больше,
20 МБ свободного пространства

Гамма СЦ

БАЗОВАЯ

Версия 1.0
от 17.05.2012

ООО «ОКБ «ГС»
okbgs@mail.ru
+7 499 943 2031



Обработка спектров гамма-излучения,
полученных на сцинтилляционных детекторах

Требования к ПК: процессор 1GHz,
512 МБ RAM, 20 МБ HDD,
MS Windows XP, Vista, 7

Рис.1

Основным итогом применения программного обеспечения является определение значений активности радионуклидов в исследуемом объекте и оценка неопределённости каждого измерения ($P=0.95$ или $P=0.99$).

В качестве метода анализа в программах используется метод разложения экспериментального спектра по линиям радионуклидов, включенных в рабочую библиотеку идентификации, изложенный в аттестованных МВИ.

Программы производят анализ спектров гамма- излучения, записанных в файлах определенного формата.

Для работы программы необходимо наличие персонального компьютера (далее – ПК).

Пример обозначения:

Комплекс спектрометрический СКС-07П_(Г*) (Г – гамма – регистрирующий детектор, *- номер блока детектирования по техническим условиям (ТУ). Например, Г35 по ТУ соответствует блоком детектирования на основе особо чистого германия 15% эффективности регистрации типа GEM-15P4 (Ortec), Г39 – соответствует

сцинтилляционному блоку детектирования БДЭГ-50(50)Н с неорганическим кристаллом NaJ(Tl) диаметром 50 мм и высотой 50мм, Р27 - блоку детектирования рентгеновского излучения AXR100CRF (Amptek).

1. Комплекс спектрометрический СКС-07П_Г1...36

Комплекс спектрометрический с СКС-07П_Г1 по СКС-07П_Г36 (рис.2) предназначен для измерения активности счетных образцов по гамма - излучению, автоматизированной обработки результатов измерения, вывода и хранения информации в удобном для пользователя виде.

Комплекс спектрометрический представляет собой измерительное устройство, в состав которого входят:

- измерительный тракт с блоком детектирования на основе особо чистого германия;
- процессор импульсных сигналов SBS-75, установленный в персональный компьютер (для работы при высоких нагрузках используется формирователь импульсов DL-1 или DL-2);
- специализированное программное обеспечение: «Gamma Basic», «Gamma Pro»;
- МВИ;
- эксплуатационная документация.

Комплекс оснащается азотной или электромеханической системой охлаждения детектора.

В комплект поставки может быть включена свинцовая защита толщиной 50мм или 100мм, устройство для заливки жидкого азота и т.д.



Рис.2

Основные технические характеристики

- Диапазон энергий регистрируемого излучения от 50 кэВ до 3000 кэВ;
- Энергетическое разрешение по энергии 1332,5 кэВ от 1,7 до 2,4 кэВ;
- Интегральная нелинейность характеристики преобразования не более $\pm 0,05\%$;
- Максимальная входная статистическая нагрузка не более 10^5 имп/с (до $2 \cdot 10^5$ имп/с при использовании формирователя импульсов DL-1);
- Нестабильность характеристики преобразования комплекса за 24 часа непрерывной работы не более $\pm 0,02\%$;
- Комплекс поддерживает до 8к каналов емкостью $2^{24}-1$ имп/канал;
- Предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования в геометрии измерений точечного счетного образца не более $\pm 10\%$.

2. Комплекс спектрометрический СКС-07П_Г37...48

Комплекс спектрометрический с СКС-07П_Г37 по СКС-07П_Г48 (рис.3) представляет собой измерительное устройство, в состав которого входят:

- измерительный тракт со сцинтилляционным блоком детектирования гамма-излучения;
- процессор импульсных сигналов SBS-79, установленный в персональный компьютер (для работы при высоких нагрузках процессор может быть оснащен DL-формирователем импульсов);
- специализированное программное обеспечение «Scint Basic»;
- свинцовая защита;
- эксплуатационная документация.



Рис.3

Основные технические характеристики

- Диапазон энергий регистрируемого излучения от 50 кэВ до 3000 кэВ;
- Энергетическое разрешение по энергии 661,5 кэВ – от 6 до 10,5 %;
- Максимальная входная статистическая нагрузка не более $2 \cdot 10^6$ имп/с (до $5 \cdot 10^6$ имп/с при использовании DL-формирователя импульсов);
- Нестабильность характеристики преобразования комплекса за 24 часа непрерывной работы не более $\pm 2\%$;
- Комплекс поддерживает 2048 каналов емкостью $2^{24}-1$ имп/канал;
- Интегральная нелинейность характеристики преобразования не более $\pm 1\%$;
- Предел допустимой основной относительной погрешности измерения активности в геометрии счетного образца не более $\pm 25\%$.

3. «Паспортизаторы РАО» - специализированные комплексы спектрометрические СКС-07П-Г

Использование мобильных и стационарных спектрометрических комплексов СКС-07П-Г реализовано при решении задачи контроля РАО на предприятиях Росатома.

Мобильный спектрометрический паспортизатор протяженных источников гамма-излучения (см. рис.4) позволяет проводить измерения активности и нуклидного состава гамма-излучающих источников любых геометрий и размеров (куб, цилиндр, сфера, плоскость) с учетом поправки на негомогенность распределения радионуклидов, а также

позволяет определять распределение активности непосредственно по измеряемой геометрии образца, используя математическое моделирование методом Монте-Карло.

Мобильный спектрометрический паспортизатор комплектуется различными транспортными телегами (ТТ-01 или ТТ-02), измерительным трактом с блоком детектирования на основе особо чистого германия, процессором импульсных сигналов SBS-75, установленным в защищенный мобильный компьютер, специализированное программное обеспечение «Gamma Pro», лазерным дальномером, веб-камерой, МВИ, эксплуатационной документацией.



Рис.4

Стационарные «Паспортизаторы РАО» - комплекс спектрометрический (рис.5), предназначенный для измерения активности счетных образцов по гамма- излучению в геометрии 200 литровой бочки или контейнера с жидкими или твердыми радиоактивными отходами.



Рис.5

«Паспортизатор РАО» представляет собой измерительное устройство в состав которого входят:

- измерительный тракт с соответствующим блоком детектирования (детектором на основе кристалла из особо чистого германия или сцинтилляционным детектором (один или три см. рис.6));
- процессор импульсных сигналов SBS-75, установленный в персональный компьютер;
- программное обеспечение «Гамма Про»;
- электромеханическое устройство взвешивания и вращения СВВ-01 (см. рис.7);
- свинцовая защитная камера;
- МВИ;
- эксплуатационная документация.



Рис.6



Рис.7

Автоматическая система взвешивания и вращения (СВВ-01) предназначена для определения массы исследуемого контейнера с отходами и его равномерного вращения с заданной скоростью при регистрации энергетического распределения гамма-излучения радиоактивных отходов (РАО).

Система предназначена для работы, как самостоятельное изделие, так и комплектующее устройство в составе паспортизатора РАО, созданного на основе гамма-спектрометрического комплекса типа СКС.

Основное функциональное назначение СВВ-01 – это:

- технологический контроль массы контейнера с РАО (до 600 кг) и передача результата оператору системы;
- оптимальное геометрическое позиционирование блоков детектирования, входящих в состав гамма-спектрометрического комплекса, относительно контейнера с РАО;
- равномерное вращение платформы с расположенным на ней контейнером с РАО.

4. Комплекс спектрометрический регистрации альфа, бета излучения жидкосцинтилляционный СКС-07П-Б11

Жидкосцинтилляционный спектрометрический комплекс СКС-07П-Б11 предназначен для выполнения измерений объемной активности альфа, бета- излучающих радионуклидов (например ^3H , ^{14}C , ^{32}P , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{238}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu и др. см. таблицу 1) и их смесей (до шести радионуклидов) в счётных образцах, изготовленных из водных проб в предположении известного состава альфа, бета- излучающих радионуклидов, обработки результатов измерения, хранения и вывода информации.

Таблица 1. Перечень радиоактивных радионуклидов, по которым возможна градуировка жидкосцинтилляционного спектрометрического комплекса СКС-07П-Б11

^3H	^{45}Ca	^{85}Sr	$^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$	$^{144}\text{Ce}+^{144}\text{Pr}$	^{210}Po	$^{232}\text{Th}+^{228}\text{Th}$	^{237}Pu	$^{243}\text{Am}+^{239}\text{Np}$
^{14}C	^{54}Mn	^{88}Y	$^{125}\text{Sb}+^{125}\text{Te}$	^{147}Pm	$^{222}\text{Rn}+\text{daught}$	^{232}U	^{238}Pu	^{244}Cm
^{22}Na	^{55}Fe	^{88}Sr	^{125}I	^{147}Sm	$^{224}\text{Ra}+\text{daught}$	^{233}U	^{239}Pu	...
^{32}P	^{57}Co	^{90}Sr	^{131}I	^{148}Gd	^{226}Ra	^{234}U	^{241}Pu	
^{33}P	^{60}Co	^{90}Y	^{133}Ba	^{152}Eu	$^{226}\text{Ra}+\text{daught}$	^{235}U	^{242}Pu	
^{35}S	^{63}Ni	^{95}Tc	^{134}Cs	^{154}Eu	$^{228}\text{Ra}+^{228}\text{Ac}$	^{236}U	$^{237}\text{Np}+^{233}\text{Pa}$	
^{36}Cl	^{65}Zn	^{99}Tc	^{137}Cs	^{210}Pb	^{230}Th	^{238}U	^{241}Am	
^{40}K	^{85}Kr	$^{102}\text{Pd}+^{103\text{m}}\text{Rh}$	^{143}Pm	^{210}Bi	$^{232}\text{Th}+\text{daught}$	^{236}Pu	^{243}Am	

Жидкосцинтилляционный спектрометрический комплекс СКС-07П-Б11 представляет собой измерительное устройство следующего состава (см. рис 8):

- устройство детектирования УДБТ-003, предназначенное для регистрации альфа, бета- излучающих радионуклидов в счетных образцах;
- процессор импульсных сигналов SBS-75, установленный в персональный компьютер;
- специализированное программное обеспечение «Liquid Master»;
- МВИ;
- радиоактивный источник ^{137}Cs из состава ОСГИ с активностью менее МЗА.
- измерительные кюветы объемом 20 мл – 1000 шт.

Вспомогательное оборудование и материалы:

- Жидкий сцинтиллятор марки “Ultima Gold AB” или аналогичный.
- Эмульгатор марки «Triton X-100» или аналогичный.
- Микропипетки переменного объема 0,005-0,05 мл; 0,02-0,2 мл; 0,2-1 мл и 1-5 мл с погрешностью $\pm 0,5\%$ или аналогичные.

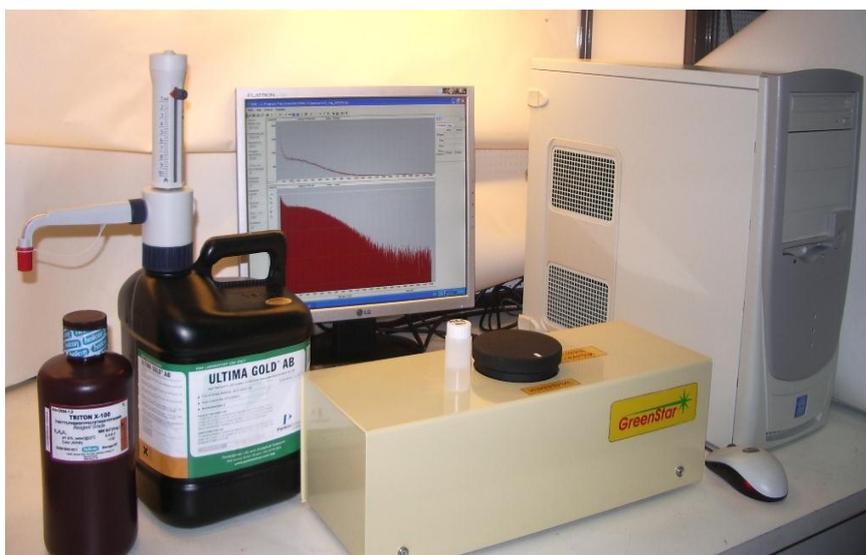


Рис.8

Основные технические данные и характеристики комплекса приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Наименование	Значение
Энергетическое разрешение, %	от 10 до 18
Эффективность регистрации бета-излучающих радионуклидов, %	
- ^3H ;	≥ 38 ;
- ^{14}C ;	≥ 98 ;
- $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	≥ 99
Интегральная нелинейность (предел допускаемой основной погрешности), %	$\pm 10,0$
Максимальная статистическая нагрузка, с^{-1}	10^4
Диапазон измерения активности, Бк	от 0,04 до $2 \cdot 10^4$
Расширенная неопределенность измерения активностей радионуклидов в счетных образцах, находящихся в измерительных кюветах объемом 20 мл для смеси не более шести радионуклидов, %	50 при $P=0,95$

5. Анализатор состава вещества рентгенфлюорисцентный «РеСТАР»

Анализатор состава вещества рентгенфлюорисцентный «РеСТАР» предназначен для измерения интенсивностей аналитических линий химических элементов и путем их пересчета, экспрессного определения массовой концентрации элементов содержащихся в анализируемом образце (пробе).

Образцы могут быть жидкими или твердыми (в виде порошков, пленок, аэрозольных фильтров и т.п.).

Анализатор «РеСТАР» (см. рисунок 9) объединяет измерительный блок (комплект рентгеновского излучателя «КАРИ-50» и блок детектирования излучения) и процессор импульсных сигналов SBS-77, передающие информацию в ПК.

Управление анализатором производится с использованием специализированного программного обеспечения анализа рентгенфлуоресцентных спектров «XRF_Pro».

Анализатор изготавливается в климатическом исполнении УХЛ по ГОСТ 15150 «О» четвертая категория размещения и предназначен для работы в температурном диапазоне от + 1 до + 45 °С.

Технические характеристики

1. Анализаторы обеспечивают определение массовой концентрации элементов от Al(13) до Pu(94).
2. Пределы допускаемой основной относительной погрешности определения концентрации (в зависимости от номера элемента, матрицы пробы и методики анализа в диапазоне концентраций от 10^{-2} до 100 %, не более $\pm 20\%$).
3. Основная аппаратная погрешность при измерении скорости счета после 30 минут прогрева не превышает 3 %.
4. Спектральное (энергетическое) разрешение по линии $K\alpha$ Mn (5,9 кэВ) не более 180 эВ при выходной загрузке не более 1000 имп/с.
5. Контрастность анализатора на аналитической линии Cu ($K\alpha$) не менее 200.
6. Питание осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц $\pm 2\%$ номинальным напряжением $220_{-15\%}^{+10\%}$ В, при этом потребляемая мощность при номинальном значении напряжения питания не превышает 1500 Вт.
7. Максимальный режим работы комплекта рентгеновского излучателя «КАРИ-50», входящего в состав анализатора не превышает:
 - мощность 100 Вт;
 - напряжение на аноде 50 кВ.

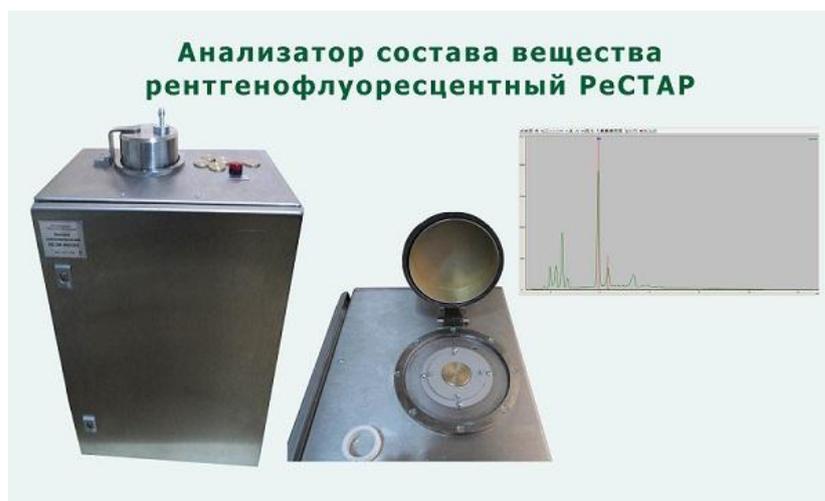


Рис.9

6. Комплекс спектрометрический СКС-08П "Колибри"

Комплекс спектрометрический СКС-08П "Колибри" (см. рис. 10) предназначен для измерения альфа, бета, гамма-излучения радиоактивных образцов, автоматизированной обработки результатов измерения, хранения и вывода информации в удобном виде.

Комплекс спектрометрический СКС-08П "Колибри" представляет собой измерительное устройство - процессор импульсных сигналов "Колибри" со сменными блоками детектирования излучения (БД) (см. таблицу 3 и 4), персональный компьютер, программное обеспечение, коллиматор, защиту и комплект контрольных источников.



Рис. 10

Таблица 3 - Перечень БД детектирования, используемых для регистрации альфа-излучения

Обозначение	Тип БД (УД)	Вид детектора	Параметры БД (УД)	
			Размеры сцинтиллятора (Ø, толщина) мм	Энергетическое разрешение на энергии 5,5 МэВ, кэВ
A1	БДЭА-17-1	Сцинтилляционный	CsI 40x0,5	10
A2	БДЭА-17-2	То же	ZnAgS 40x0,1	-
A3	БДЭА-20-1	- " -	CsI 75x0,5	30
A4	БДЭА-20-2	- " -	ZnAgS 75x0,1	-

Таблица 4. Перечень полупроводниковых БД, используемых для регистрации гамма-излучения

Обозначение	Тип БД (УД)	Вид детектора	Параметры детектора	
			Эффективность регистрации, %	Энергетическое разрешение на энергии 1,33 МэВ, кэВ
Г49	CZT/500S	ППД на основе CdZnTe	Объем кристалла, см ³	на энергии 662 кэВ, %
			0,5	2,5

Таблица 5 Перечень сцинтилляционных БД, используемых для регистрации гамма-излучения

Обозначение тракта	Тип БД (УД)	Вид детектора	Параметры БД (УД)	
			Размер кристалла (Ø * высота), мм	Энергетическое разрешение на энергии 662 кэВ не выше, %
Г37	БДЭГ-40(40)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	40x40	7,0
Г38	БДЭГ-40(40)Ц	Сцинтиллятор CsI(Tl)	40x40	7,0
Г39	БДЭГ-50(50)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	50x50	7,0
Г40	БДЭГ-50(50)Ц	Сцинтиллятор CsI(Tl)	50x50	7,0
Г41	БДЭГ-63(63)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	63x63	8,5
Г42	БДЭГ-25(25)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	25x25	8,5
Г43	БДЭГ-25(25)Ц	Сцинтиллятор CsI(Tl)	25x25	8,5
Г44	БДЭГ-25(10)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	25x10	8,5
Г45	БДЭГ-50(10)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	50x10	7,5
Г46	БДЭГ-75(75)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	75x75	8,5
Г47	БДЭГ-150(100)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	150x100	9
Г48	БДЭГ-150(150)Н	Сцинтиллятор NaI(Tl)	150x150	9
Г49	БДЭГ-62-3 БДЭГ-50(50)НЦ	Сцинтиллятор NaI(Tl)	50x50 с центральным отверстием	8,5
Г50	БДЭГ-63(63)НЦ	Сцинтиллятор NaI(Tl)	63x63 с центральным отверстием	9,0
Г51	БДЭГ-50(50)Б	Сцинтиллятор BGO	50x50	10,0
Г52	БДЭГ-63(63)Б	Сцинтиллятор BGO	63x63	10,0
Г53	БДЭГ-75(75)Б	Сцинтиллятор BGO	75x75	10,0
Г54	БДЭГ-75(100)Б	Сцинтиллятор BGO	75x100	10,0
Г55	БДЭГ-100(75)Б	Сцинтиллятор BGO	100x75	11,0
Г56	БДЭГ-25(25)ЛБ	Сцинтиллятор LaBr	25x25	4,0
Г57	БДЭГ-40(40)ЛБ	Сцинтиллятор LaBr	38x38	4,0
Г58	БДЭГ-50(50)ЛБ	Сцинтиллятор LaBr	51x51	4,0
Г59	БДЭГ-75(75)ЛБ	Сцинтиллятор LaBr	76x76	4,0

Возможна поставка иных моделей блоков детектирования, имеющих технические характеристики, аналогичные приведенным в таблицах.

7. WEB-СПЕКТРОМЕТР с технологией подключения к сети Ethernet

WEB-спектрометр предназначен для создания распределенных или локальных информационных сетей в системах радиационного контроля.

WEB-спектрометр (см. рис.11 без внешнего корпуса) имеет в составе цифровой сигнальный процессор, высоковольтный и низковольтный источник питания, предварительный усилитель и интерфейсный модуль, внутреннюю спектрометрическую программу в операционной системе UNIX и подключается к сети Ethernet посредством "прямого" IP-подключения (см. рис.12) или через внешний USB/Mini USB/RS порт.

WEB-спектрометр предназначен для работы с детекторами невысокого разрешения: сцинтилляционными, газонаполненными и полупроводниковыми, Si p-i-n, CdTe, CdZnTe, HgI2 и т.д.

WEB-спектрометр может использоваться для получения спектрометрической информации в технологических процессах, в распределенных сетях мониторинга радиационной обстановки и в лабораторных условиях. Спектрометр может работать автономно, с накоплением спектров во внутренней памяти, на внешнем USB диске или микро SD карте.

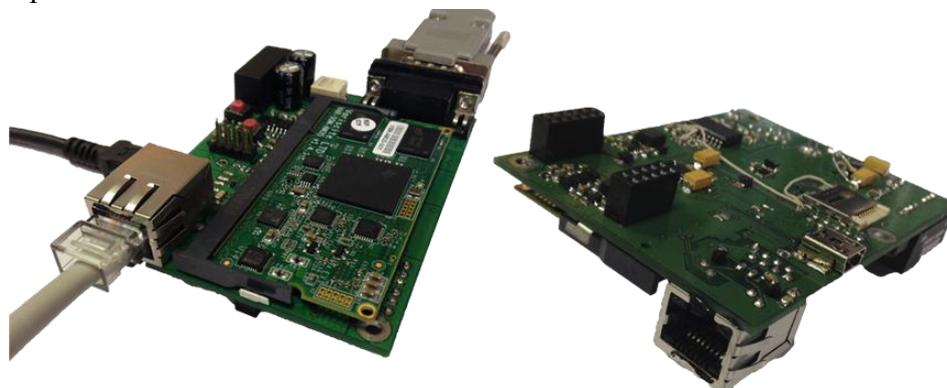


Рис. 11

Основные технические данные и характеристики спектрометра:

- Энергетическое разрешение по линии 661,6 кэВ изотопа Cs-137, от 3,5 до 10,5 % (в зависимости от размеров и типа монокристалла: CsJ(Tl), CsJ(Na), CdWO₄, YAlO₃(Ce), BGO, LYSO, BaF₂, LaBr₃(Ce) ...).
- Диапазон энергий регистрируемого излучения от 30 кэВ до 3000 кэВ;
- Максимальная входная статистическая нагрузка не более $1 \cdot 10^6$ имп/с;
- Нестабильность характеристики преобразования комплекса за 24 часа непрерывной работы не более $\pm 2\%$;
- Комплекс поддерживает 2048 каналов емкостью $2^{24}-1$ имп/канал;
- Интегральная нелинейность характеристики преобразования не более $\pm 1\%$;
- Предел допустимой основной относительной погрешности измерения активности в геометрии счетного образца не более $\pm 25\%$;
- Диапазон рабочих температур спектрометра от минус 20 до +40 °С;
- Диапазон предельных температур спектрометра от минус 50 до + 70 °С;
- Интерфейс передачи данных RS232, RS422, USB, ETHERNET.

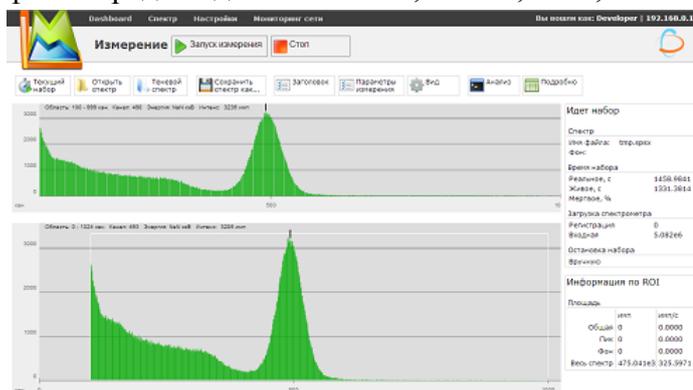


Рис. 12