

*«ЛСРМ СПОРО Стерео». Методика  
измерений произвольно  
распределённой активности  
гамма-излучающих радионуклидов  
в контейнерах*

Ю.А. Андреев, В.Н. Даниленко, Н.С. Демина, Е.А. Ковальский,  
<sup>1)</sup> И.В. Кувыкин, Ю.В. Скубо, Д.А. Суворов, С.Ю. Федоровский,  
А.Ю. Юферов (ООО «ЛСРМ», Зеленоград, <sup>1)</sup>ВНИИФТРИ п.Менделеево)



LABORATORY  
of spectrometry  
and radiometry

<http://www.lsrn.ru>  
mail: [lsrn@lsrn.ru](mailto:lsrn@lsrn.ru)  
Phone: +7 495 660-16-14  
Located in Moscow, Russia

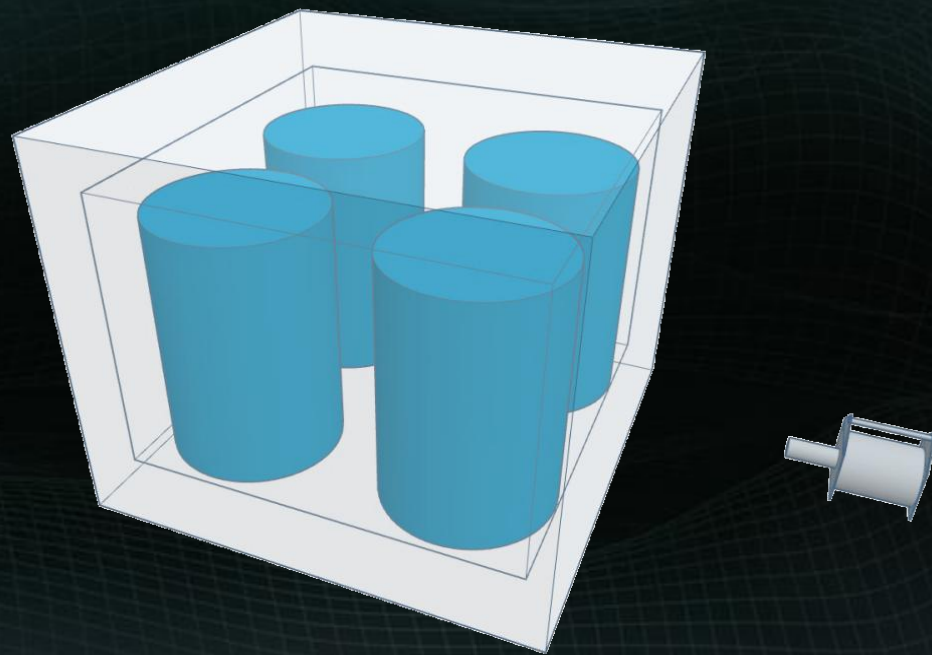
# *Основные тезисы*

- измерение контейнеров с неравномерным распределением активности;
- получение как активности всего измеряемого объекта, так и распределения активности в нем;
- проверка адекватности модели;
- архитектура ПО позволяет использовать для реализации методики измерений разнообразное аппаратное обеспечение.

# Объекты измерения

Любые объекты кубической или цилиндрической формы, такие как:

- бочка 200 литров;
- НЗК;
- НЗК, заполненный бочками;
- морской контейнер;
- мешки со строительным мусором.

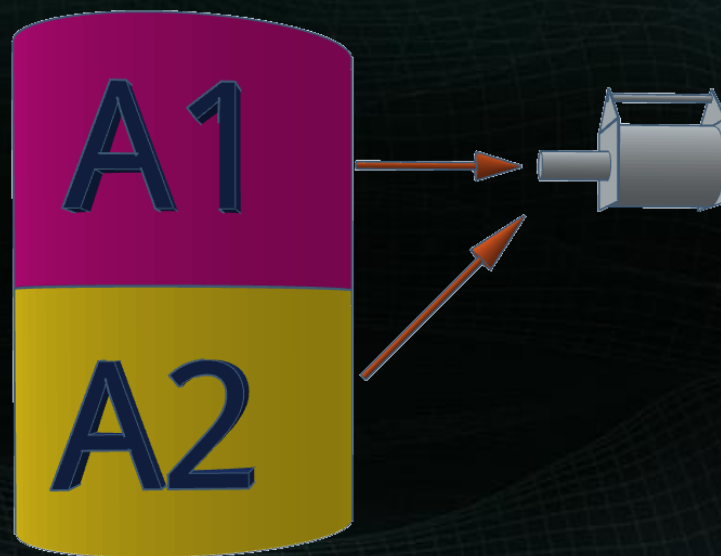
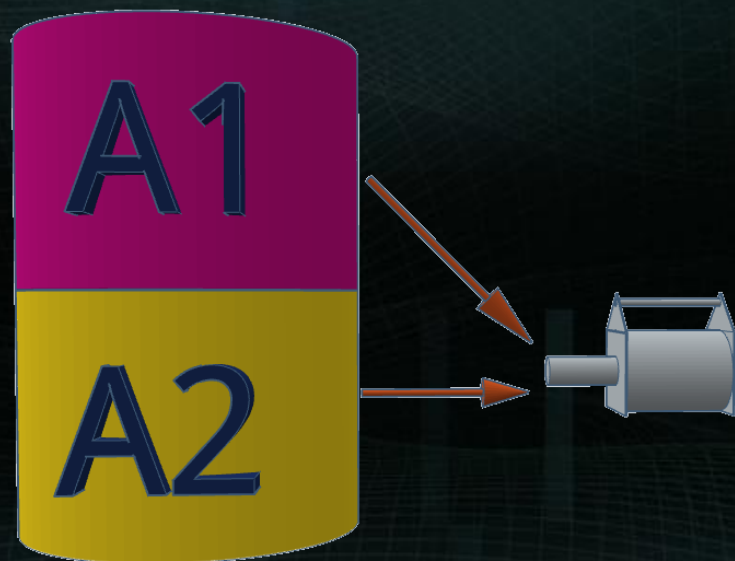


# Совместная обработка спектров

Гамма-спектрометрические измерения активности больших объектов в случае ее неоднородного распределения. В.Н.Даниленко и др. Тезисы XII Международного совещания ППСР-2011, стр. 72

$$S_1 = I \cdot (\epsilon_{11} \cdot A_1 + \epsilon_{21} \cdot A_2)$$

$$S_2 = I \cdot (\epsilon_{12} \cdot A_1 + \epsilon_{22} \cdot A_2)$$



$$\epsilon_{<} = \epsilon_{11} = \epsilon_{22}$$

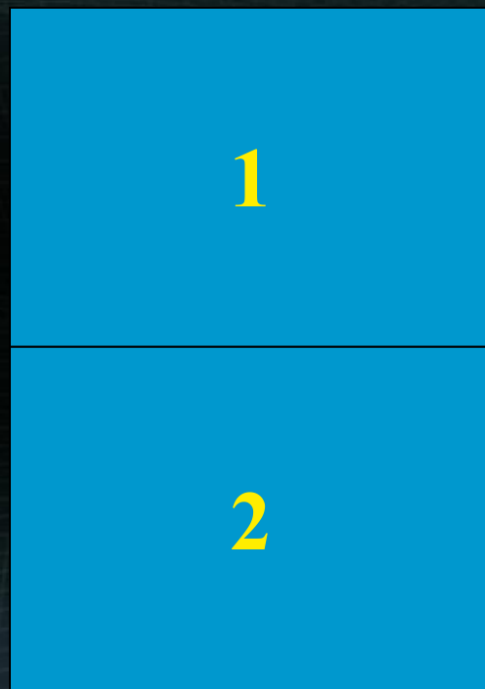
$$\epsilon_{>} = \epsilon_{12} = \epsilon_{21}$$

$$D = \epsilon_{>}^2 - \epsilon_{<}^2 \neq 0$$

## Пример схемы измерения. Бочка-200

Схема измерения бочки 200 литров при условии непрерывного вращения.  $D$  – положение детектора(ов)

Вид сбоку

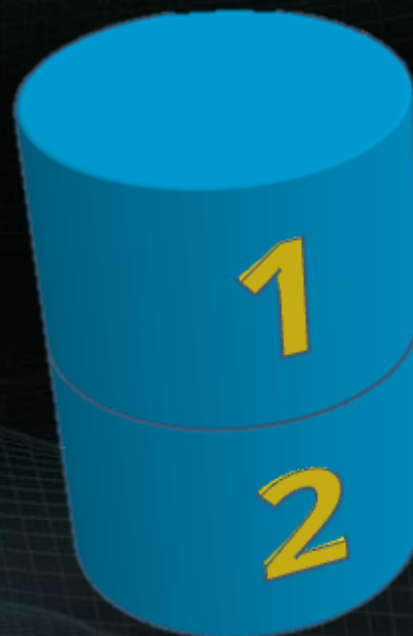


●  $D_1$

●  $D_2$

●  $D_3$

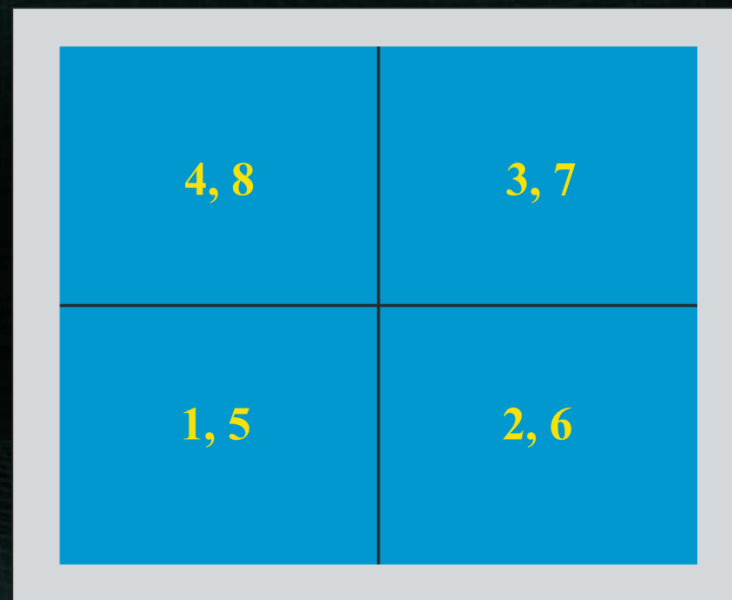
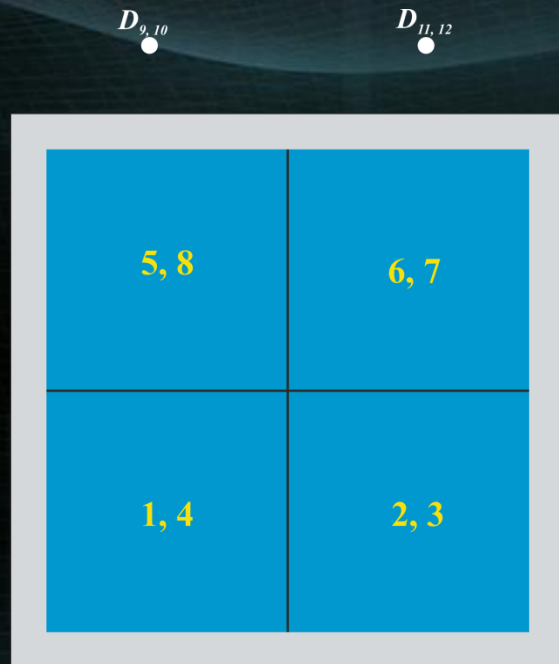
3D модель



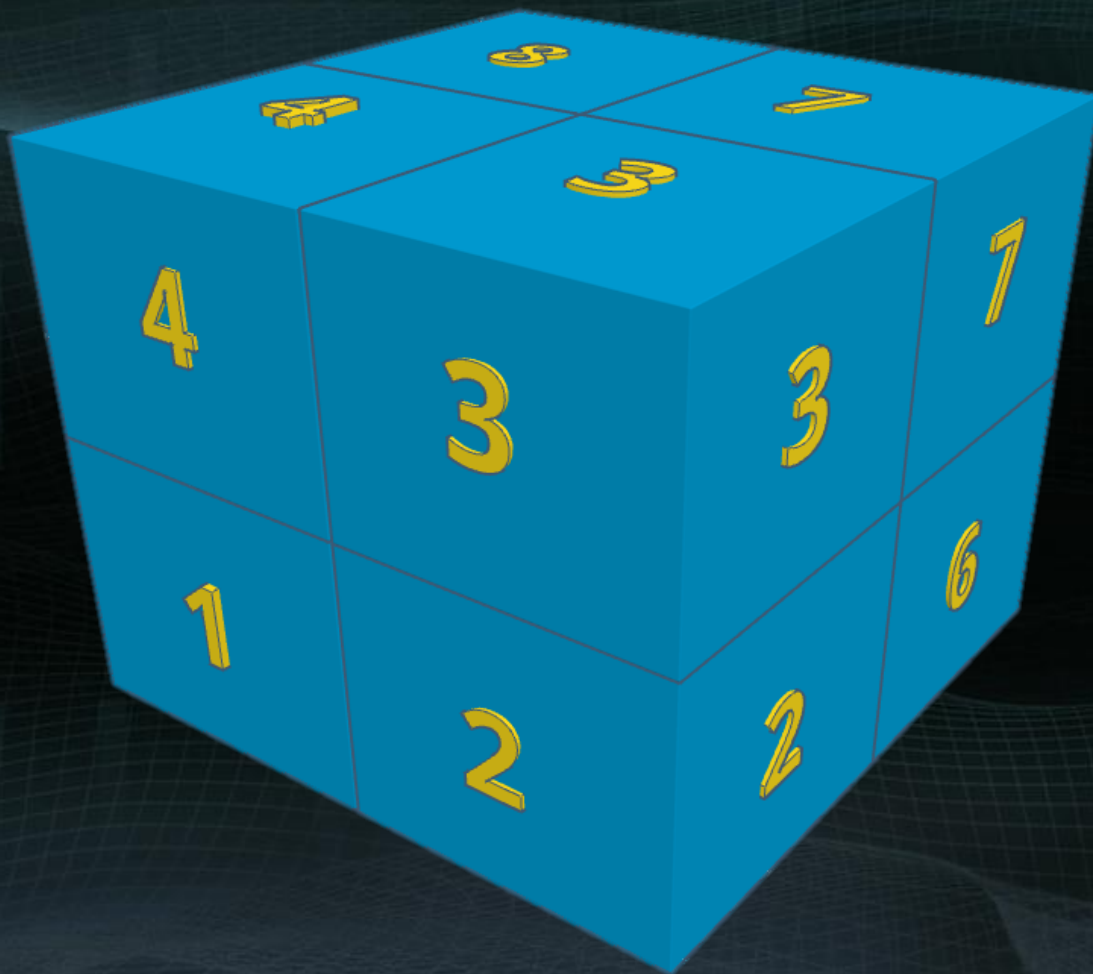
# Пример схемы измерения. НЗК

Вид сбоку

Вид сбоку



# Пример схемы измерения. НЗК, 3D-модель



# ЛСРМ СПОРО Стерео. Состав

- **EffMaker** – моделирование объектов измерения, подготовка градуировок по эффективности регистрации.
- **SpectraLineHandy (Ultimate)** – сопряжение с устройствами детектирования, накопление и обработка спектров.
- **Stereo** – расчет активности образца, измеренного из нескольких точек.
- **SPORO** – определение категории РАО.
- **Shiva** – выполнение измерений по сценарию, построенному на основе схемы измерения.



# Основные этапы проведения измерений

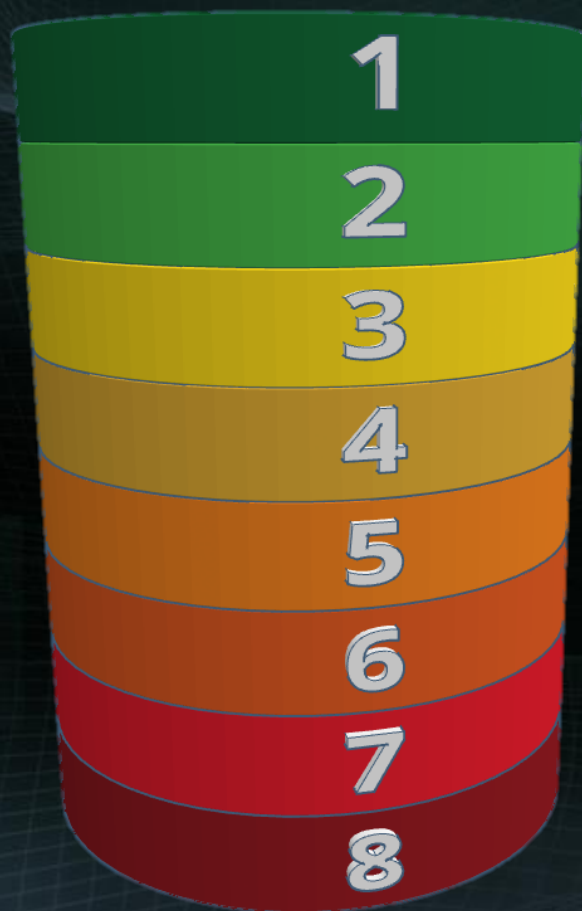
## Подготовка к выполнению измерений:

- моделирование объекта (построение модели, разбивка на подобъекты);
- выбор точек измерения;
- построение сценария измерения.

## Выполнение измерений:

- выбор подходящего сценария измерения;
- проведение измерения по сценарию.

# Объект измерения



Часть	Значение активность $^{60}\text{Co}$ , кБк
1	5
2	10
3	20
4	40
5	80
6	160
7	320
8	640
Сумма	1275

# Измерения из разных точек

Положение детектора	Активность $^{60}\text{Co}$		Отклонение, %	$\chi^2$
	Значение, кБк	Неопред., %		
1	397	1.9	68.86	0.405
2	404	1.9	68.31	1.071
3	465	2	63.53	0.003
4	497	1.8	61.02	0.1
5	594	2	53.41	0.091
6	682	1.9	46.51	0
7	794	1.9	37.73	0.001
8	895	1.8	29.8	0.082
9	1044	1.8	18.12	0.02
10	1192	1.8	6.51	5.172
11	1343	1.8	5.33	0.746
12	1474	1.7	15.61	0
13	1640	1.9	28.63	0.827
14	1830	1.7	43.53	0.774
15	1970	1.8	54.51	1.1

# Измерения из разных точек (на примере установки СКГ-02-03)

Положение детектора	Активность $^{60}\text{Co}$		Отклонение, %	$\chi^2$
	Значение, кБк	Неопред., %		
Верх	465	2	63.53	0.003
Центр	895	1.8	29.8	0.082
Низ	1640	1.9	28.63	0.827

# Моделирование объекта измерения

The image displays two windows from the EffMaker software. The main window, titled "EffMaker", shows a 3D model of a barrel-shaped object in a coordinate system. The interface includes a menu bar (Display, Object, Source, Toolbars, Additional, Help), a toolbar, and several panels:

- Objects:** A list of objects including Barrel-2, Barrel-4, Barrel-8, Barrel-1, Barrel-2(5), Barrel-2(10), Barrel-2(15), Barrel-2(20), Barrel-2(25), Barrel-2(30), Barrel-2(35), Barrel-2(40), Barrel-2(45), Barrel-2(50), Barrel-2(55), and Barrel-2(60).
- Geometry measurement:** A list of measurement points with coordinates and nuclide identifiers, such as Barrel-2: (0.0.20.0.21.3); No14.49:13.
- Source:** A table of nuclides and their activities.
- Coordinate origin:** Sliders for Z (21.2500), Y (20.0000), and X (0.0000) axes.
- Detector orientation:** A dropdown menu set to "From the side (perpendicular to XZ)" and buttons for "Rotate the detector around the object" and "Move to the coordinate origin".

The "Схема измерения" (Measurement Scheme) dialog box is open, showing configuration options:

- Идентификатор схемы:** Barrel2
- Конфигурация:** Gem30-1A
- Детектор:** LaBR38x38
- Расстояние от стенки контейнера до детектора:** 20
- Additional distance inputs: 2 and 1.
- Buttons: "Ок" (OK) and "Отмена" (Cancel).

Nuclide	Activity
Co-60_5	Bq
Co-60_10	Bq
Co-60_40	Bq
Co-60_80	Bq
Co-60_160	Bq
Co-60_320	Bq
Co-60_640	Bq
En	Bq
Co-60_20	Bq
Co-60_6	Bq
Co-60_7	Bq
Co-60_8	Bq

# Хи-квадрат функционал

$$\chi^2 = \sum_{k,i,n} (S_k^{i,n} - \sum_m B_{k,m}^{i,n} \cdot A_m^n)^2 \cdot \omega_k^{i,n} = \min$$

где

$$\omega_k^{i,n} = \frac{1}{(u^2(S_k^{i,n}) + \sum_m u^2(B_{k,m}^{i,n}) \cdot A_m^n)},$$

$$B_{k,m}^{i,n} = I^{i,n} \cdot \varepsilon_m^k(E^{i,n}),$$

$A_m^n$  – активность  $n$ -го нуклида, измеренного из  $k$ -той точки измерения,

$\varepsilon_m^k(E^{i,n})$  – эффективность от  $m$ -го подобъекта  $k$ -той точки измерения для энергий  $i$ -той линии  $n$ -го нуклида,

$I^{i,n}$  – интенсивность,  $i$  – интенсивность линии  $n$ -го нуклида,

$S_k^{i,n}$  – площадь  $i$ -го пика  $n$ -го нуклида в  $k$ -той точки измерения,

$n$  – число анализируемых радионуклидов,

$i$  – число линий, анализируемого радионуклида,

$k$  – число точек измерения,

$m$  – число подобъектов.

# Схема 2 части – 3 точки

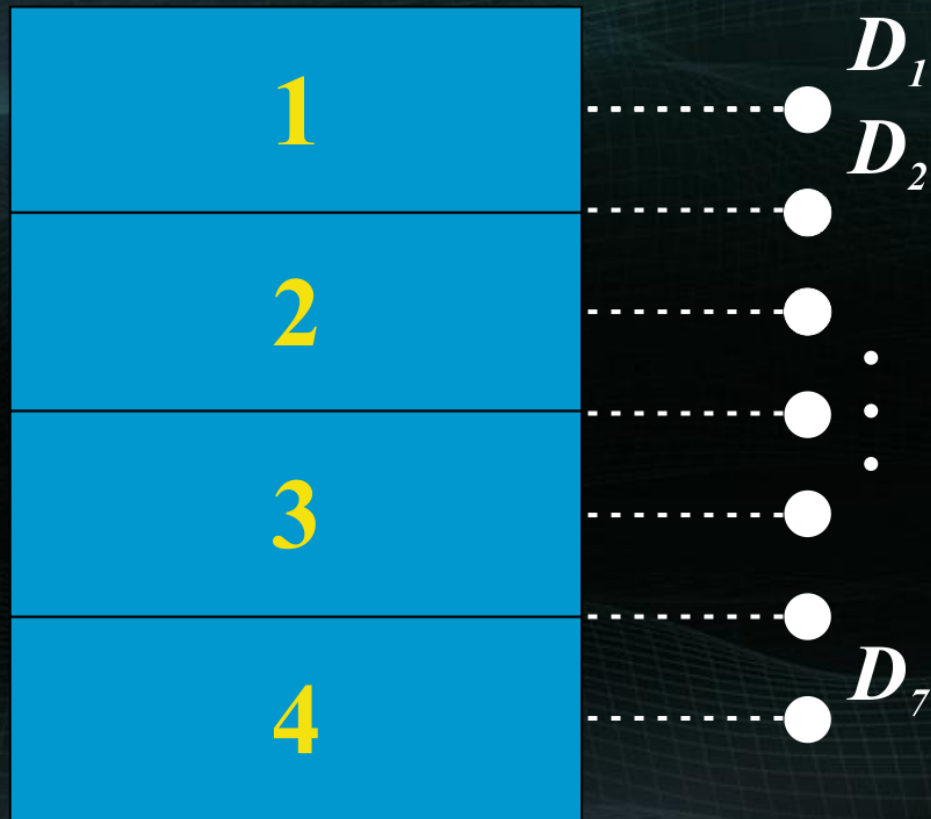


# Схема «2 части – 3 точки» (результаты)

Часть	Активность				χ <sup>2</sup>
	По частям		Суммарная		
	Значение, кБк	Неопред., %	Значение, кБк	Неопред., %	
1	< 95	-	1090	2.5	2.529
2	1160	3			



# Схема 4 части – 7 точки



# Схема «4 части – 7 точек» (результаты)

Часть	Активность				$\chi^2$
	По частям		Суммарная		
	Значение, кБк	Неопред., %	Значение, кБк	Неопред., %	
1	< 31	-	1213	1.2	0.749
2	< 130	-			
3	230	30			
4	910	6			

# Выполнение измерений

- выбор подходящего сценария измерения (ранее подготовленная схема);
- проведение измерения по сценарию;
- получение результатов (активность, протокол измерения).

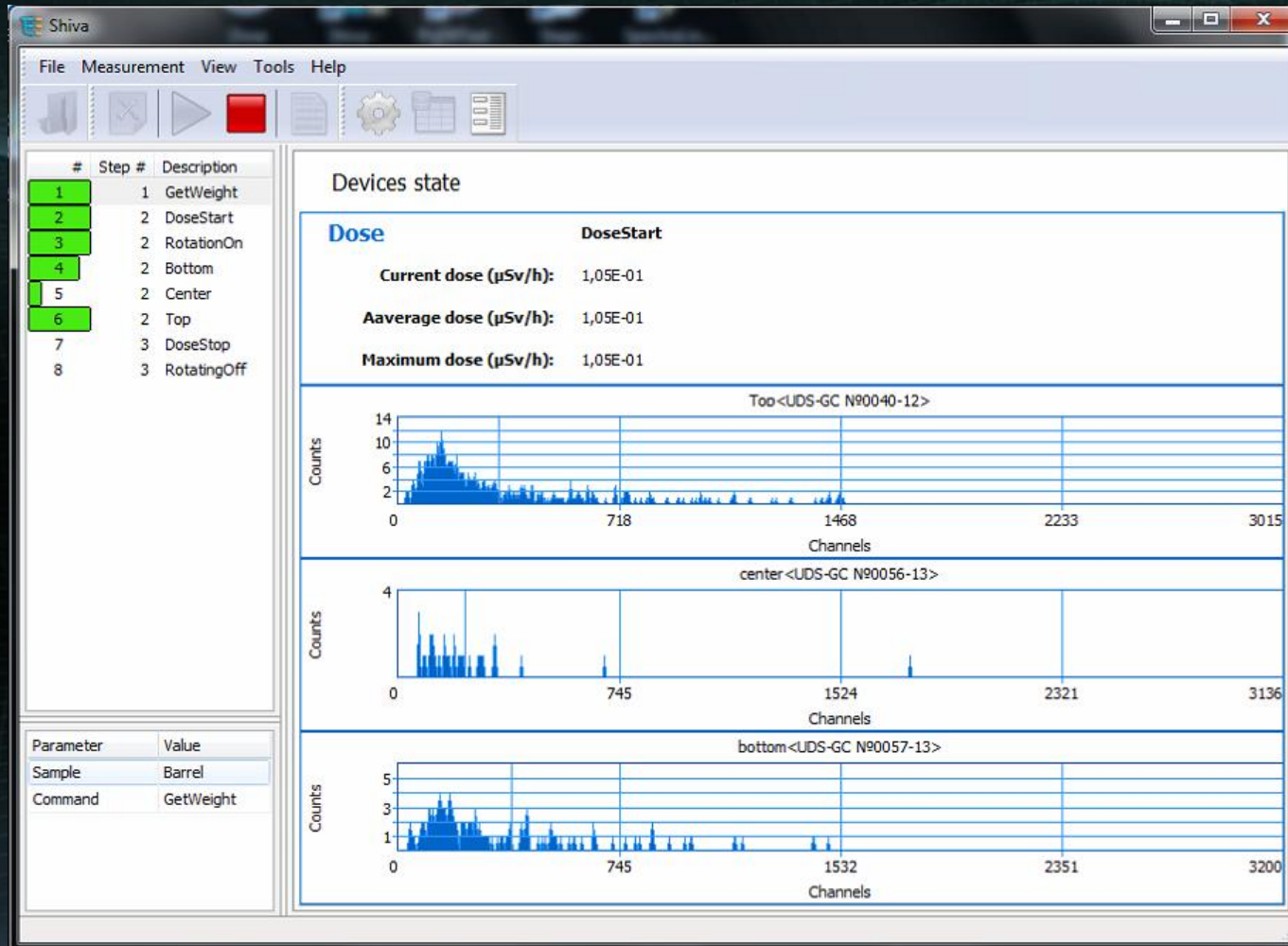
# Подключаемые типы устройств

- весы;
- поворотная платформа;
- поворотная платформа с фиксированным углом поворота;
- позиционер;
- дозовый датчик.

# Подключение устройств. Архитектура



# Интерфейс главного окна Shiva. Опрос дозового датчика и 3-х МСА



# Интерфейс главного окна Shiva. Результаты расчета активности

The screenshot displays the Shiva software interface. The main window is titled "Shiva" and contains a menu bar (File, Measurement, View, Tools, Help) and a toolbar with various icons. The "Activity info" section shows a "Waste category" field, "Activity units" set to "kBq", and a "Report" button. A table lists activity data for a barrel and its four parts.

Part/Nuclide	Activity, Bq	Activity uncert., Bq	Specific activity (A+...)
Barrel			
Co-60	780000	12000	6.64
1 Co-60	< 30000		< 0.25
2 Co-60	< 70000		< 0.6
3 Co-60	< 70000		< 0.6
4 Co-60	780000	40000	6.8

To the right of the table is a 3D model of a barrel with a blue base, overlaid with a measurement geometry diagram showing a central axis and four diverging lines (two green, two red) representing the detector's field of view.

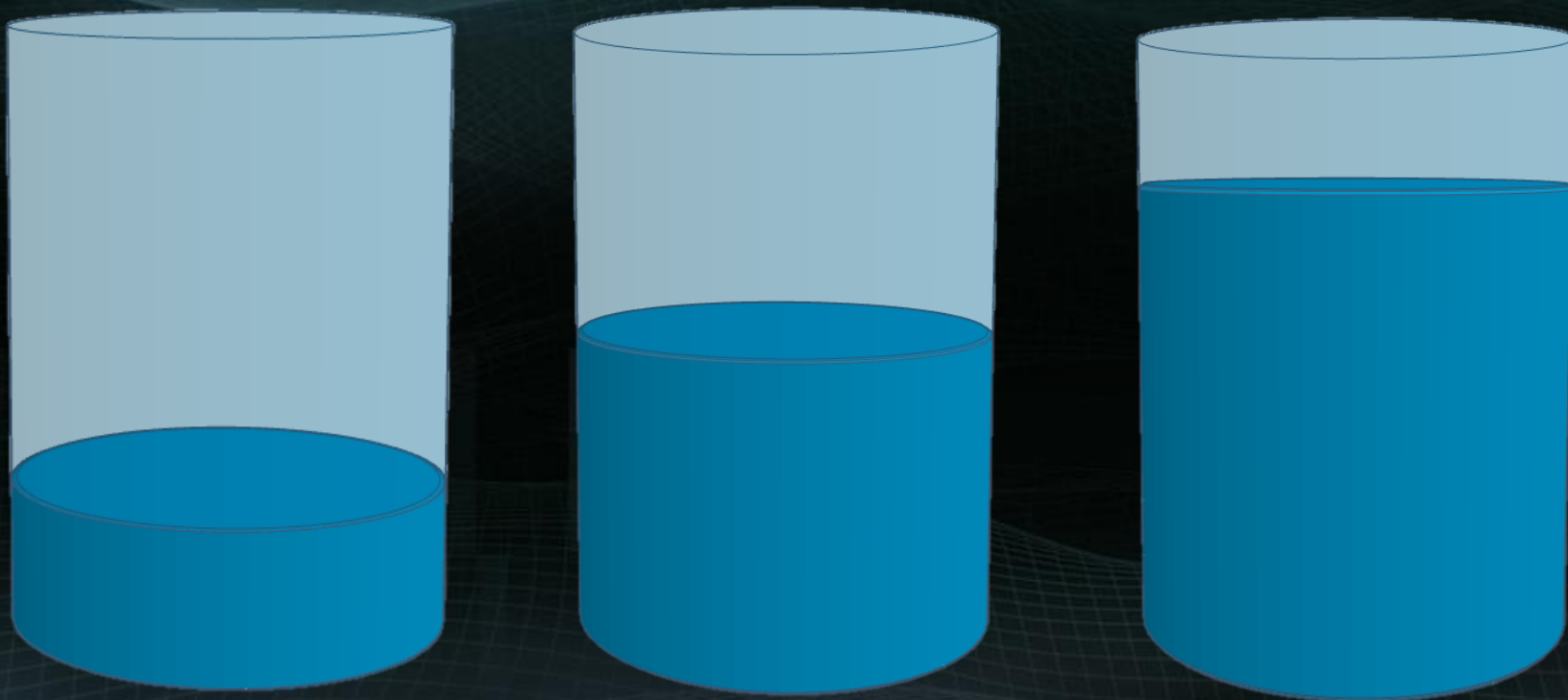
Below the table is a "Requisite" table:

Requisite	Value
<b>Физическая природа и состав РАО</b>	
Номер сертификата соответствия на контейнер	
Срок действия сертификата с	

At the bottom of the window is a log window showing the following entries:

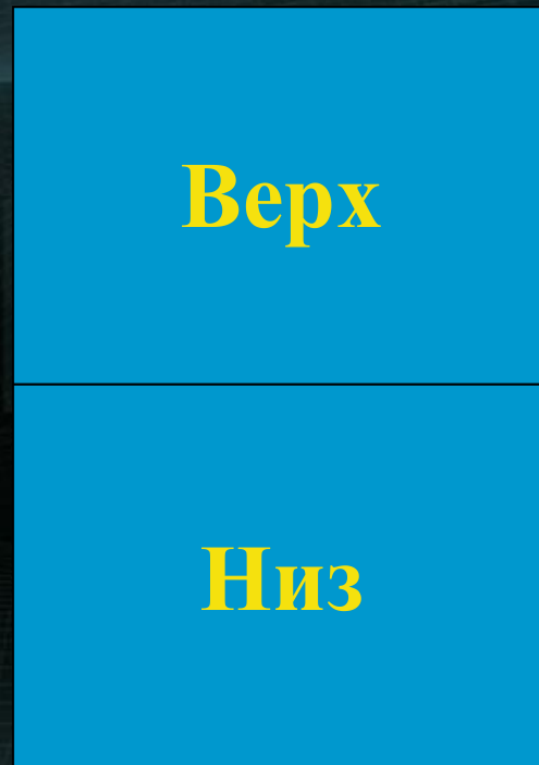
- 03.10.17 13:21:54.773 [Open measurement scenario](#)
- 03.10.17 13:21:54.775 Load measurement scenario from file: "C:\Lsr\Shiva\Data\Barrel-3part\очка-3(3scenario).msm"
- 03.10.17 13:21:54.789 Success
- 03.10.17 13:21:54.789 Selected scenario: "очка-Этракта(М)"
- 03.10.17 13:21:54.865 [Get requisites from DB](#)

# Определение активности при неизвестном уровне заполнения контейнера





# Определение активности и уровня заполнения



●  $D_1$

●  $D_2$

●  $D_3$

# Определение высоты заполнения контейнера

Высота			Эффективности для разных уровней заполнения							
			10	20	30	40	50	60	70	80
10	Активность	Значение, Бк	161	196	210	222	220	219	220	230
		Неопределенность, %	0.9	1.6	2.2	1.4	2.7	4	30	50
	Хи-квадрат		0.883	1.932	1.971	1.138	1.992	3.084	52.034	44.799
20	Активность	Значение, Бк	129.8	158.5	170	178	176.3	174.5	180	180
		Неопределенность, %	1.9	1.1	5	4	1.5	1.5	18	40
	Хи-квадрат		2.121	0.516	4.451	2.989	0.752	0.979	26.979	28.612
50	Активность	Значение, Бк	117.7	143.2	154	162	157.9	159	160	160
		Неопределенность, %	1.1	1.3	3	2.1	1.3	2.9	29	50
	Хи-квадрат		1.28	1.282	2.732	1.66	0.145	2.15	42.766	40.313
70	Активность	Значение, Бк	120	151	160	170	160	159	161.8	164
		Неопределенность, %	30	15	40	40	19	11	0.8	5
	Хи-квадрат		35.958	14.483	32.778	27.878	13.564	8.046	0.484	3.85
80	Активность	Значение, Бк	120	150	160	160	150	150	156	158.8
		Неопределенность, %	60	30	60	60	40	22	6	1.4
	Хи-квадрат		61.882	31.489	51.695	44.353	36.023	17.36	8.862	0.436

# Выводы

- Разработана и оформлена МВИ, на данный момент находится на финальной стадии согласования.
- Модернизировано существующее программное обеспечение:
  - автоматическая генерация схем измерения;
  - пакетный расчет эффективностей;
  - БД хранения измеренных образцов.
- Разработано новое программное обеспечение:
  - измерение по сценарию;
  - поддержка различных типов оборудования;
  - гибкая система подключения приборов.

*Спасибо за внимание!*

# ЛСРМ СПОРО Стерео. Основные понятия

- **Точка измерения** – положение детектора относительно объекта измерения. Характеризуется названием и стороной измерения.
- **Схема измерения** – набор точек измерения.
- **Шаг измерения** – одной из действий: непосредственный набор спектра из определенной точки измерения или выполнение подготовительных операций (измерение массы контейнера, установка фильтров, поворот контейнера и т.п.).
- **Сценарий измерения (сценарий)** – последовательность шагов, которые необходимо выполнить для измерения объекта.
- **Стереоизмерения** – измерения объекта (контейнера), выполненные по схеме измерения. Характеризуется набором точек измерения.

# Выполнение измерения по сценарию

- Выбор сценария измерения (сценарий измерения пишется под каждый конкретный объект и измерительную установку);
- Ввод реквизитов образца (поддержка гибкой базы реквизитов);
- Запуск измерения;
- Интерактивное выполнение всех шагов сценария;
- Автоматический расчет активности;
- Автоматическое сохранение образца в БД SpectraLine.

# Команды

Устройство	Команды
Весы	<ul style="list-style-type: none"><li>• Получить массу</li></ul>
Дозовый датчик	<ul style="list-style-type: none"><li>• Включить</li><li>• Включить на определенное время</li><li>• Выключить</li><li>• Получить значение дозы</li></ul>
Поворотная платформа	<ul style="list-style-type: none"><li>• Включить</li><li>• Выключить</li></ul>
Поворотная платформа с фиксированным углом поворота	<ul style="list-style-type: none"><li>• Повернуть на 0°</li><li>• Повернуть на 90°</li><li>• Повернуть на 180°</li><li>• Повернуть на 270°</li></ul>
Рамка позиционирования	<ul style="list-style-type: none"><li>• Установить в положение «Измерение»</li><li>• Установить в положение «Фильтр»</li><li>• Установить в положение «Калибровка»</li></ul>