



ЛАБОРАТОРИЯ  
СПЕКТРОМЕТРИИ  
И РАДИОМЕТРИИ

**Тема:**

**«Разработка электронного тренажера-эмулятора для отработки практических вопросов применения спектрометров СКС-50М и Гамма-1С/НВ1»**

**Итоговый отчет**

Россия, 141570, Московская обл., Солнечногорский район,  
п. Менделеево, Льяловское шоссе, д. 1а, ООО "ЛСРМ"  
тел./факс: +7 (495) 660-16-14  
<http://www.lsrn.ru> E-mail: [lsrm@lsrm.ru](mailto:lsrm@lsrm.ru)

2007 г.

## Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Общее описание состава тренажера</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Содержание разделов тренажера для спектрометра СКС-50М</b> .....	<b>7</b>
3.1	Лабораторная работа «Подготовка СКС-50М к работе» .....	7
3.1.1	Заливка азота. Подключение аппаратуры. Включение спектрометра .	7
3.1.2	Калибровка по энергии .....	8
3.1.3	Калибровка по разрешению и нелинейности.....	9
3.1.4	Измерение фона .....	9
3.2	Лабораторная работа «Измерение гамма-спектров».....	11
3.2.1	Получение спектра Co-57 от открытого источника и источника в контейнере .....	11
3.2.2	Получение спектра от равновесного Th-232 (возраст 50 лет) и неравновесного (возраст 1 год).....	13
3.3	Лабораторная работа «Определение изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров» .....	14
3.3.1	Определение активности Th-232 (A:1 кБк) .....	15
3.3.2	Определение активности Cs-137+Co-60 (A:20 МБк).....	15
3.4	Лабораторная работа «Контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах» .....	16
3.4.1	Контроль активности декларированного Ir-192 (A:1Ки) в КИЗ-0.5 .....	16
3.4.2	Определение активности неизвестного источника в неизвестном контейнере (Eu-152 A:10 МБк в КТ1-35).....	17
3.4.3	Определение активности Eu-152 (A:100 кБк) в КТ1-5, КТ1-10, КТ1-20, КИЗ-29	18
3.4.4	Контроль активности Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10 .....	20
3.4.5	Контроль активности Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10 .....	20
3.5	Лабораторная работа «Контроль степени обогащения урана» .....	21
3.5.1	Гексафторид урана в ТУК-48G (калибровка по степени обогащения)	22
3.5.2	Гексафторид урана в ТУК-48G .....	22
3.5.3	Гексафторид урана в ТУК-30 (Калибровка по степени обогащения)	24
3.5.4	Гексафторид урана в ТУК-30.....	24
3.6	Лабораторная работа «Определение изотопного состава плутония» .....	26
3.6.1	Определение изотопного состава по области 120-210 кэВ .....	27
3.6.2	Определение изотопного состава по области 630-670 кэВ .....	27
	<b>Содержание разделов тренажера для спектрометра Гамма-1С\NB1</b> .....	<b>28</b>
3.7	Подготовка Гамма-1С\NB1 к работе .....	28
3.7.1	Подключение аппаратуры. Включение спектрометра .....	28
3.7.2	Калибровка по энергии .....	29
3.7.3	Калибровка по разрешению и нелинейности.....	30
3.7.4	Измерение фона .....	31
3.8	Измерение гамма-спектров .....	33
3.8.1	Получение спектра Co-57 от открытого источника и источника в контейнере .....	33
3.8.2	Получение спектров Th-232 равновесного (возраст 50 лет) и неравновесного (возраст 1 год).....	34
3.9	Определение изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров.....	35
3.9.1	Измерение низкоактивных источников Th-232 (A:1 кБк) .....	35

3.9.2	Измерение высокоактивных источников Cs-137+Co-60 (A:20 МБк) ..	36
3.10	Контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах .....	36
3.10.1	Контроль активности декларированного Ir-192 (A:1Ки) в КИЗ-0.5 .....	36
3.10.2	Контроль активности Eu-152 (A:10 МБк) в КТ1-5,КТ1-10,КТ1-20,КИЗ-29	37
3.10.3	Контроль активности Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10 .....	39
3.10.4	Контроль активности Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10 .....	40
3.11	Контроль степени обогащения урана .....	40
3.11.1	Гексафторид урана в ТУК-48G (калибровка по степени обогащения)	40
3.11.2	Гексафторид урана в ТУК-48G .....	41
3.11.3	Гексафторид урана в ТУК-30 (калибровка по степени обогащения)..	43
3.11.4	Гексафторид урана в ТУК-30.....	43
<b>4</b>	<b>Модуль для эмуляции действий спектрометриста OperatorEmulator.</b>	
	<b>Основные возможности.....</b>	<b>44</b>
4.1	Введение.....	44
4.2	Основные возможности программы.....	44
4.2.1	Режимы работы программы .....	44
4.2.2	Управление макетом лаборатории спектрометриста.....	45
4.2.2.1	Управление рабочим столом .....	45
4.2.2.2	Управление источниками .....	47
4.2.2.3	Управление детектором .....	50
4.2.2.4	Управление анализатором и ноутбуком.....	52
4.2.3	Управление спектрометром .....	54
4.2.4	Запуск штатной программы.....	57
<b>5</b>	<b>Изменение наполнения тренажера.....</b>	<b>58</b>
5.1	Создание новых заданий.....	58
5.2	Создание новых шаблонов спектров .....	59
5.3	Создание новых образцов .....	61
5.3.1	Точечный источник в контейнере.....	61
5.3.2	Образцы урана в контейнере .....	62
5.3.3	Образцы плутония в контейнере .....	62
5.4	Моделирование новых детекторов .....	63
	<b>Приложение I Список рисунков .....</b>	<b>66</b>

## 1 Введение

Настоящий документ подводит итог работе по созданию тренажера-эмулятора для отработки практических вопросов применения спектрометров СКС-50М и Гамма-1С/НВ1.

В результате этой работы создан законченный программный комплекс, позволяющий проводить обучение в соответствии с задачами, сформулированными в техническом задании. Документ посвящен демонстрации работы комплекса в режиме «Оператор».

При необходимости, в случае изменения учебной программы, наполнение комплекса может быть изменено в режиме «Администратор». Описанию возможностей комплекса в этом режиме посвящен последний раздел настоящего документа.

## 2 Общее описание состава тренажера

**Тренажер** состоит из двух независимых частей:

- Тренажер для СКС-50(М);
- Тренажер для Гамма-1С/НВ1.

Процесс обучения подразумевает наличие пользователя с правами администратора (преподавателя), имеющего доступ к ресурсам для формирования разделов **Тренажера**. Остальные пользователи – операторы (обучающиеся) – выполняют поставленные задания. В соответствии с этим предусмотрено два режима работы комплекса:

1. **Режим Администратора** позволяет изменять содержание **Тренажера**.
2. **Режим Оператора** предназначен непосредственно для обучения.

На рисунке приведено основное окно **Тренажера** для выбора режима запуска (**Администратор** или **Оператор**) и спектрометрического устройства (СКС-50(М) или Гамма-1С/НВ1),



Рисунок 2-1. Основное окно **Тренажера** для выбора режима запуска

Доступ ко всем ресурсам комплекса возможен только для пользователя с правами **Администратора**, поэтому этот режим защищен паролем.

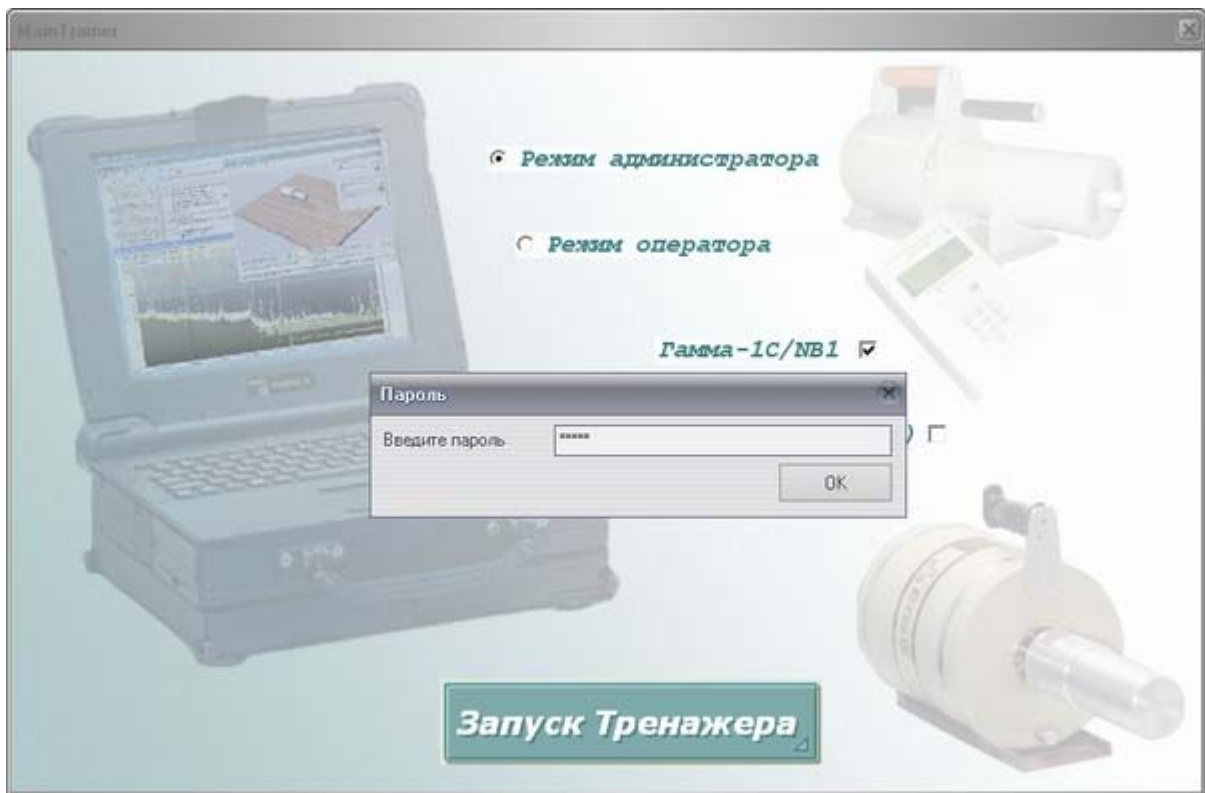


Рисунок 2-2. Окно ввода пароля в режиме **Администратор**.

Программная оболочка **WorkMaster (Задания: Подготовка и выполнение)** вызывается при запуске **Тренажера** в режиме **Администратора**. С ее помощью пользователь может

- моделировать детекторы, образцы и т.д., изменять и удалять уже существующие,
- выполнять все необходимые расчеты по формированию шаблонов спектров,
- создавать новые лабораторные задания,
- записывать и просматривать обучающие видеофильмы,
- изменять пароль для запуска комплекса в режиме **Администратор**,
- вызывать любые модули, входящие в его состав.

На рисунке представлено основное окно программы **WorkMaster** со списком практических заданий для Гамма-1С/НВ1 (слева) и параметрами одного из них (справа).

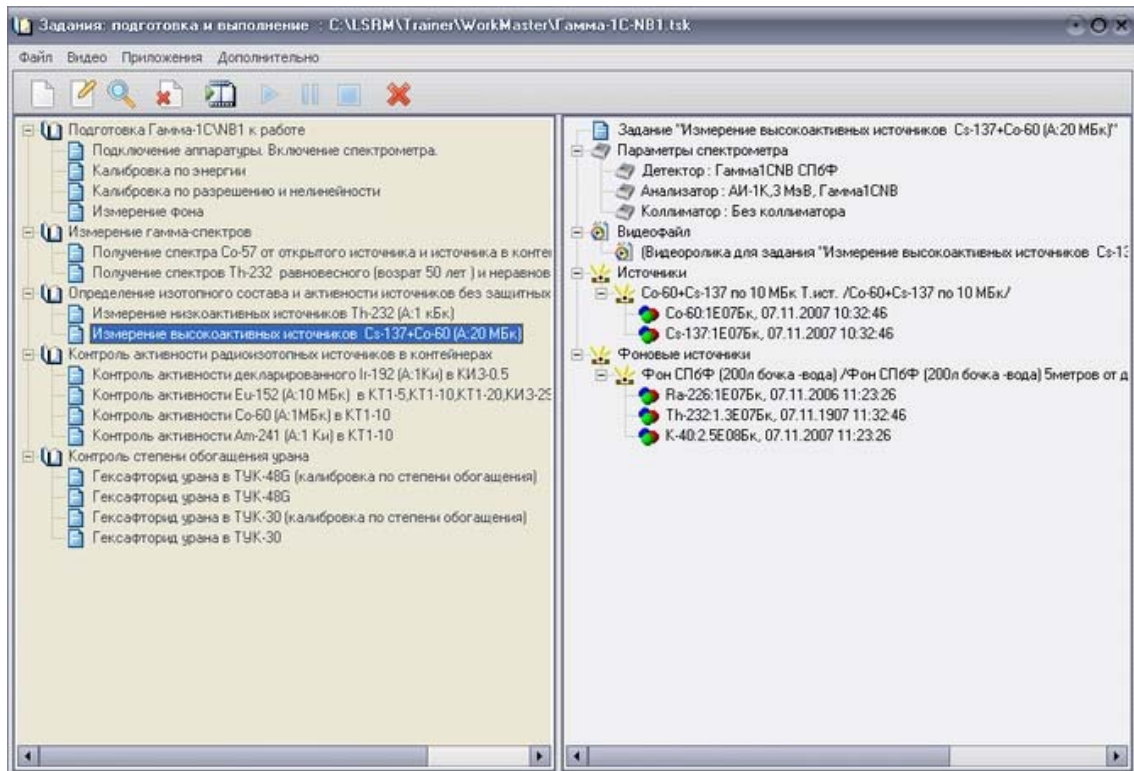


Рисунок 2-3. Основное окно программы **WorkMaster** со списком практических заданий.

В программную оболочку **WorkMaster** входит средство для просмотра обучающих видеороликов.

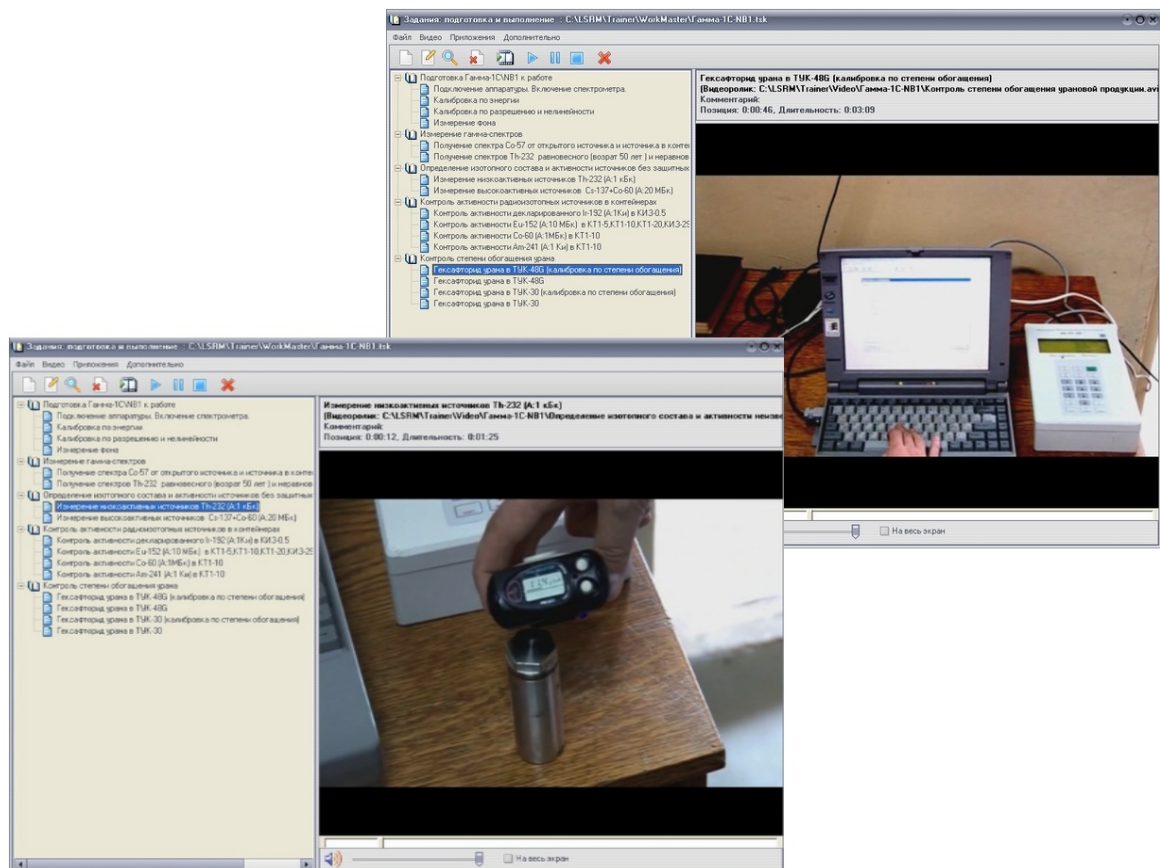


Рисунок 2-4. Основное окно программы **WorkMaster** с обучающими видеороликами.

### 3 Содержание разделов тренажера для спектрометра СКС-50М

#### 3.1 Лабораторная работа «Подготовка СКС-50М к работе»

##### 3.1.1 Заливка азота. Подключение аппаратуры. Включение спектрометра



Рисунок 3-1. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего подготовку СКС-50(М) к работе.

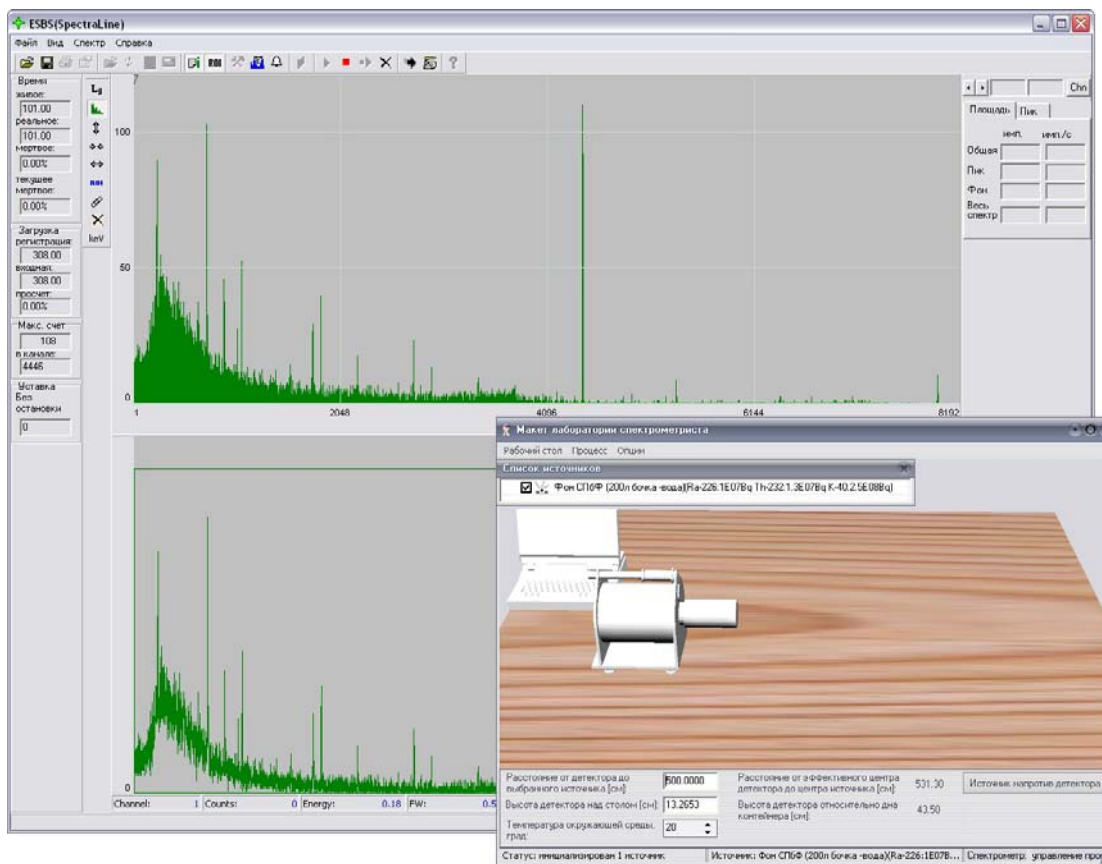


Рисунок 3-2. Фон СПбФ (200л бочка –вода) /5 метров от детектора.

### 3.1.2 Калибровка по энергии

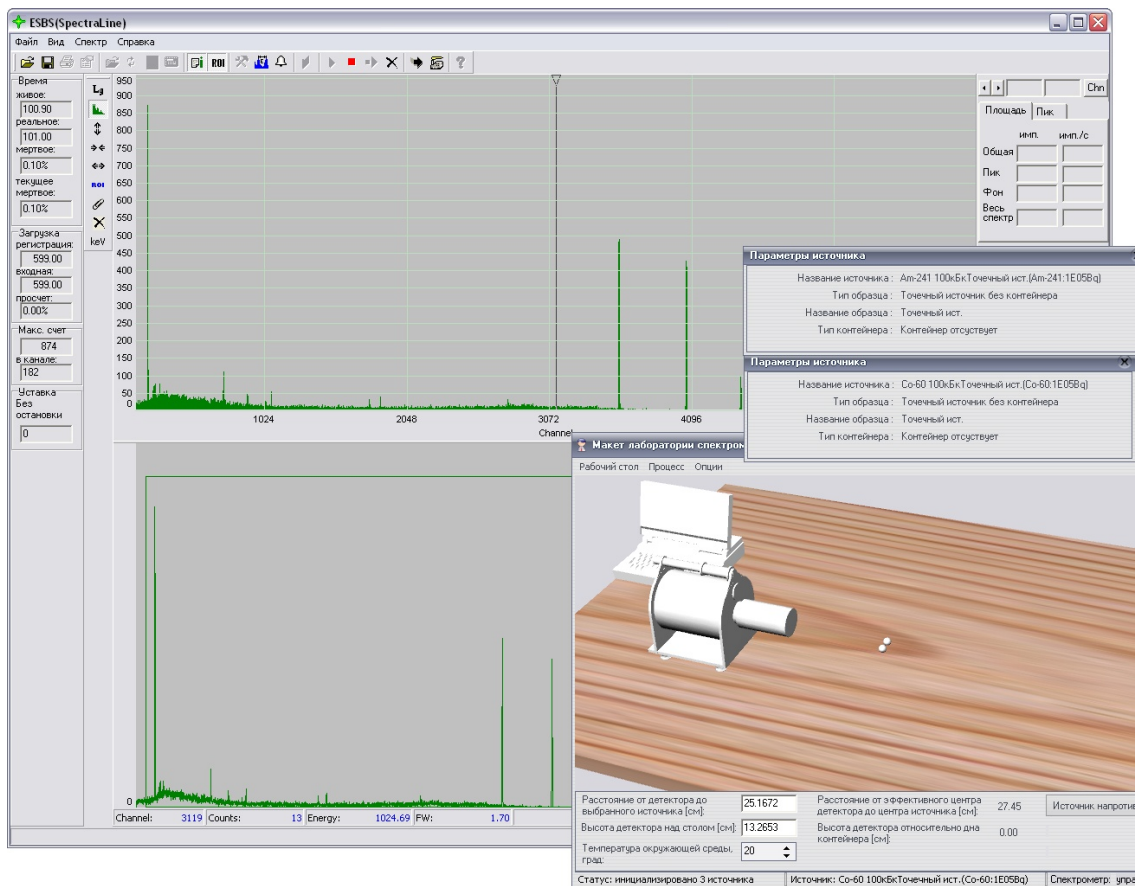


Рисунок 3-3. Калибровка по энергии (Am-241, Co-60).



### 3.1.3 Калибровка по разрешению и нелинейности

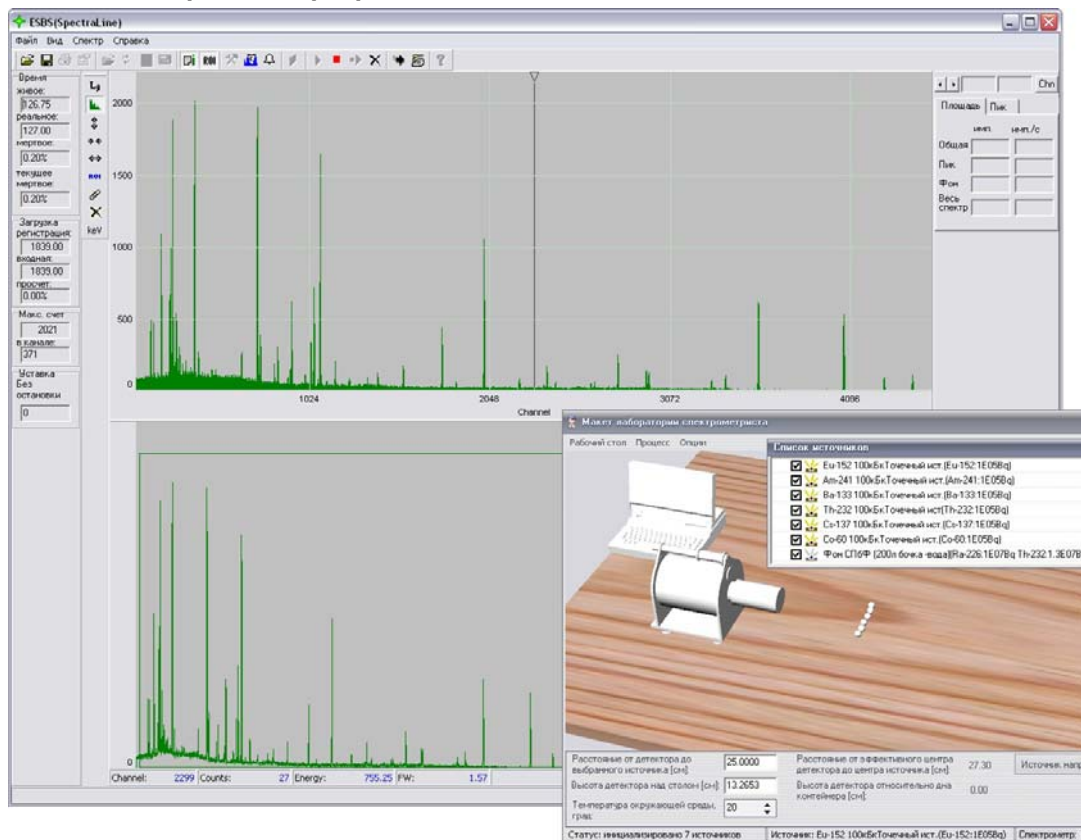
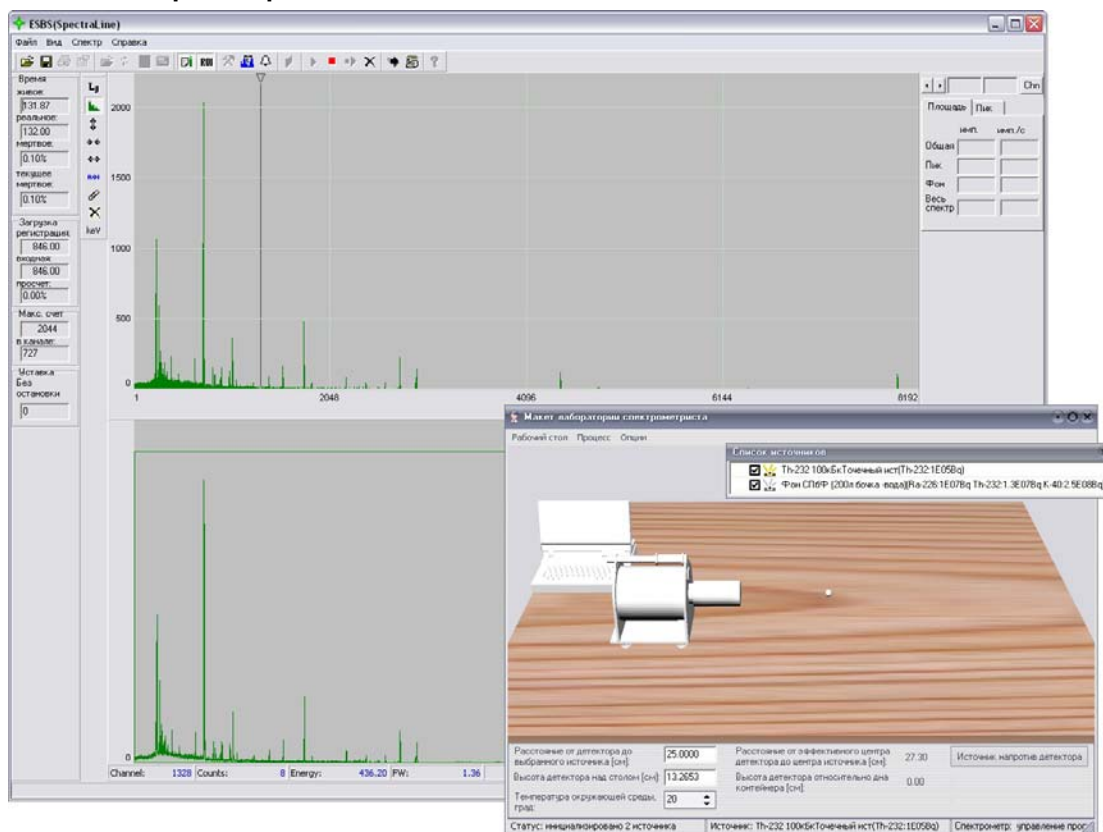
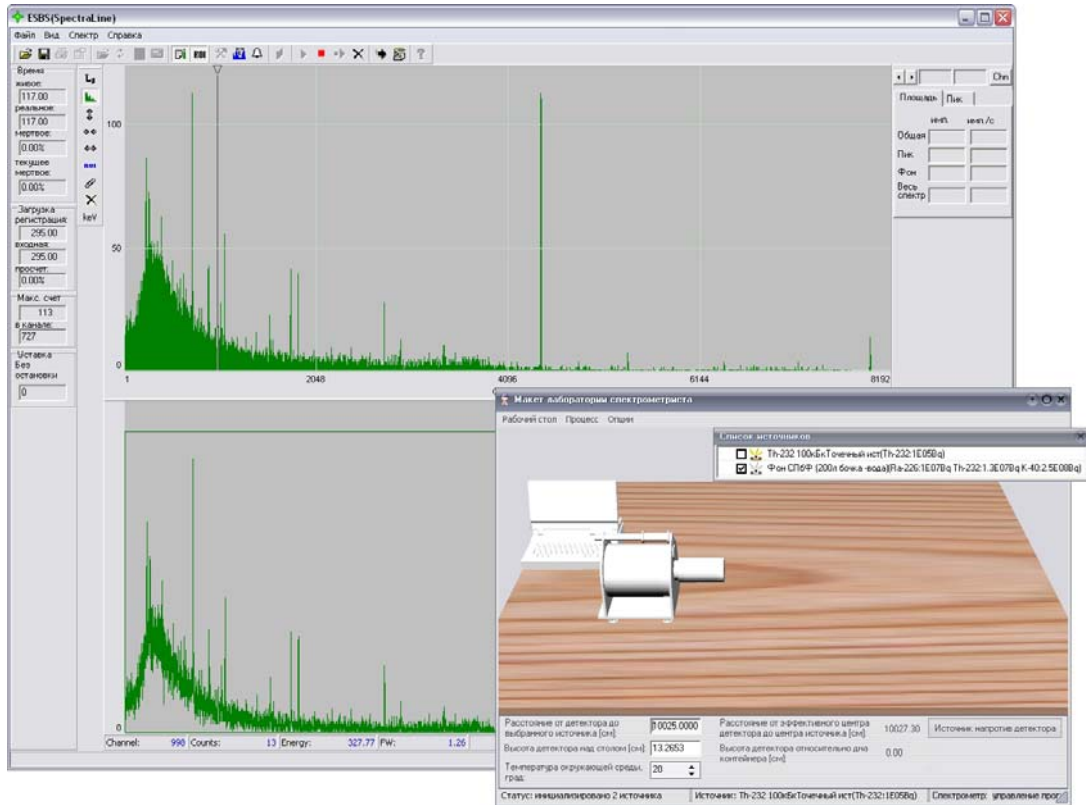


Рисунок 3-4. Калибровка по разрешению и нелинейности (Am-241, Co-60, E-152, Ba-133, Th-232, Cs-137).

### 3.1.4 Измерение фона





b) Источник удален со стола

Рисунок 3-5. Измерение фона. Приведены спектры для сравнения с источником на столе (а) и когда источник удален (б).

## 3.2 Лабораторная работа «Измерение гамма-спектров»

### 3.2.1 Получение спектра Co-57 от открытого источника и источника в контейнере

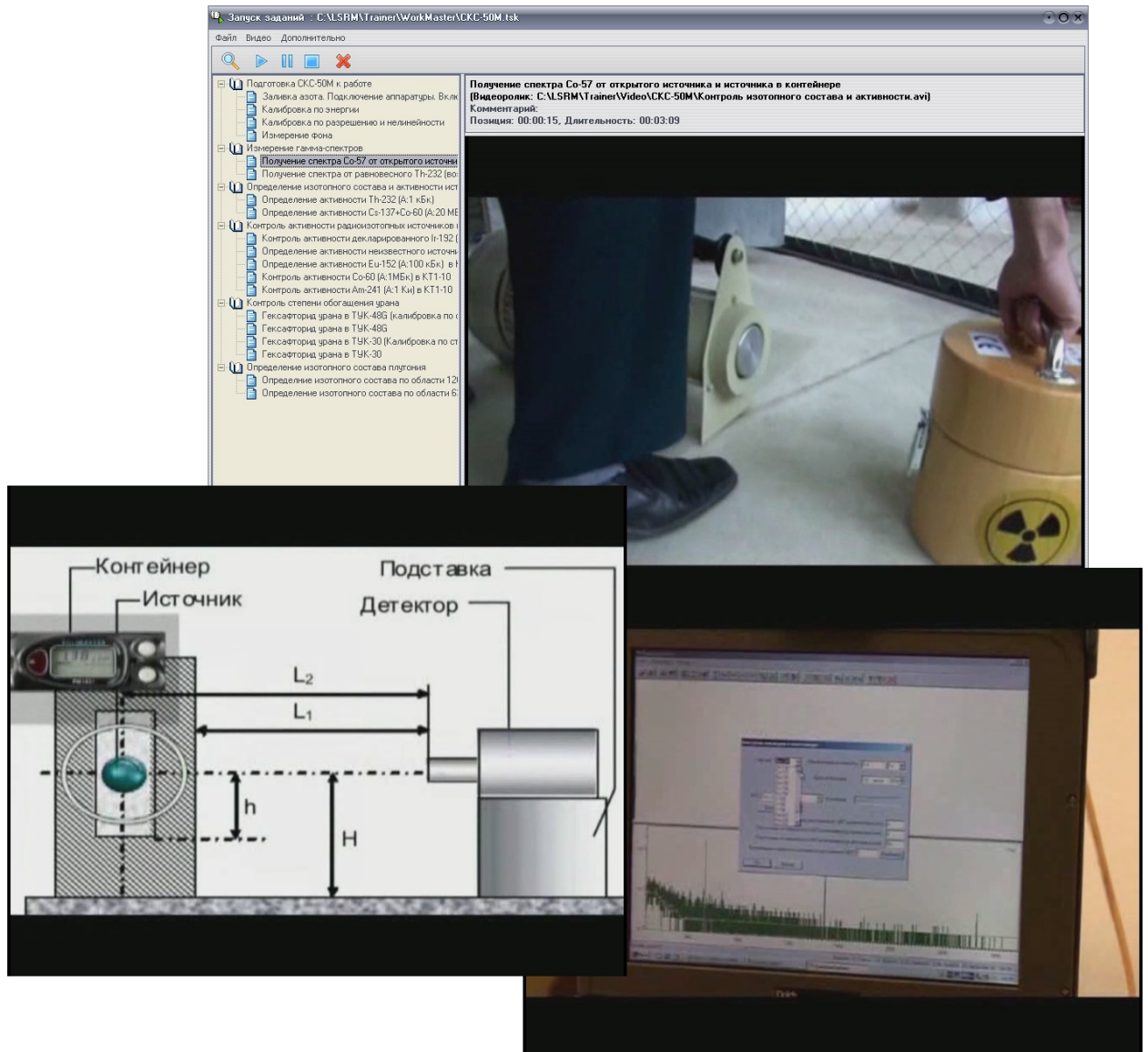


Рисунок 3-6. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего измерение гамма-спектров.

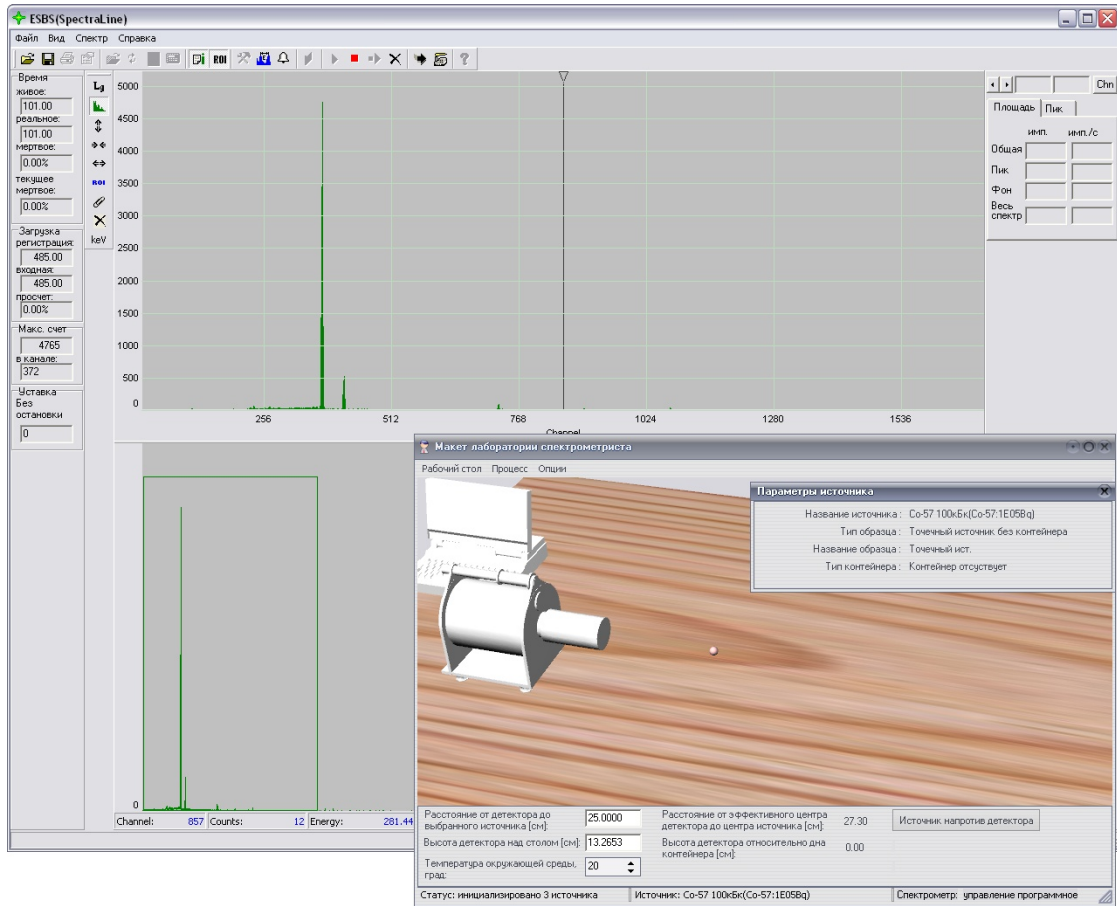


Рисунок 3-7. Спектр открытого источника Co-57

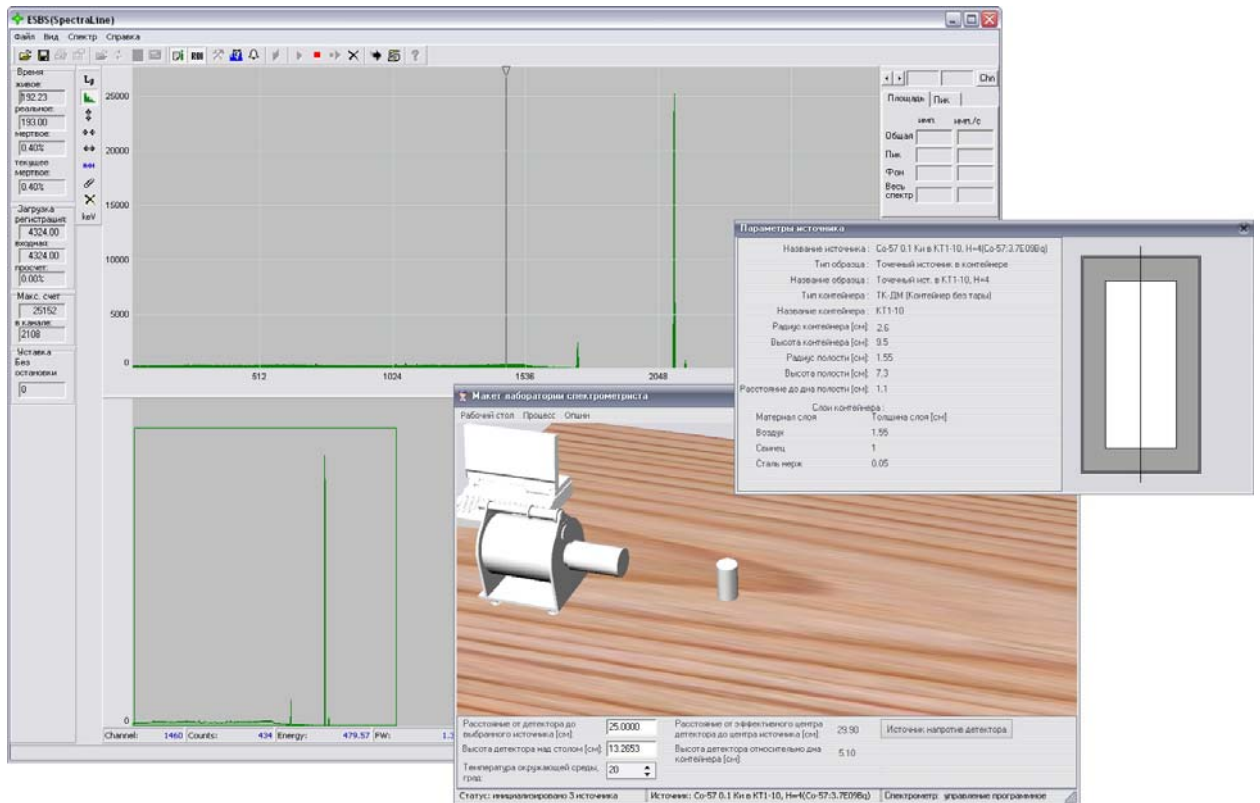


Рисунок 3-8. Спектры источника Co-57 в контейнере КТ1-10.

### 3.2.2 Получение спектра от равновесного Th-232 (возраст 50 лет) и неравновесного (возраст 1 год)

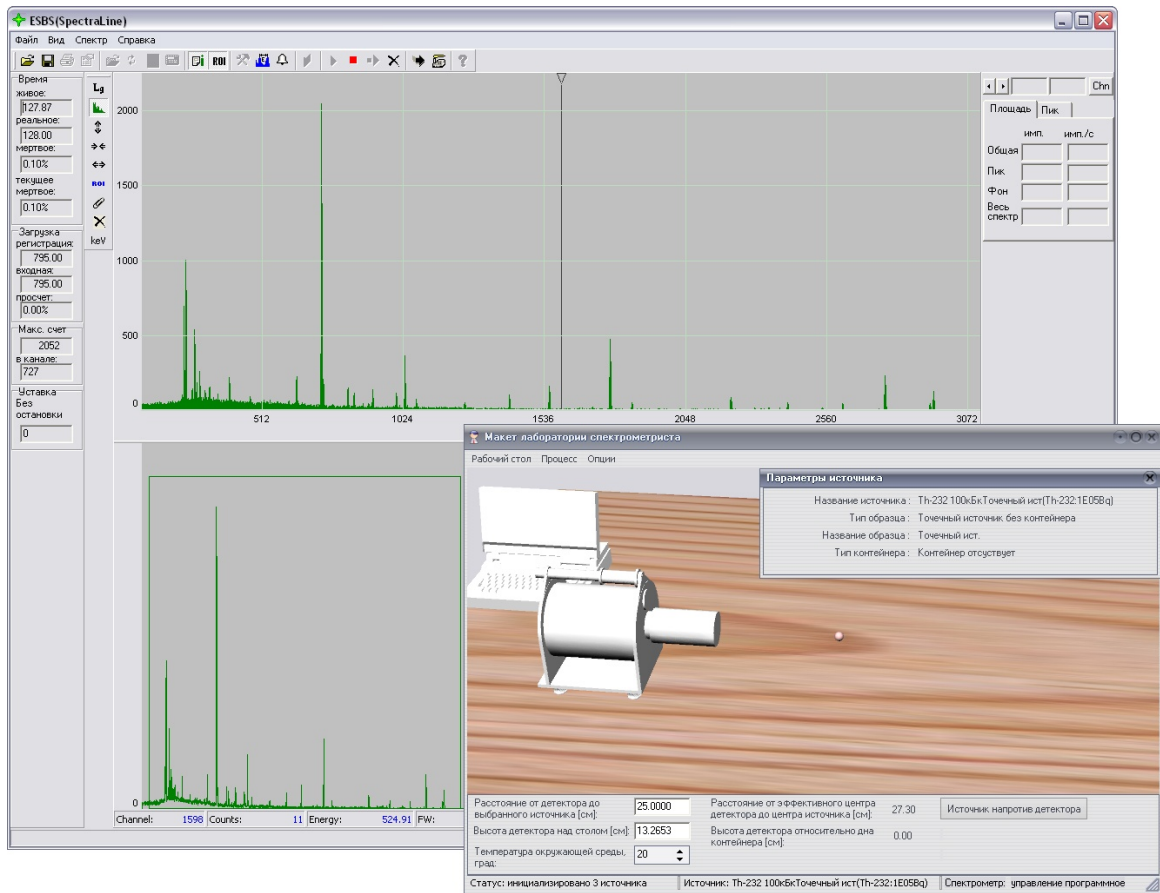


Рисунок 3-9. Спектр от равновесного Th-232 (возраст 50 лет).

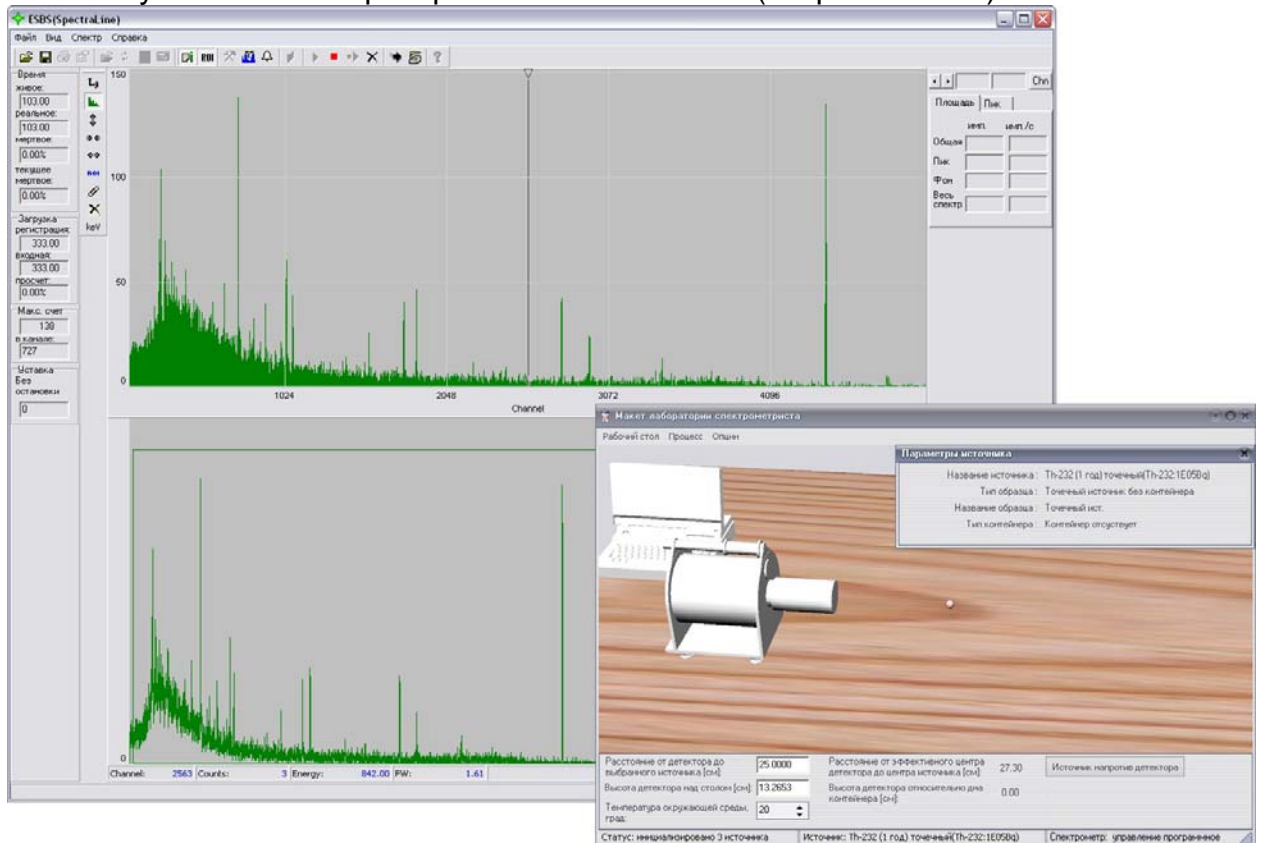


Рисунок 3-10. Спектр неравновесного Th-232 (возраст 1 год).

### 3.3 Лабораторная работа «Определение изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров»

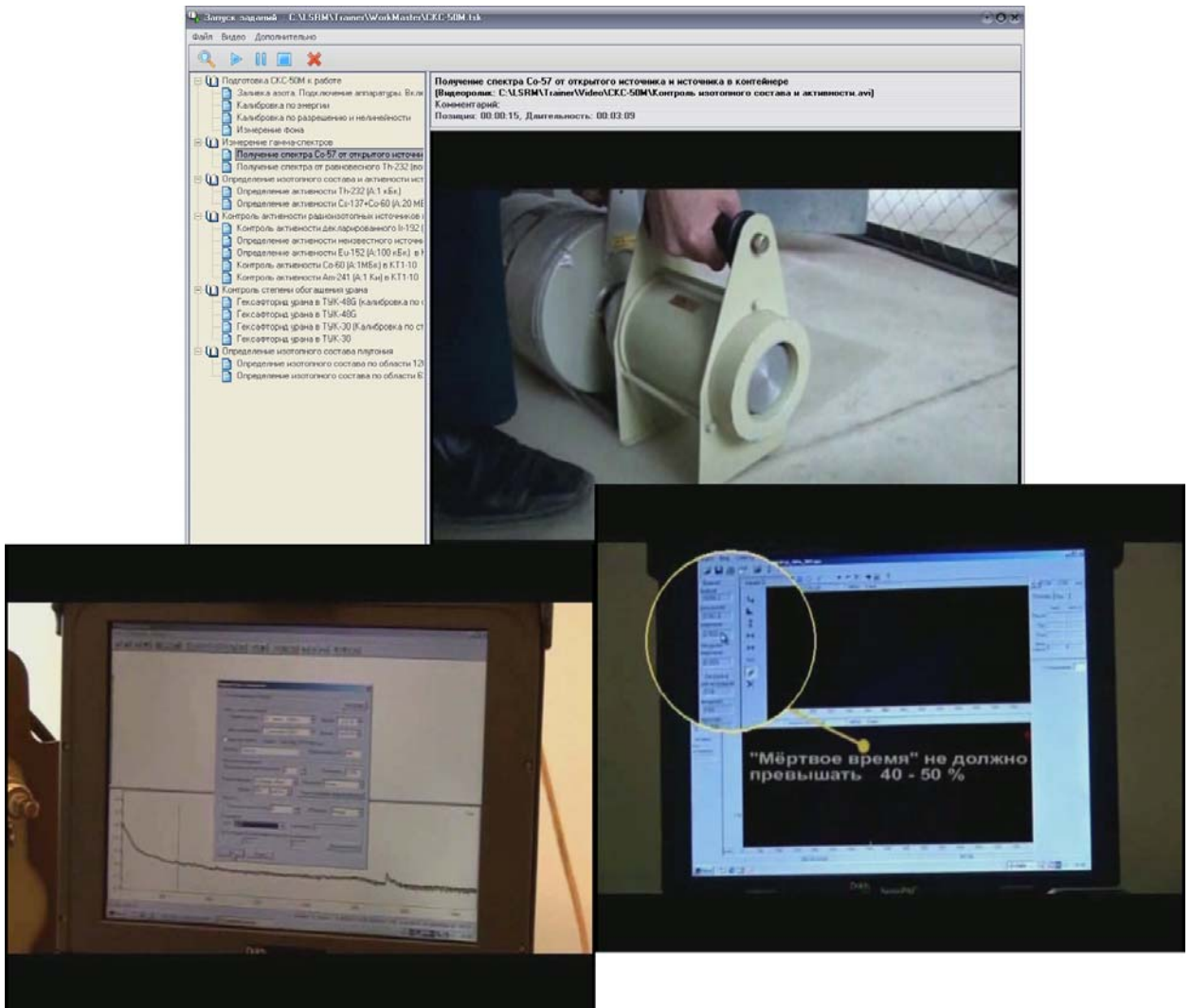


Рисунок 3-11. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров.

### 3.3.1 Определение активности Th-232 (A:1 кБк)

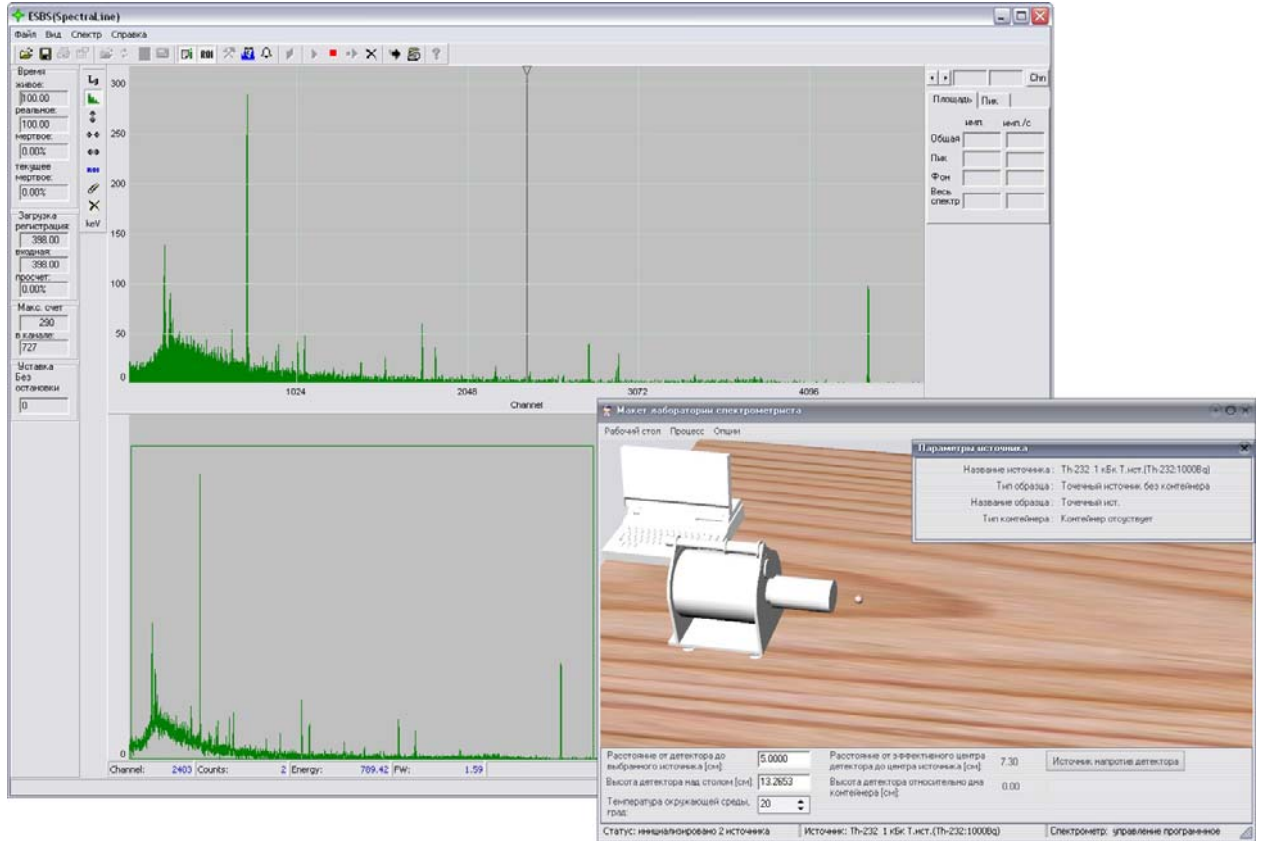


Рисунок 3-12. Спектр Th-232 (A:1 кБк).

### 3.3.2 Определение активности Cs-137+Co-60 (A:20 МБк)

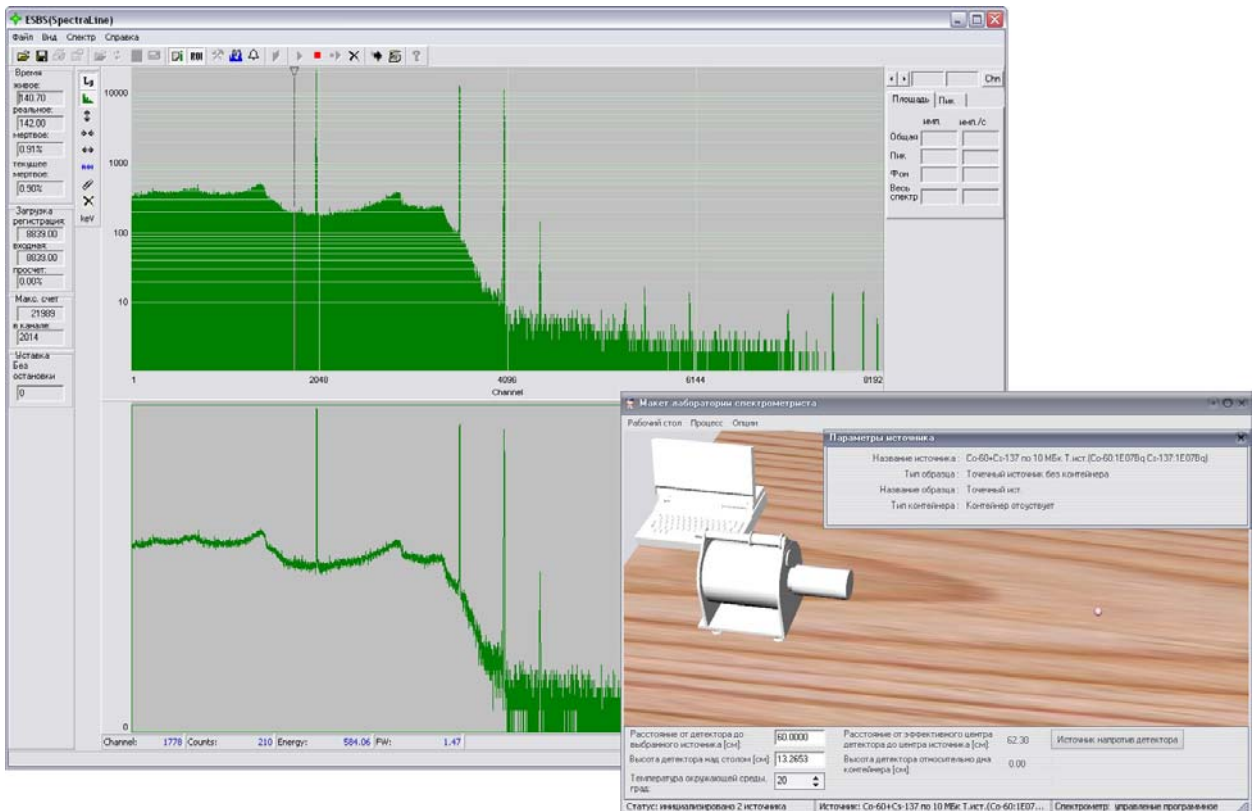


Рисунок 3-13. Спектр Cs-137+Co-60 (A:20 МБк).

### 3.4 Лабораторная работа «Контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах»

#### 3.4.1 Контроль активности декларированного Ir-192 (A:1Ки) в КИЗ-0.5

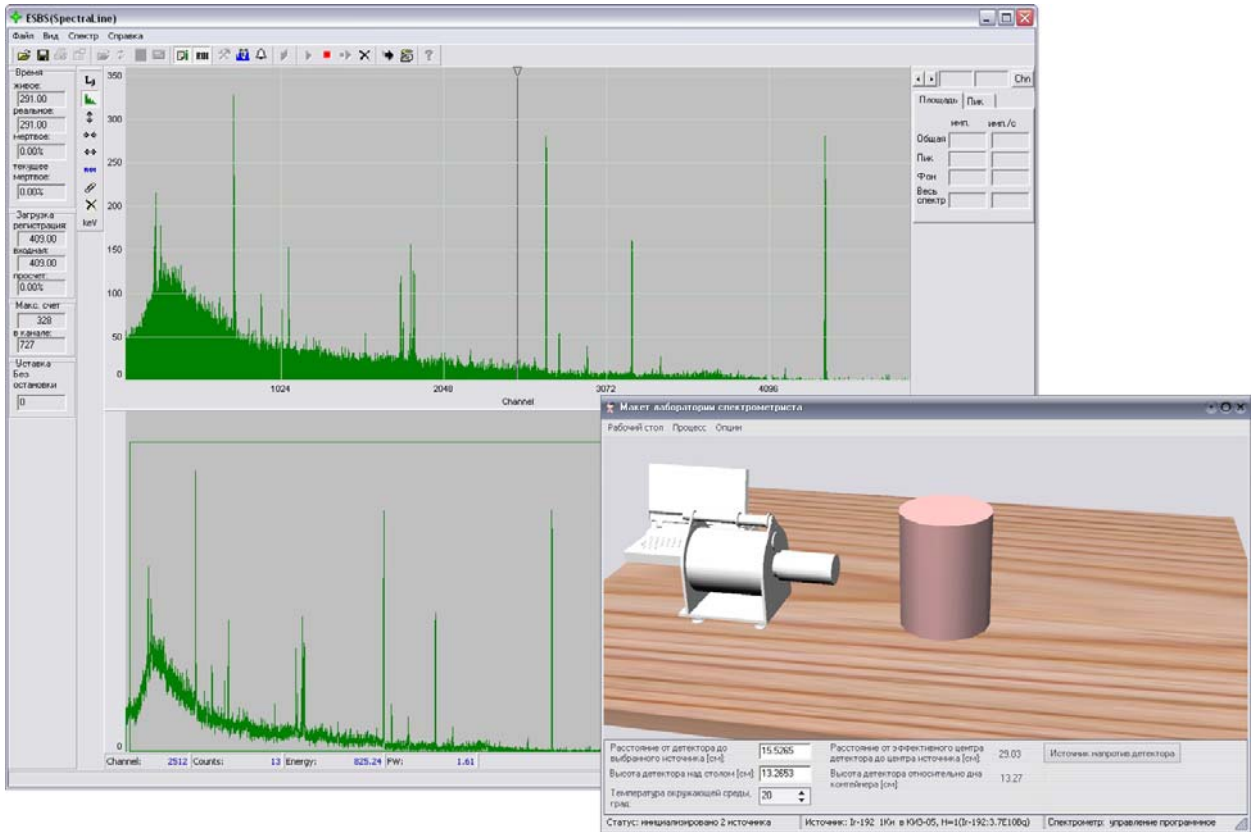
Имя спектра: Co-60\_KT1-5.sps  
 Комментарий:  
 Co-60 KT1-5 на 9 см 19.04.2004  
 A=49500 Бк на 30.01.2004 г.  
 Дата и время  
 измерения спектра: 19 - 4-2004 20:11 Имя файла калибровки: OSGI\_N11\_151.ccc  
 отбора образца: 30 - 1-2004 17:15 Имя библиотеки: Nuclides.lbr  
 Время набора: 3012 с От источника до детектора: 111.5 мм  
 Пик 511 кэВ не учитывается  
 Вычитается результат анализа спектра фона: fon\_239.txt  
 Учитывается поглощение в суммарной защите:  
 Свинцу: 6.0 мм:  
 Тип УКТ : УКТ1А-5  
 Тип Контейнера: КТ1-5

Нуклид	Активность	Объявленная активность	Отклонение
Co-60	5.010 e+004 Бк	4.950 e+004 Бк	1.22 (%)

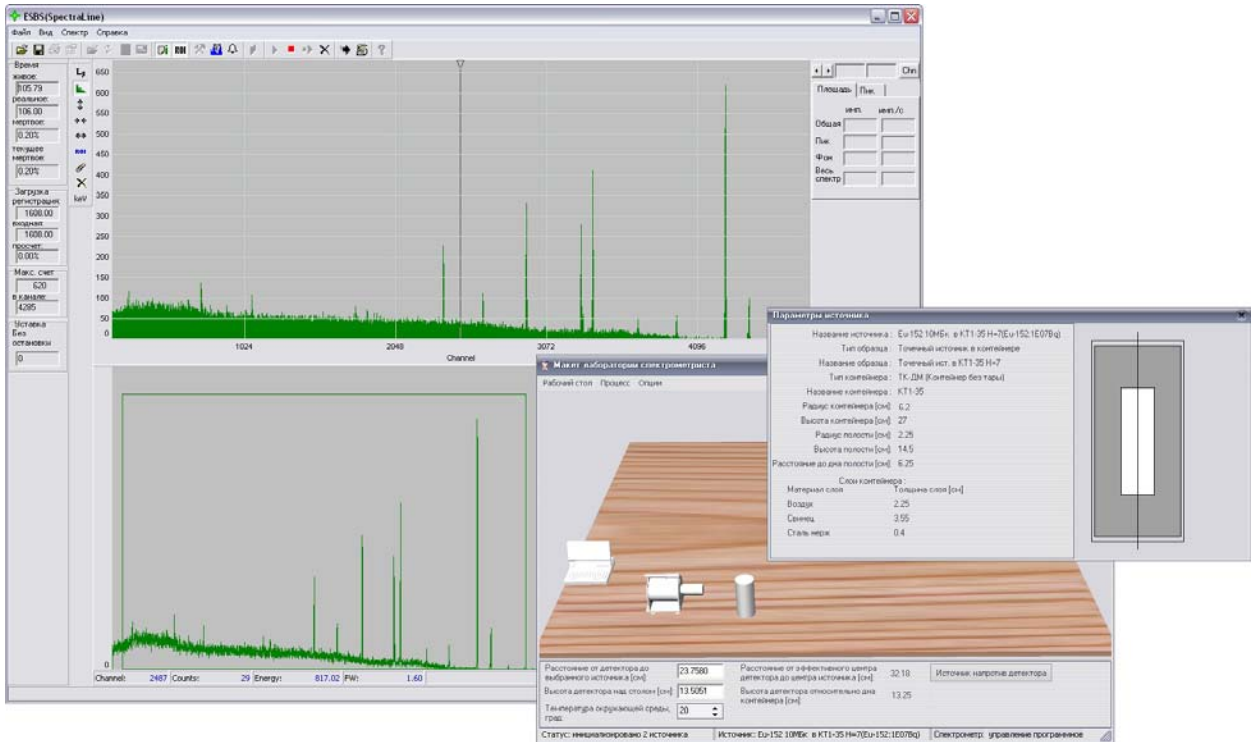
Нуклид: Co-60    Объявленная активность: 49500 Бк  
 Дата аттестации: 30 января 2004  
 УКТ: УКТ1А-5    Контейнер: КТ1-5(М)  
 Рекомендованное расстояние от УКТ до детектора (мм): 0  
 Расстояние от поверхности УКТ(контейнера) до детектора (мм): 90  
 Расстояние от поверхности УКТ(контейнера) до источника (мм): 21.5  
 Коэффициент пересчета активности для данного УКТ: 1

Рисунок 3-14. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах.





### 3.4.2 Определение активности неизвестного источника в неизвестном контейнере (Eu-152 A:10 МБк в КТ1-35)



### 3.4.3 Определение активности Eu-152 (A:100 кБк) в КТ1-5, КТ1-10, КТ1-20, КИЗ-29

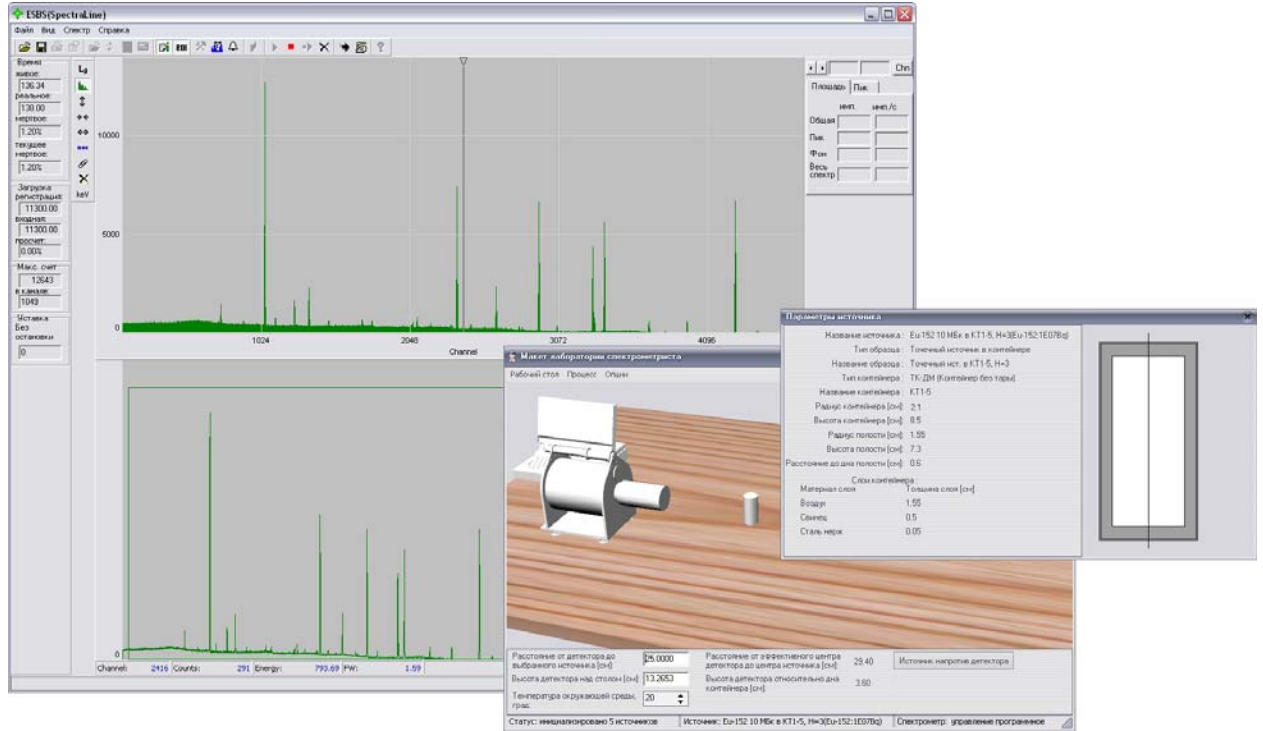


Рисунок 3-17. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-5.

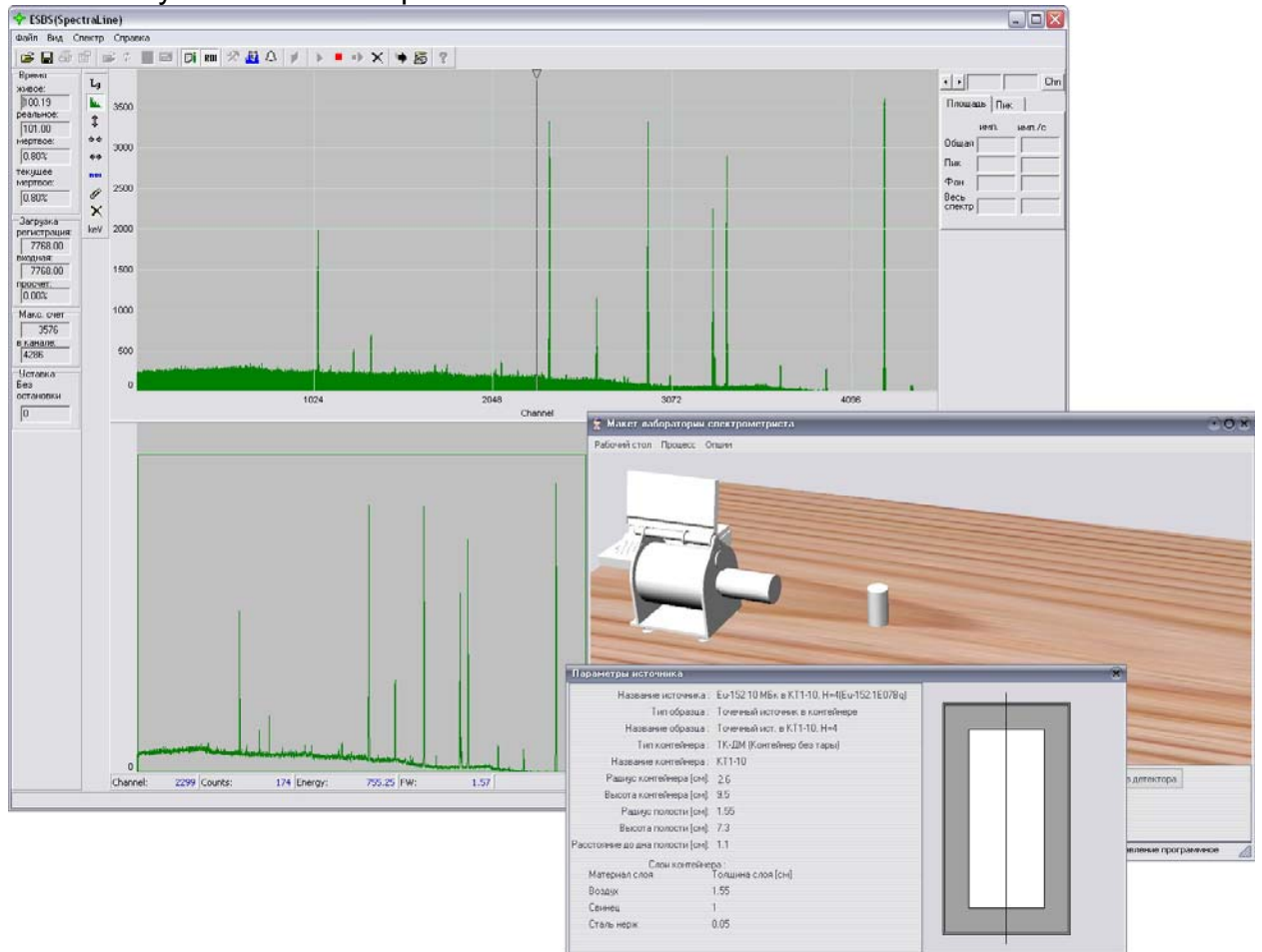


Рисунок 3-18. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-10.

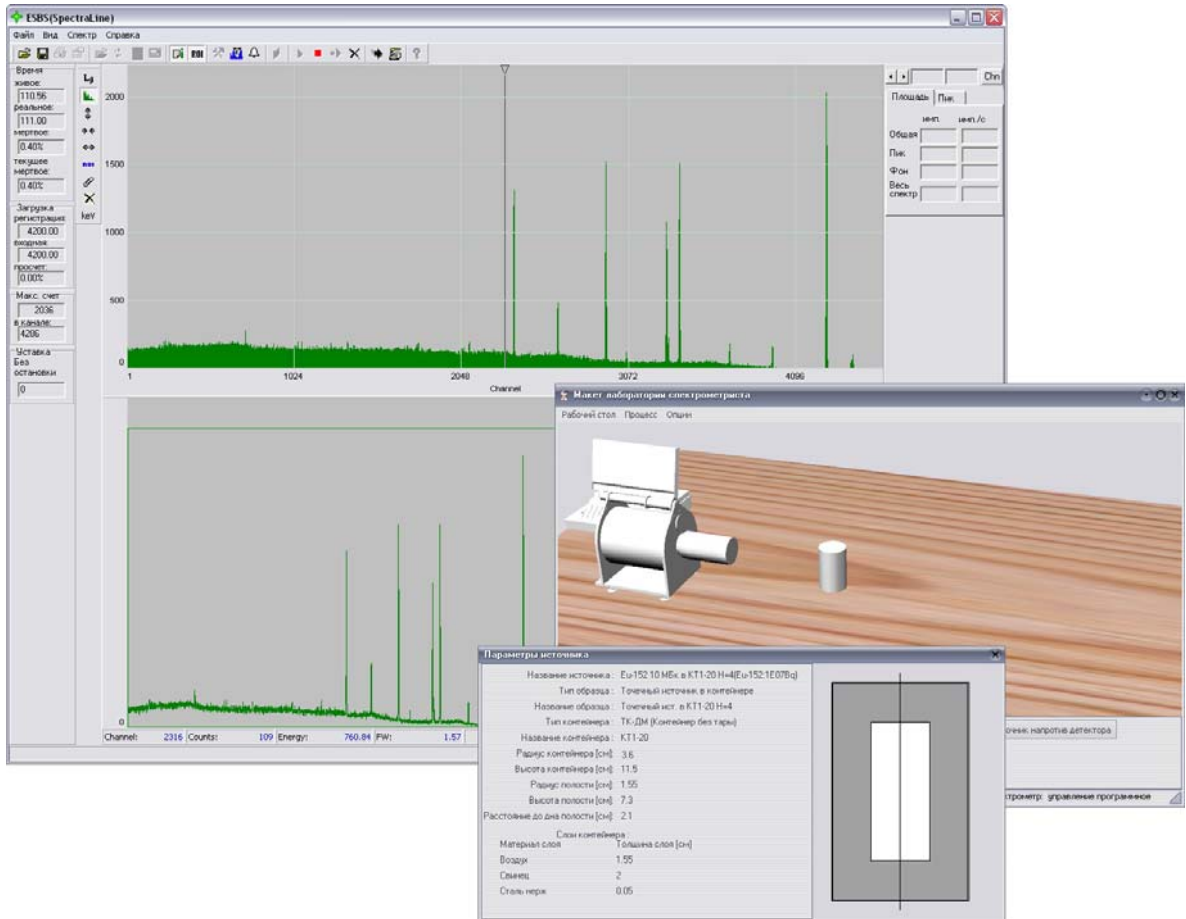


Рисунок 3-19. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-20.

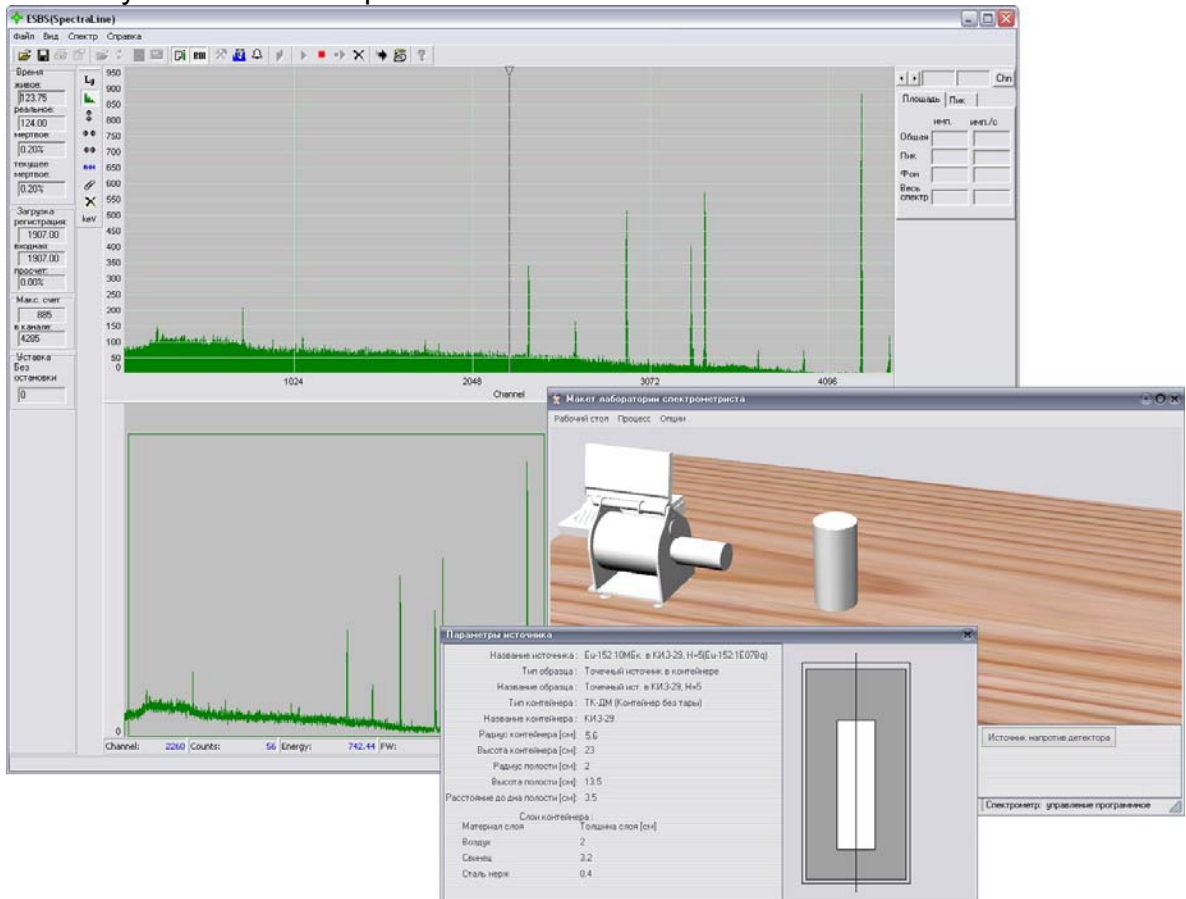


Рисунок 3-20. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КИ3-29.

### 3.4.4 Контроль активности Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10

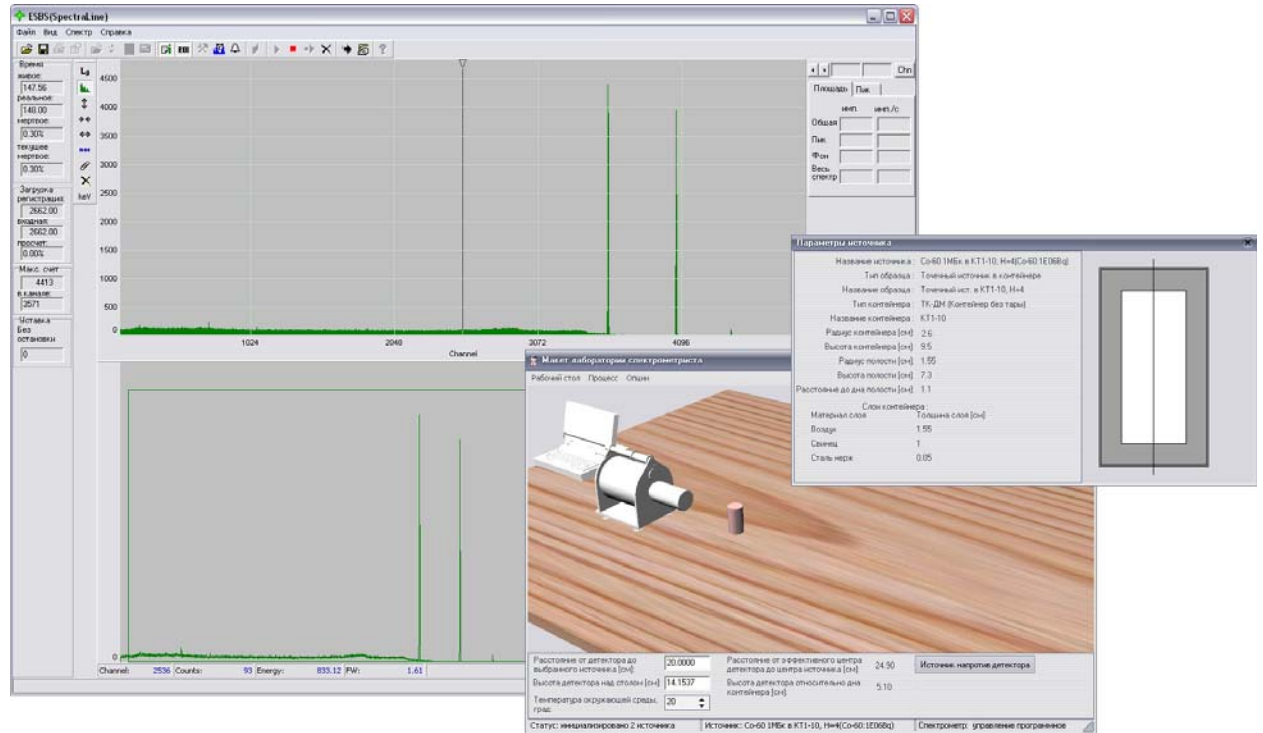


Рисунок 3-21. Спектр Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10

### 3.4.5 Контроль активности Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10

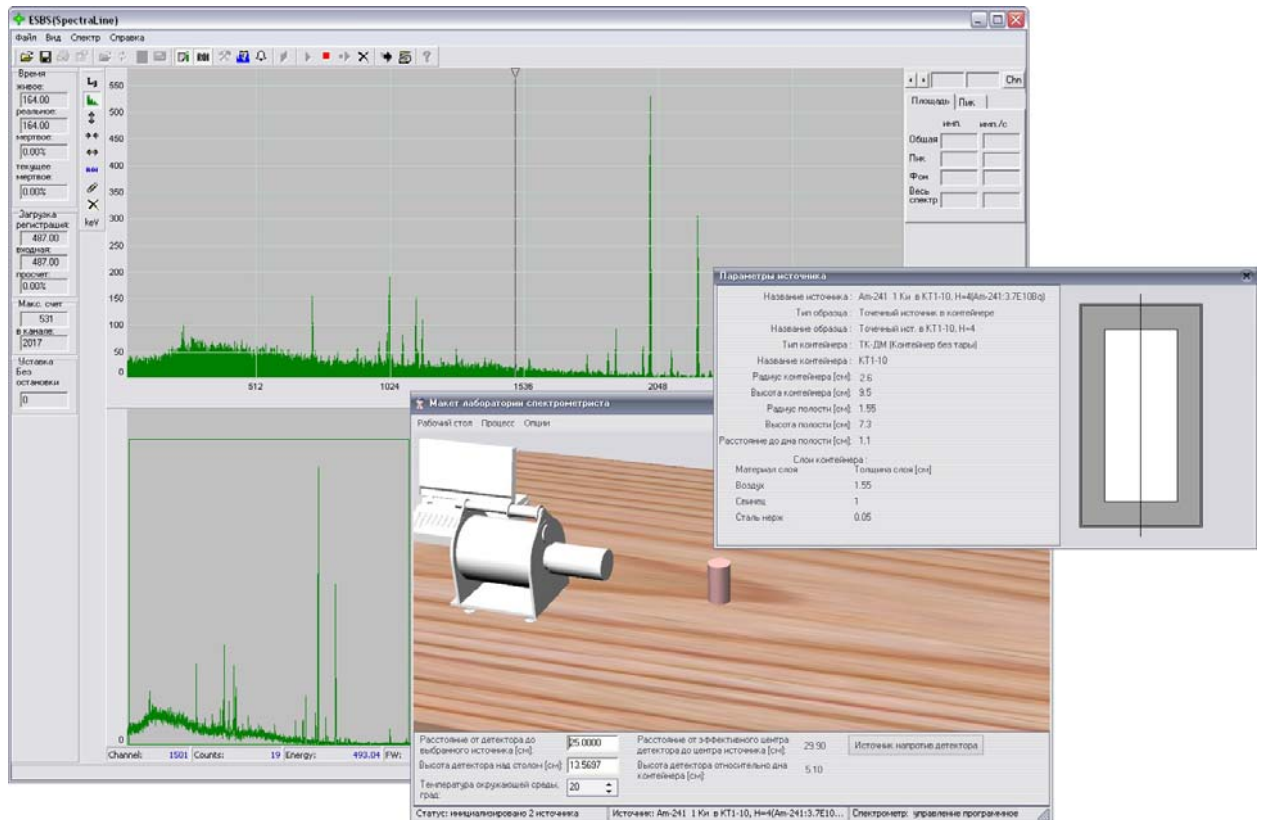


Рисунок 3-22. Спектр Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10

### 3.5 Лабораторная работа «Контроль степени обогащения урана»

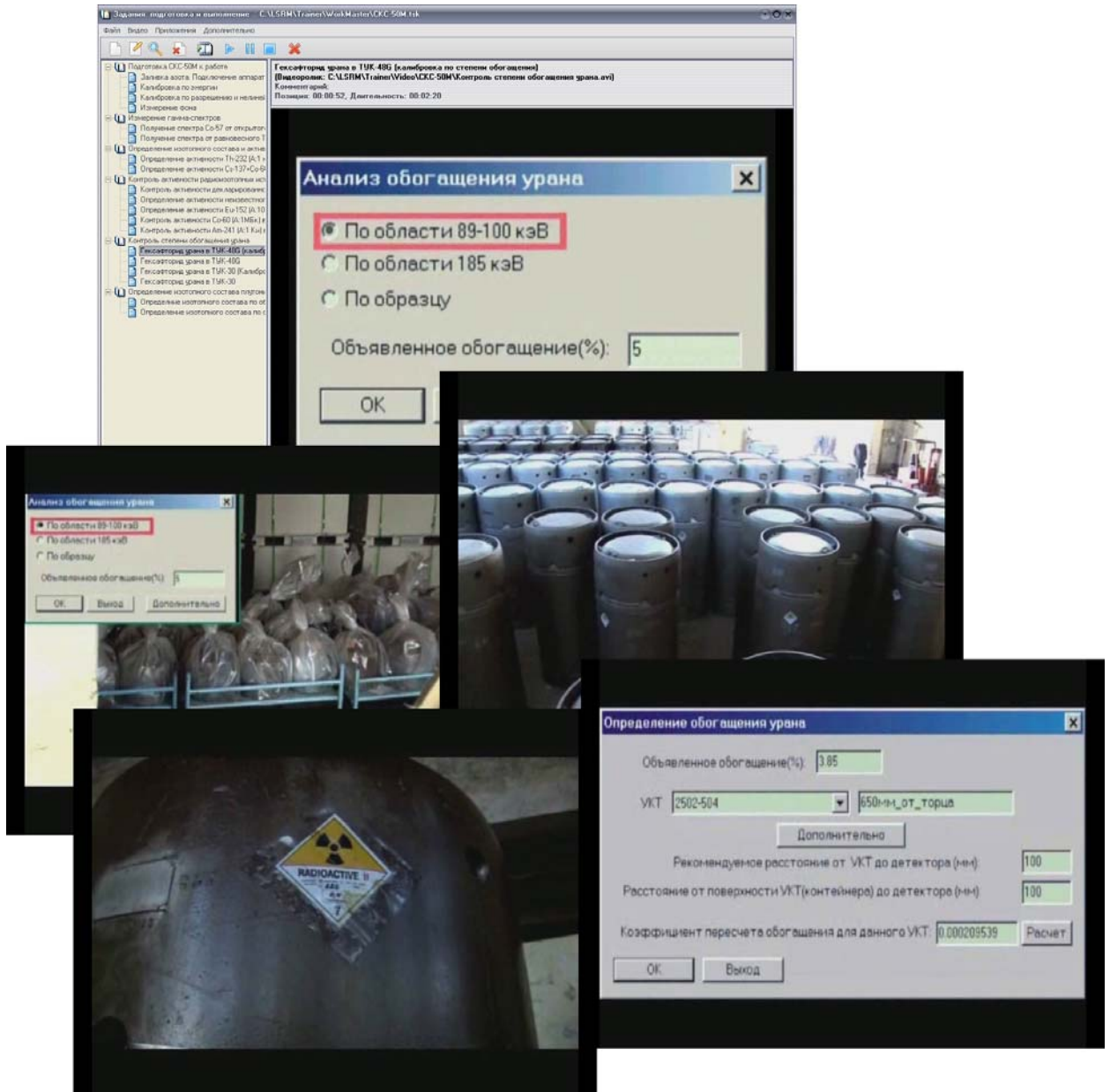


Рисунок 3-23. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль степени обогащения урана.

### 3.5.1 Гексафторид урана в ТУК-48G (калибровка по степени обогащения)

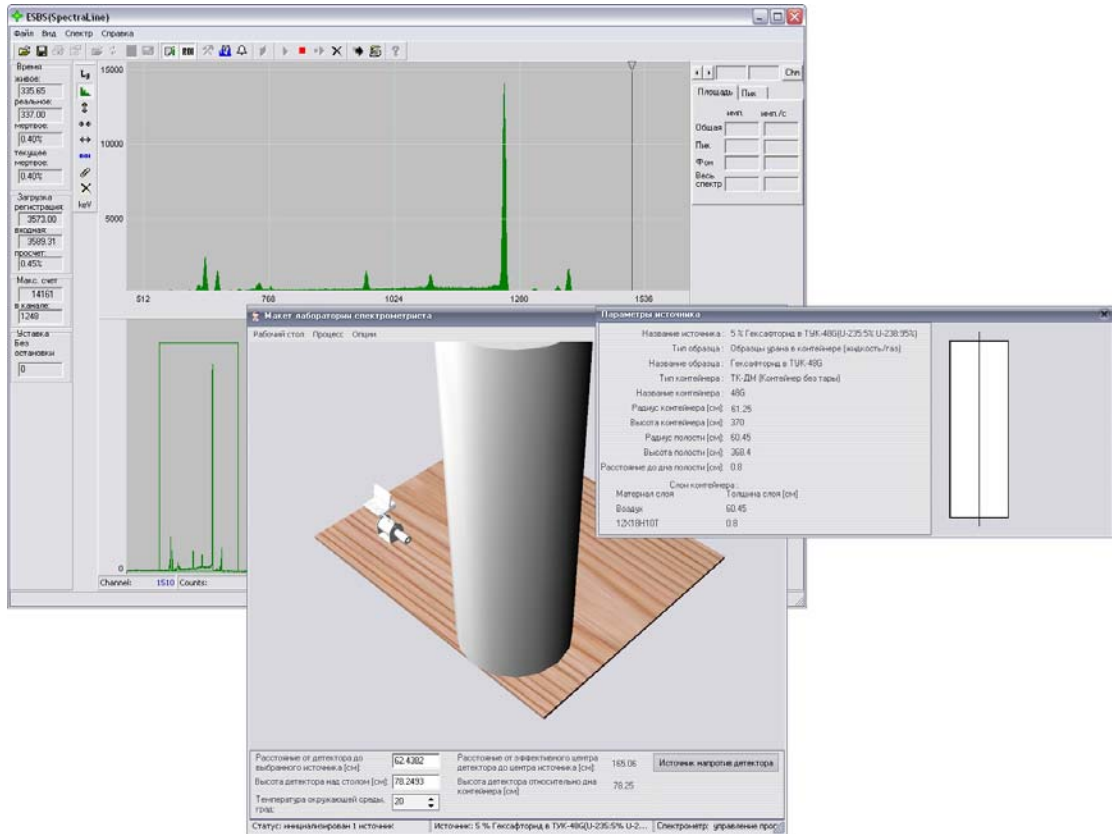


Рисунок 3-24. Гексафторид урана (степень обогащения 5%) в ТУК-48G

### 3.5.2 Гексафторид урана в ТУК-48G

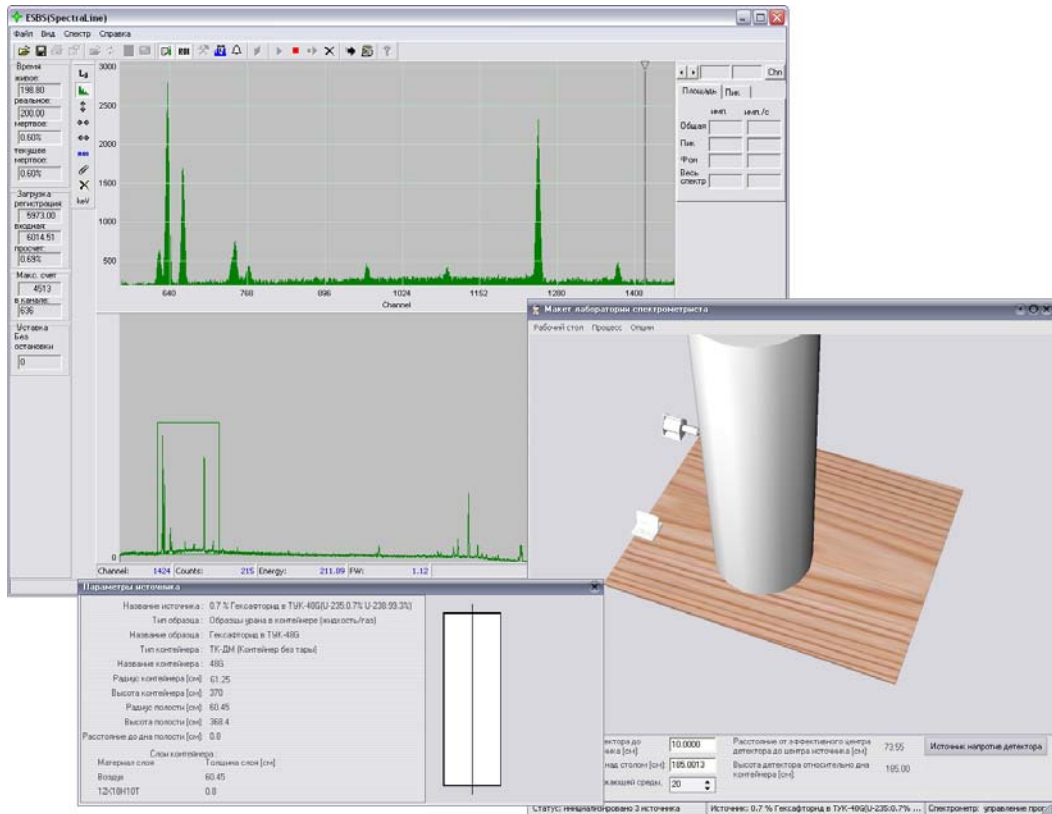


Рисунок 3-25. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-48G

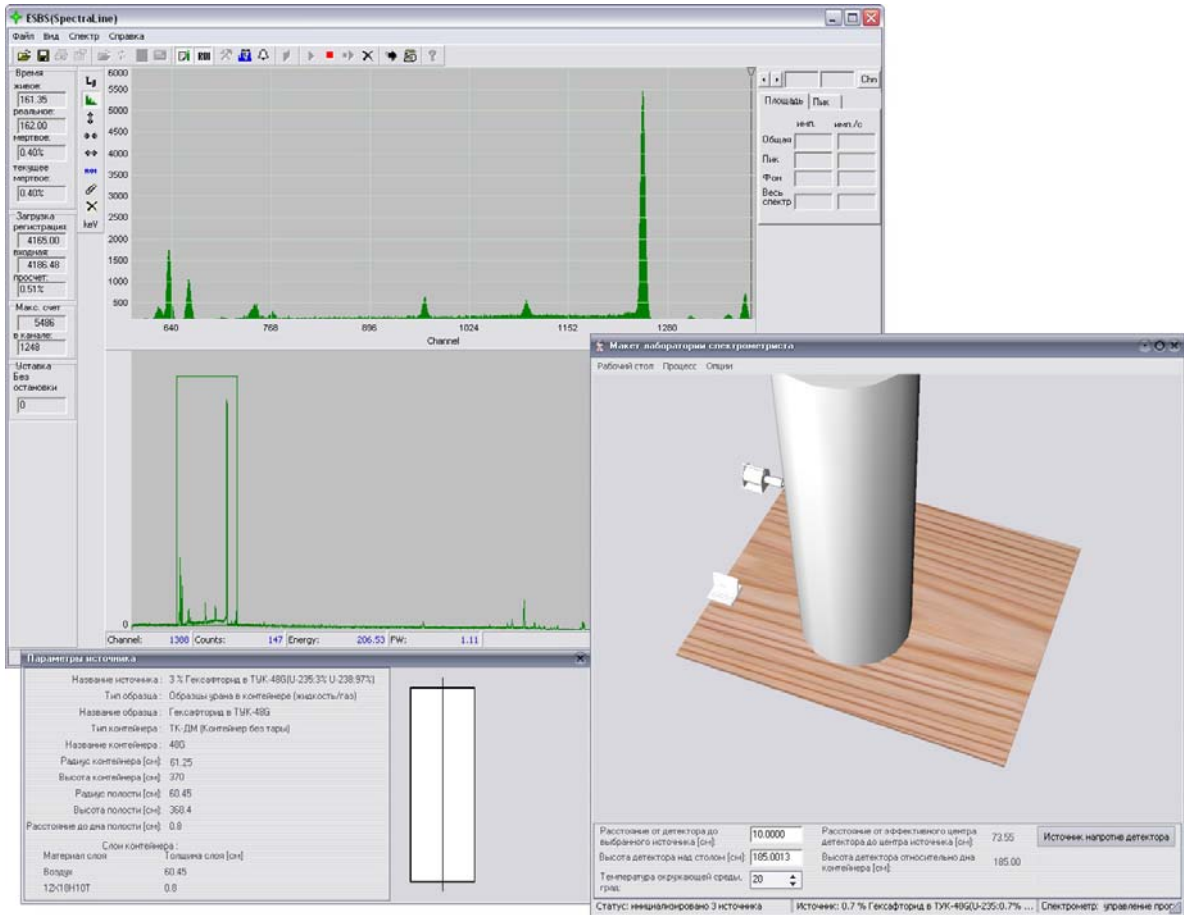


Рисунок 3-26. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-48G

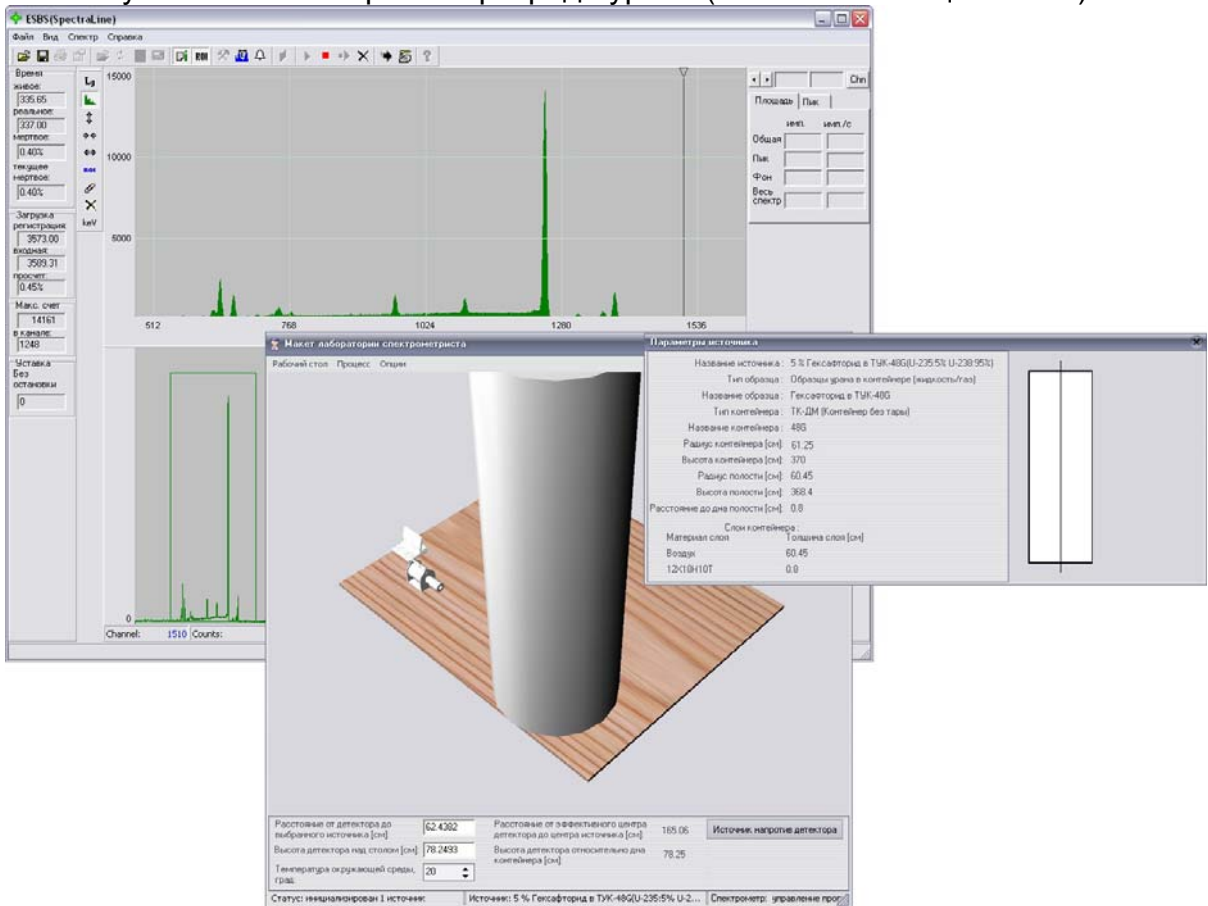


Рисунок 3-27. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 5%) в ТУК-48G

### 3.5.3 Гексафторид урана в ТУК-30 (Калибровка по степени обогащения)

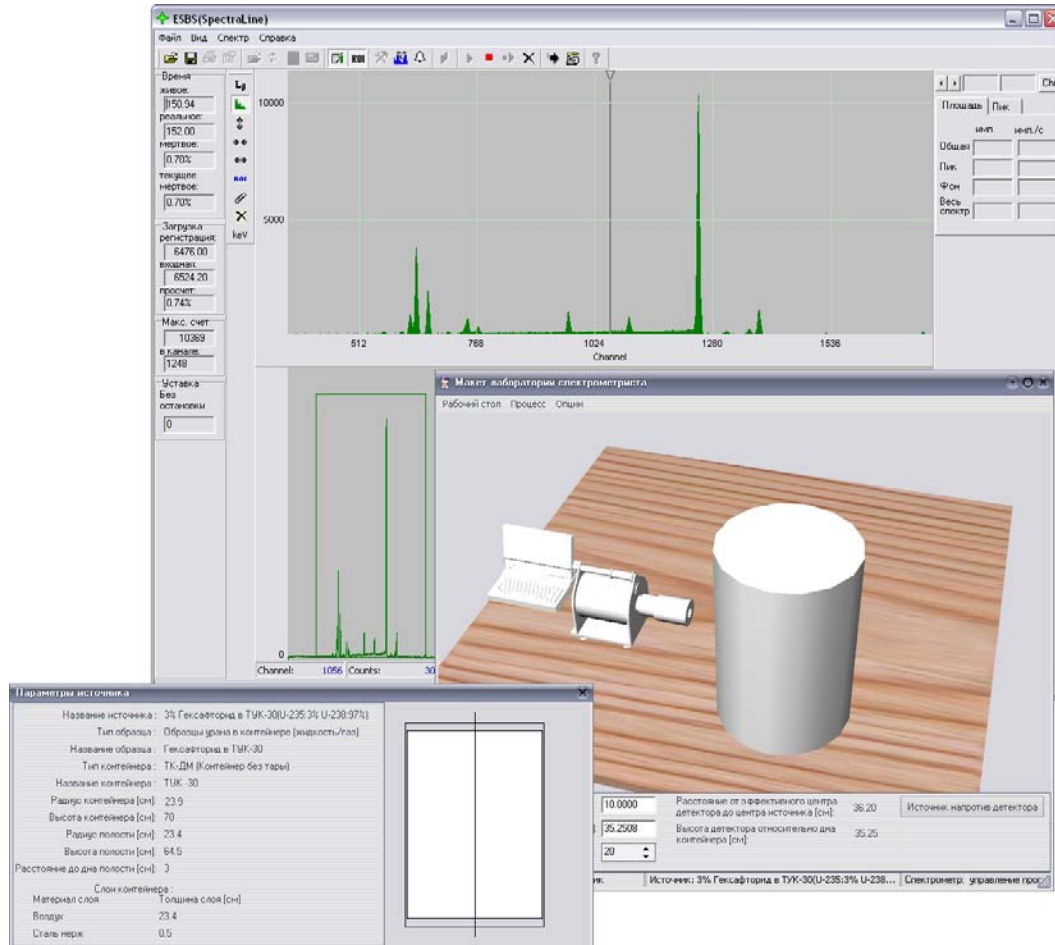


Рисунок 3-28. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-30

### 3.5.4 Гексафторид урана в ТУК-30

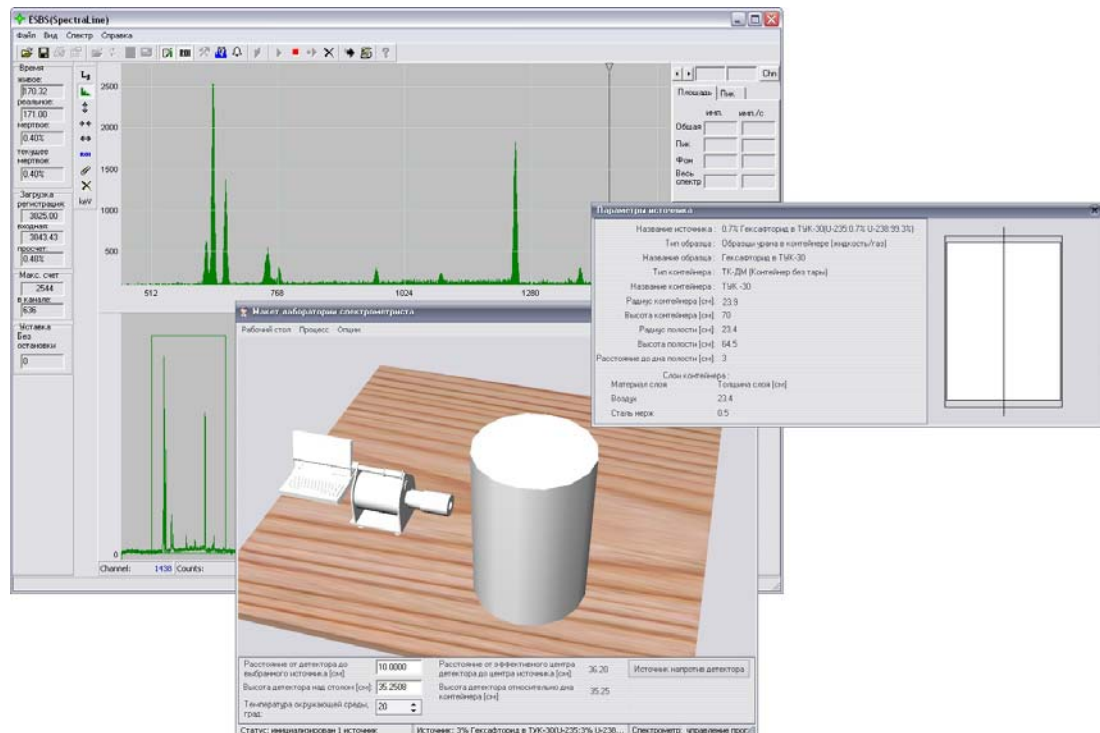


Рисунок 3-29. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-30



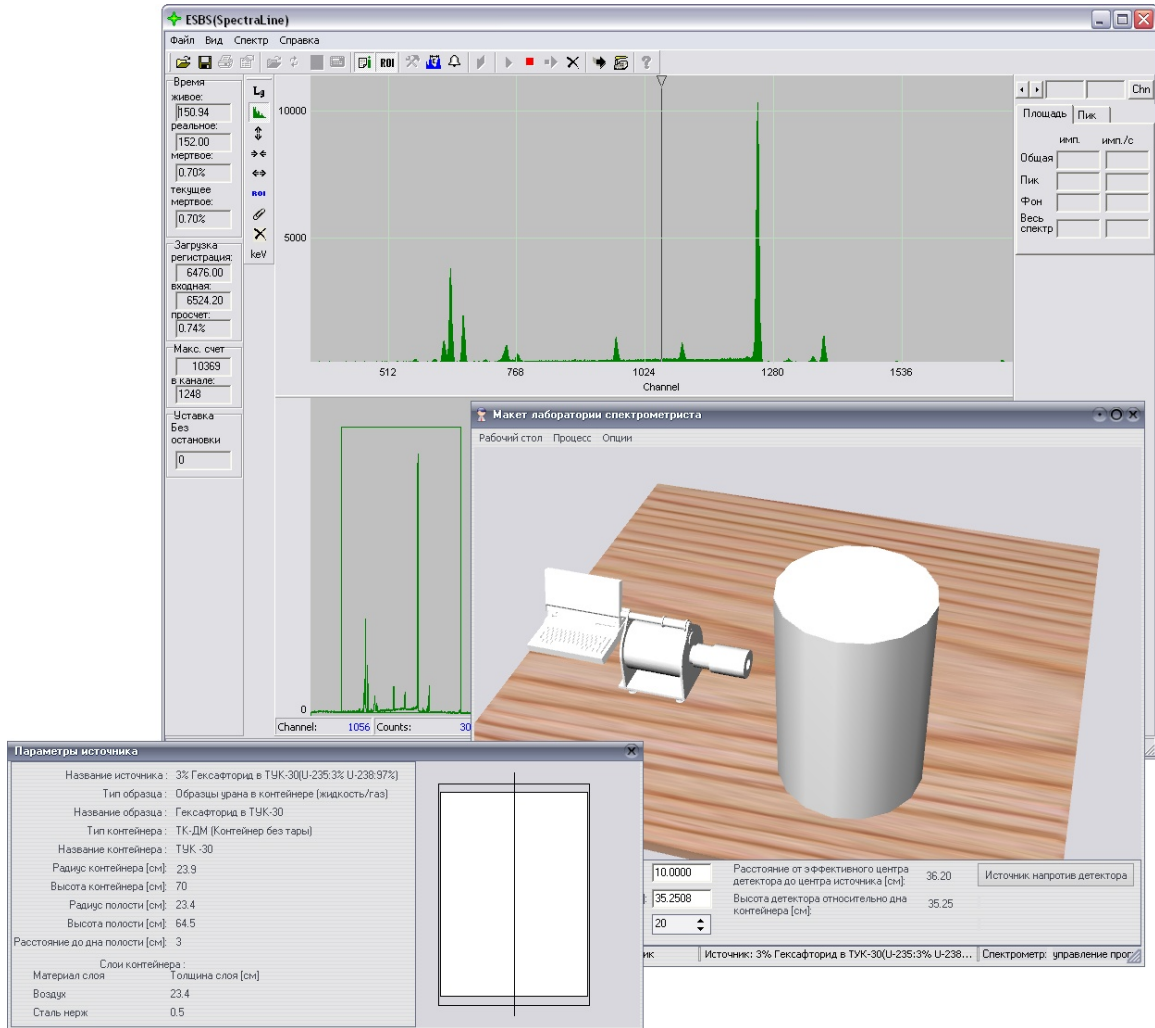


Рисунок 3-30. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-30

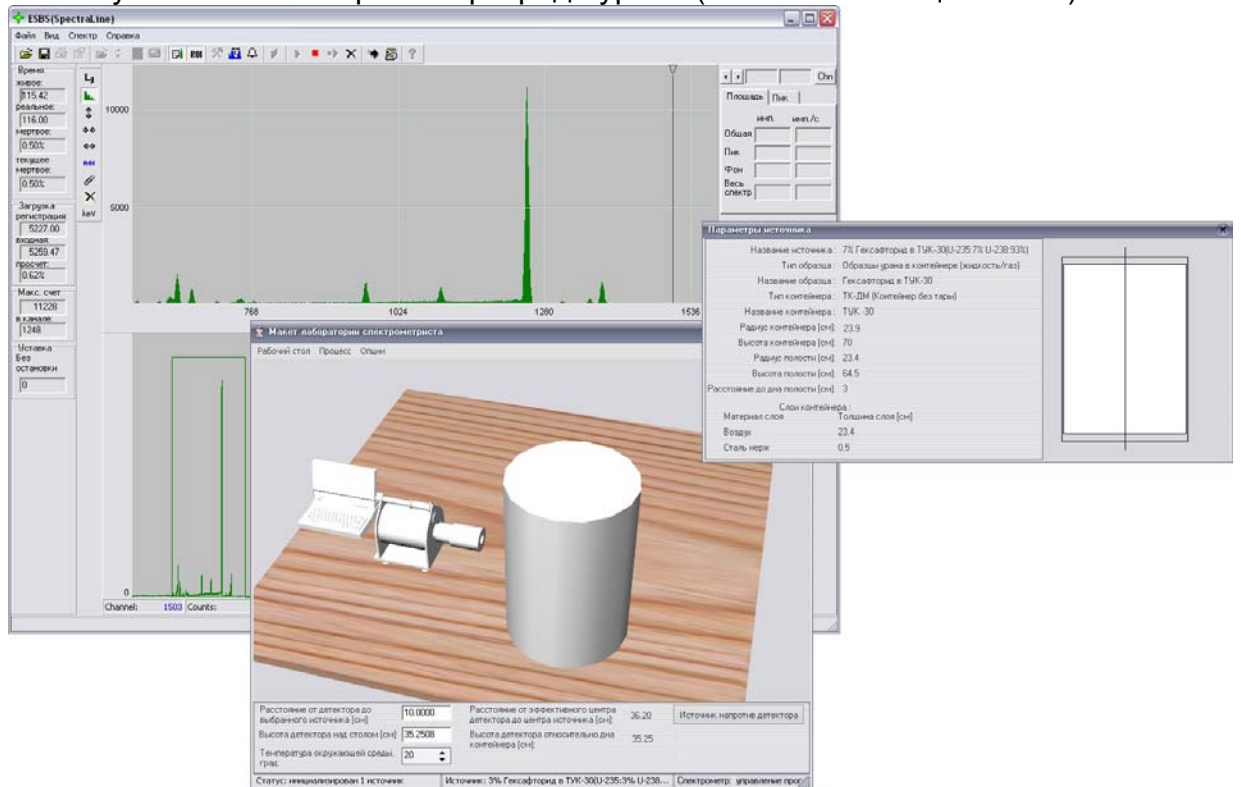


Рисунок 3-31. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 7%) в ТУК-30

### 3.6 Лабораторная работа «Определение изотопного состава плутония»

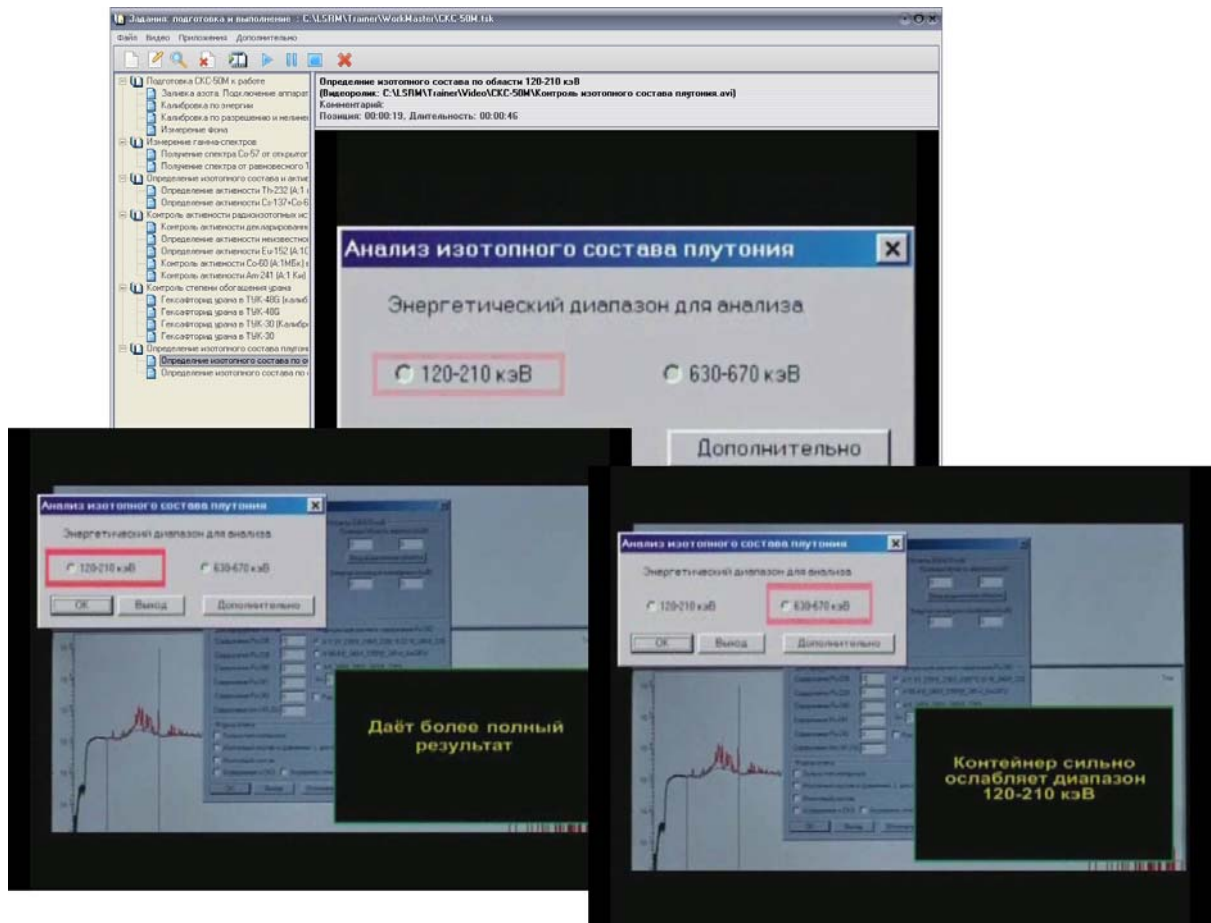


Рисунок 3-32. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль изотопного состава плутония.

### 3.6.1 Определение изотопного состава по области 120-210 кэВ

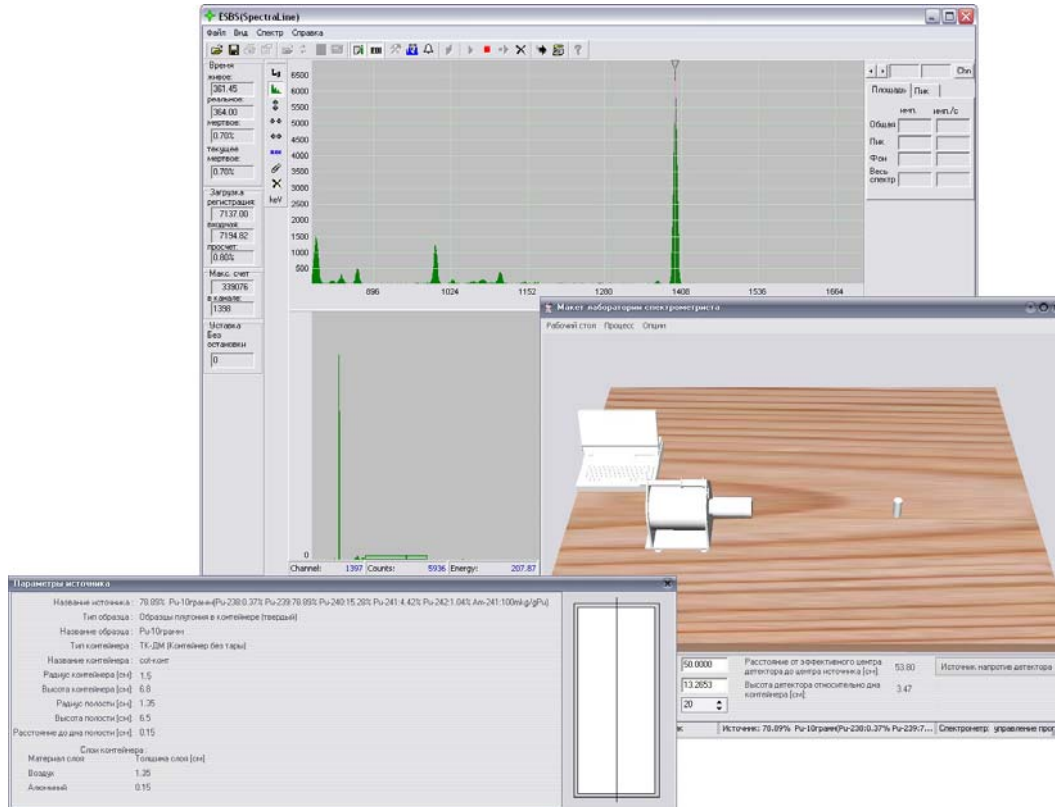


Рисунок 3-33. Спектр Pu (10 гр) 78.89% Pu-239

### 3.6.2 Определение изотопного состава по области 630-670 кэВ

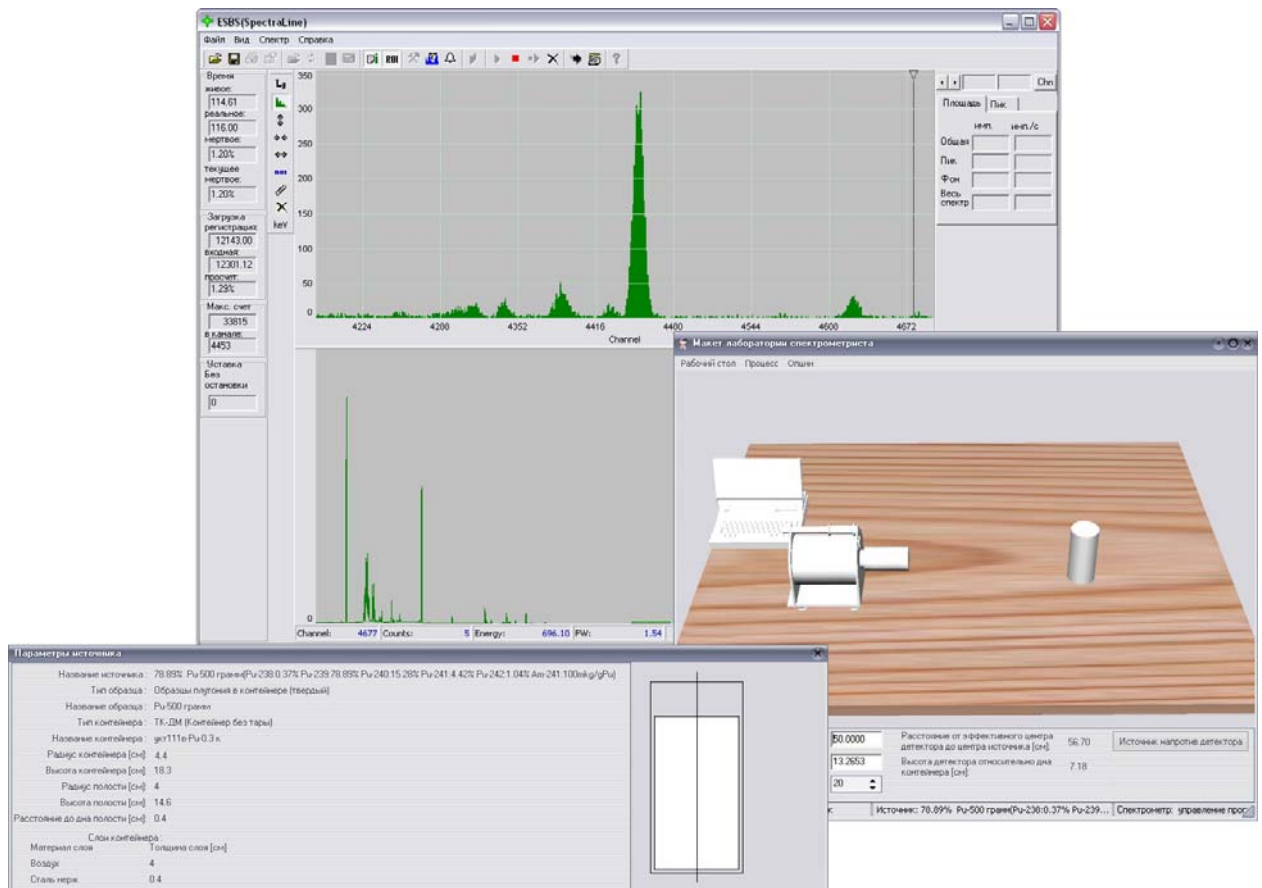


Рисунок 3-34. Спектр Pu (500 гр) -78.89% Pu-239

## Содержание разделов тренажера для спектрометра Гамма-1С/НВ1

### 3.7 Подготовка Гамма-1С/НВ1 к работе

#### 3.7.1 Подключение аппаратуры. Включение спектрометра

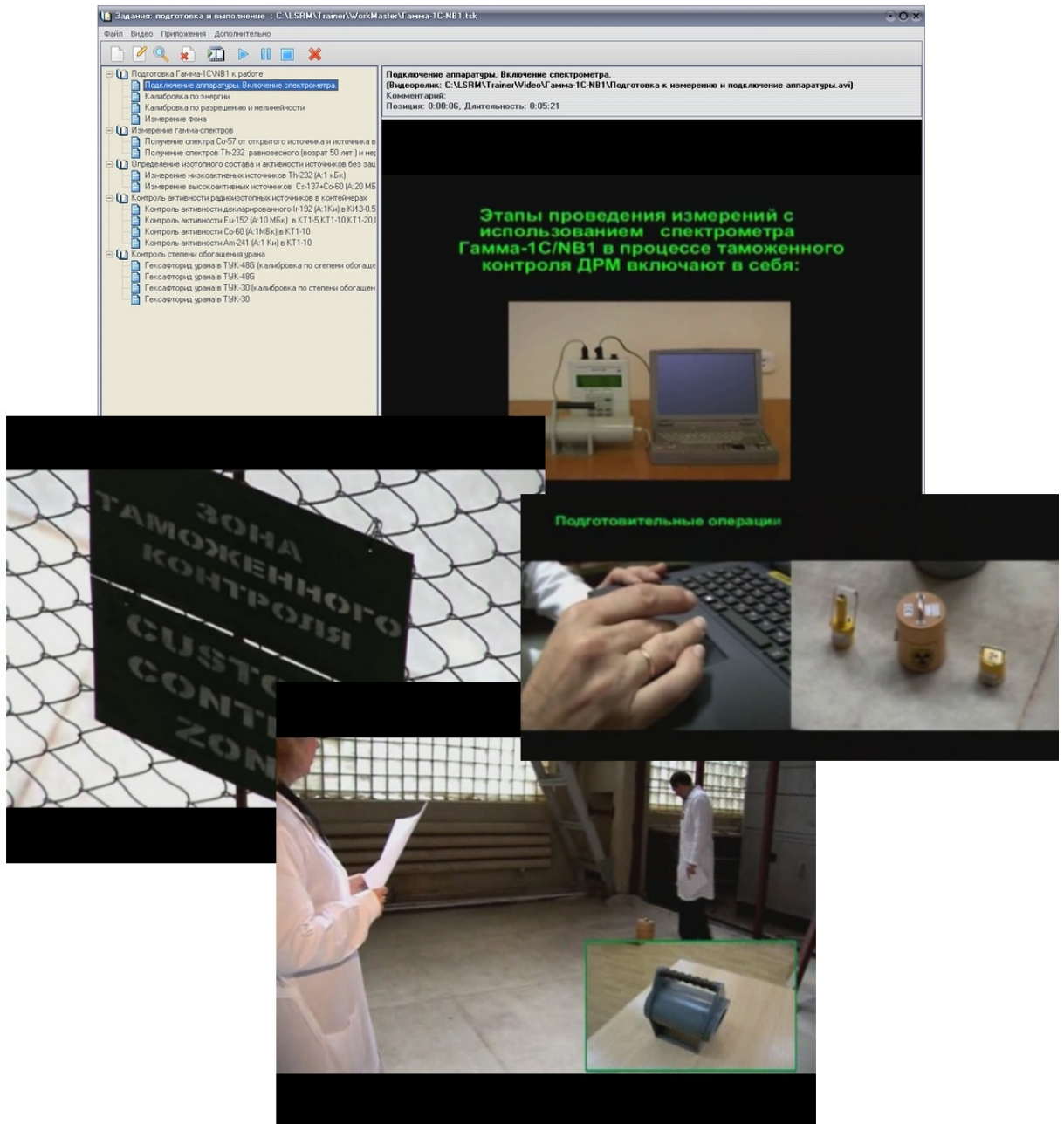


Рисунок 0-1. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего подготовку к измерению и подключение аппаратуры.

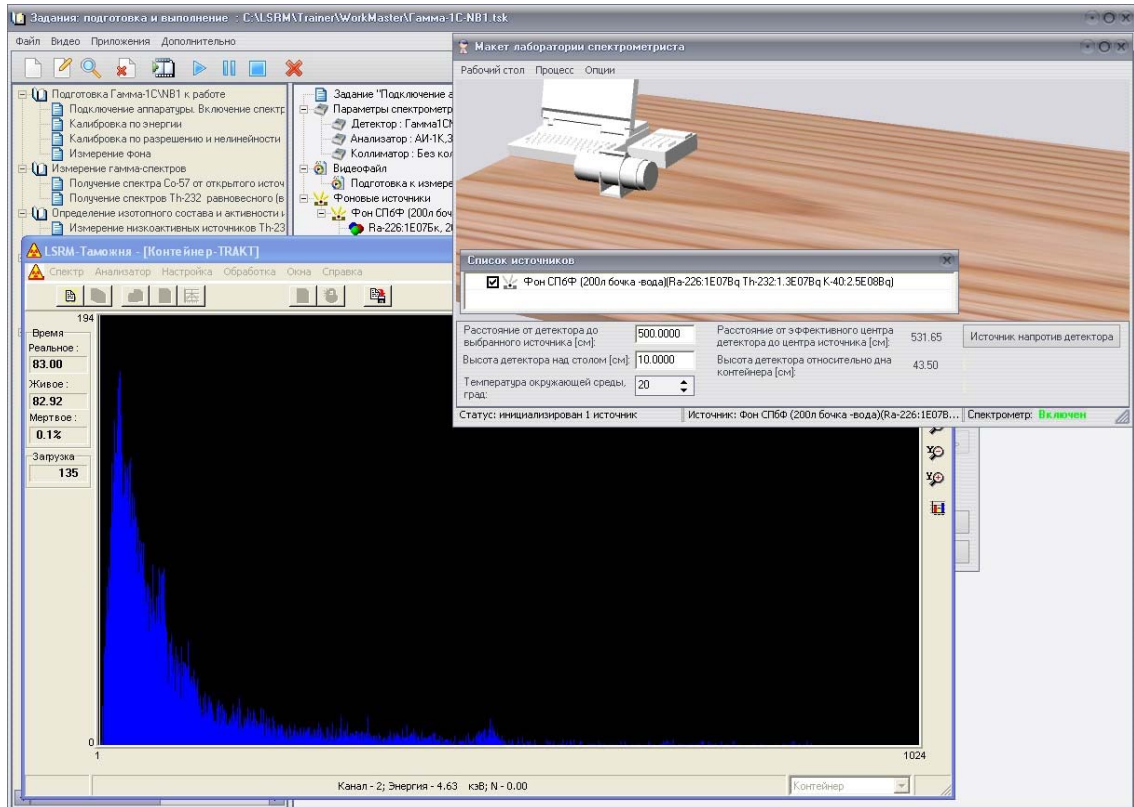


Рисунок 0-2 . Фон СПбФ (200л бочка –вода)

### 3.7.2 Калибровка по энергии

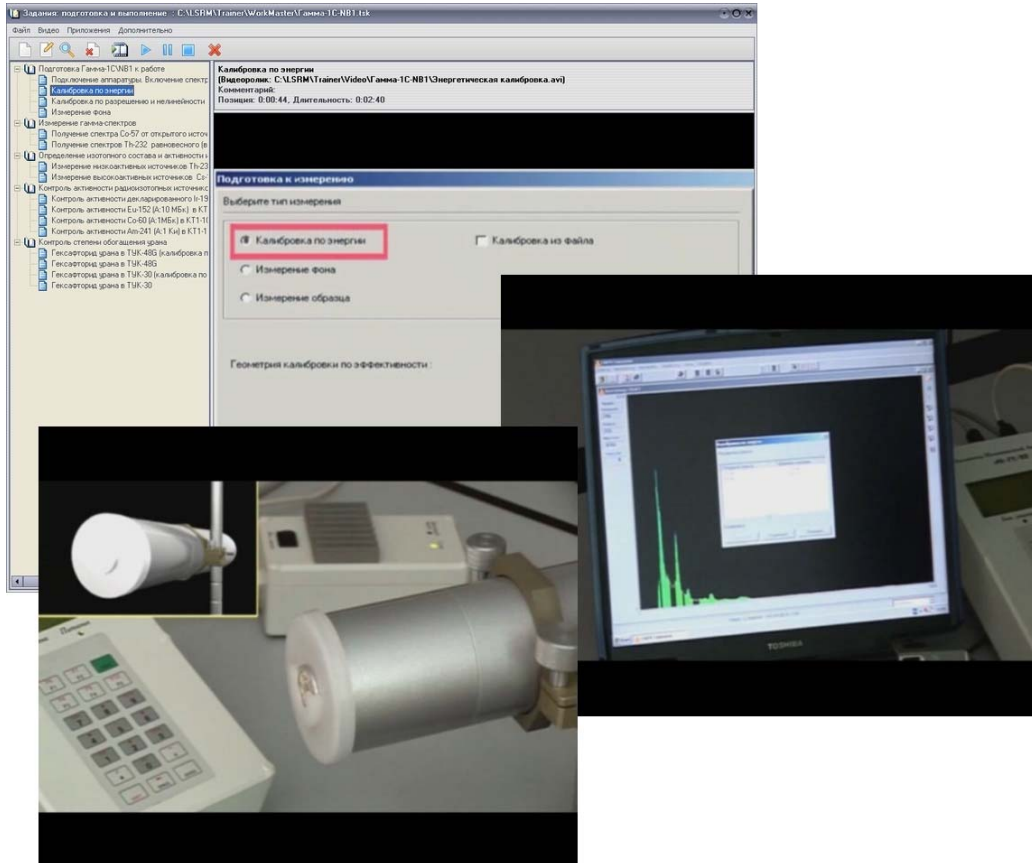


Рисунок 0-3 Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего калибровку по энергии

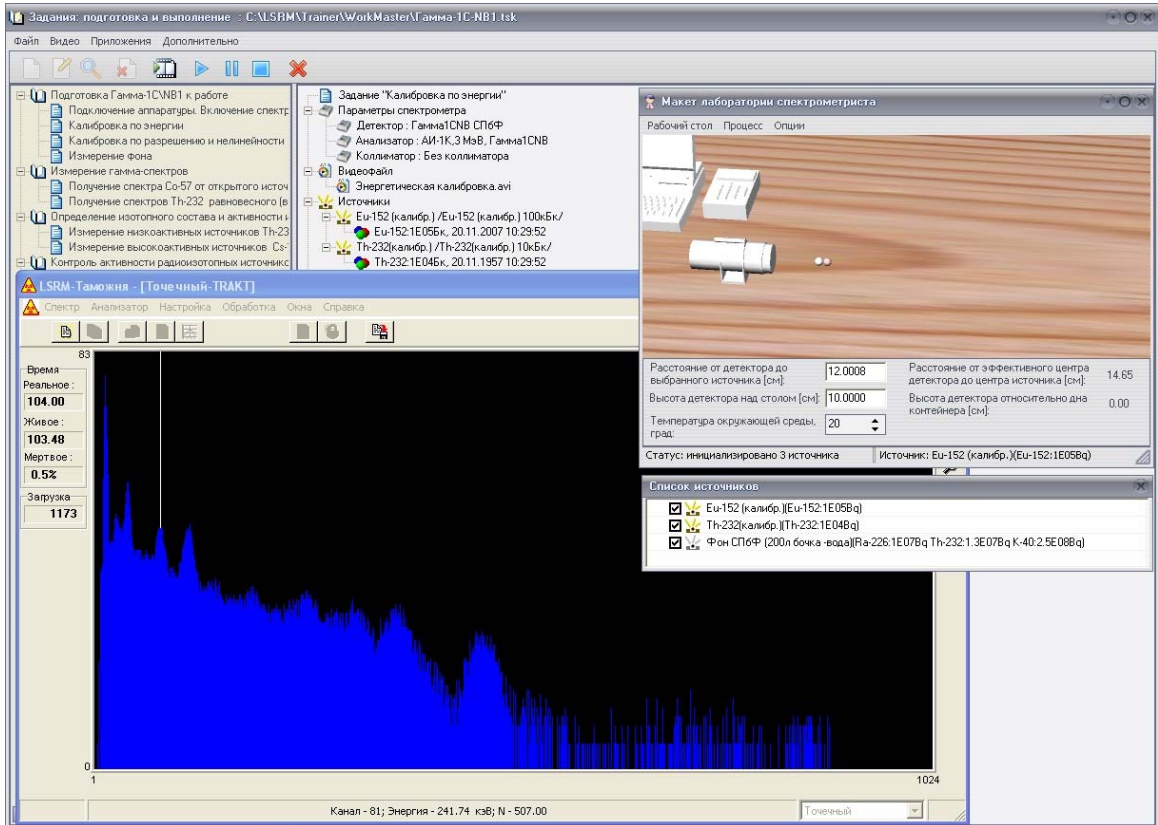


Рисунок 0-4 Калибровка по энергии (Eu-152, Th-232).

### 3.7.3 Калибровка по разрешению и нелинейности

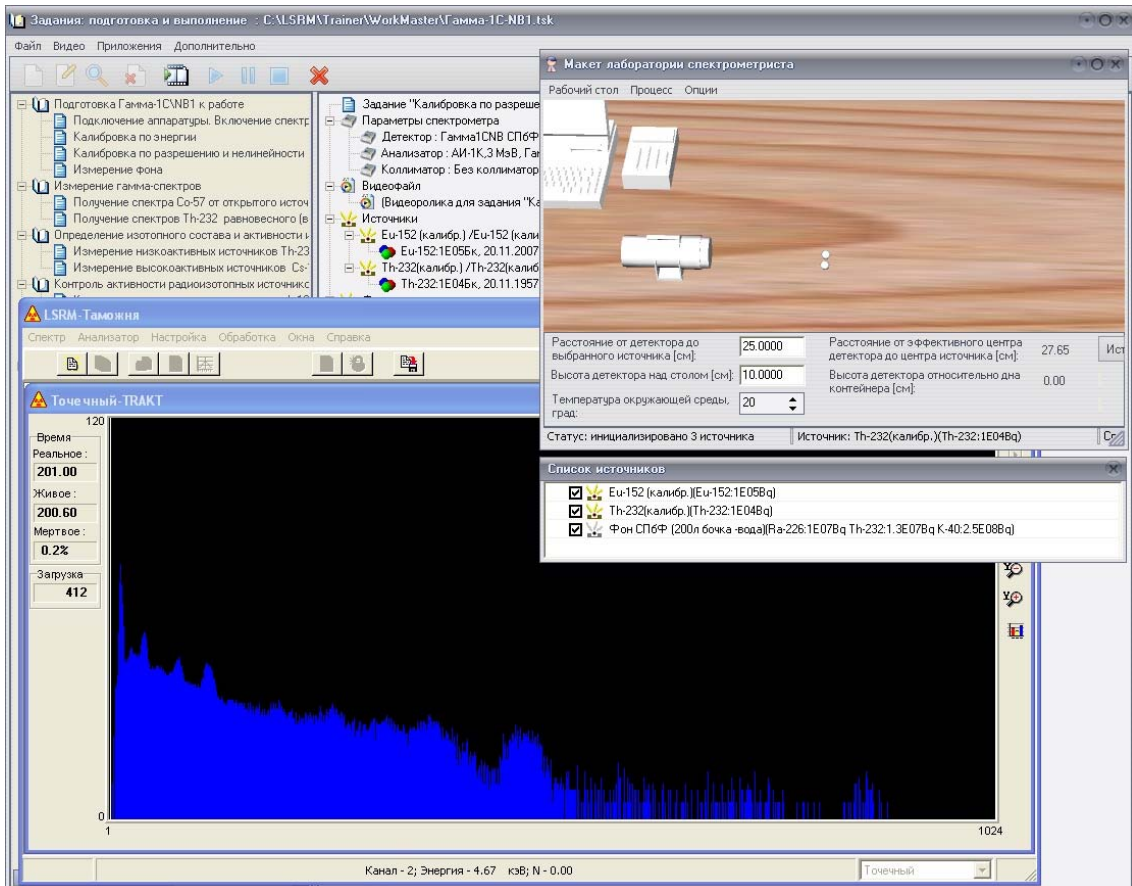


Рисунок 0-5 Калибровка по разрешению и нелинейности (E-152, Th-232).

### 3.7.4 Измерение фона

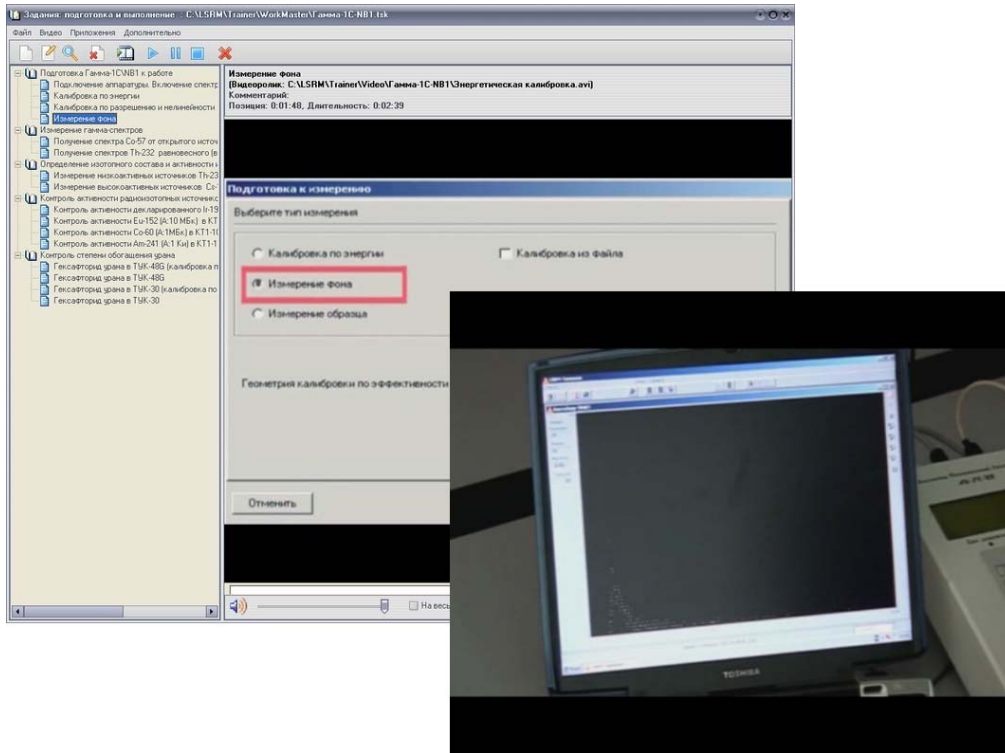
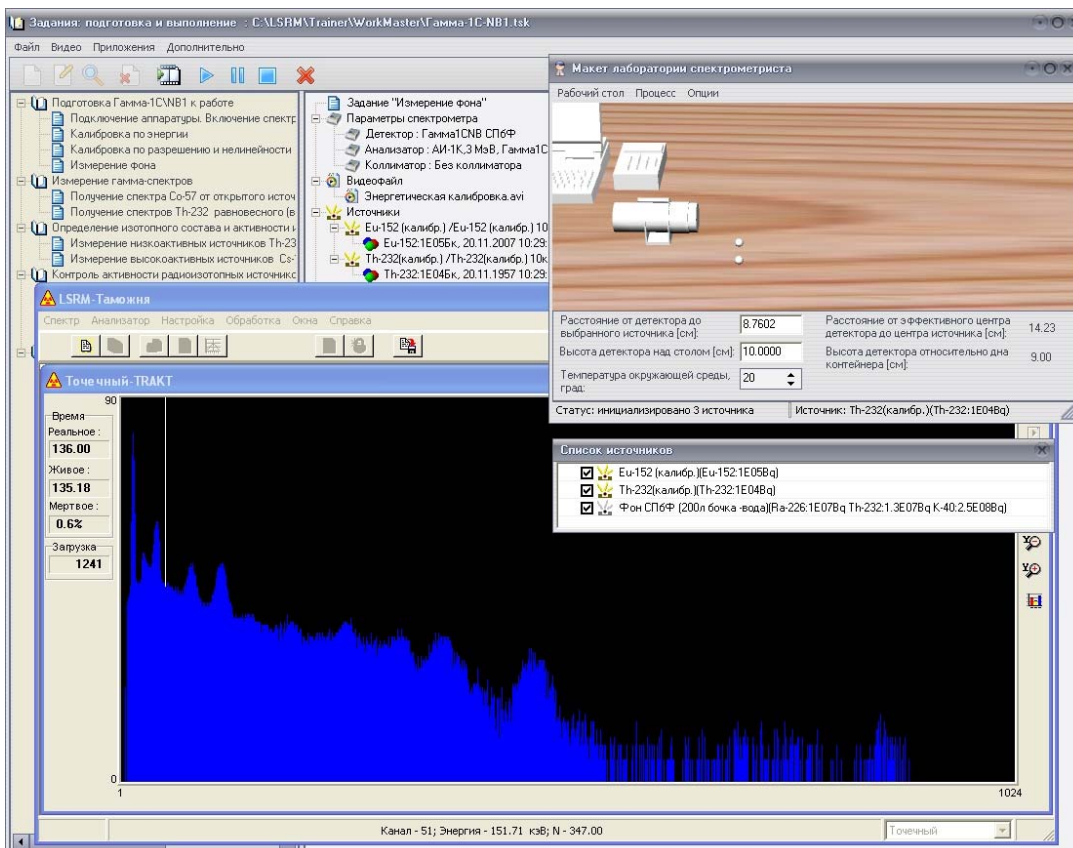
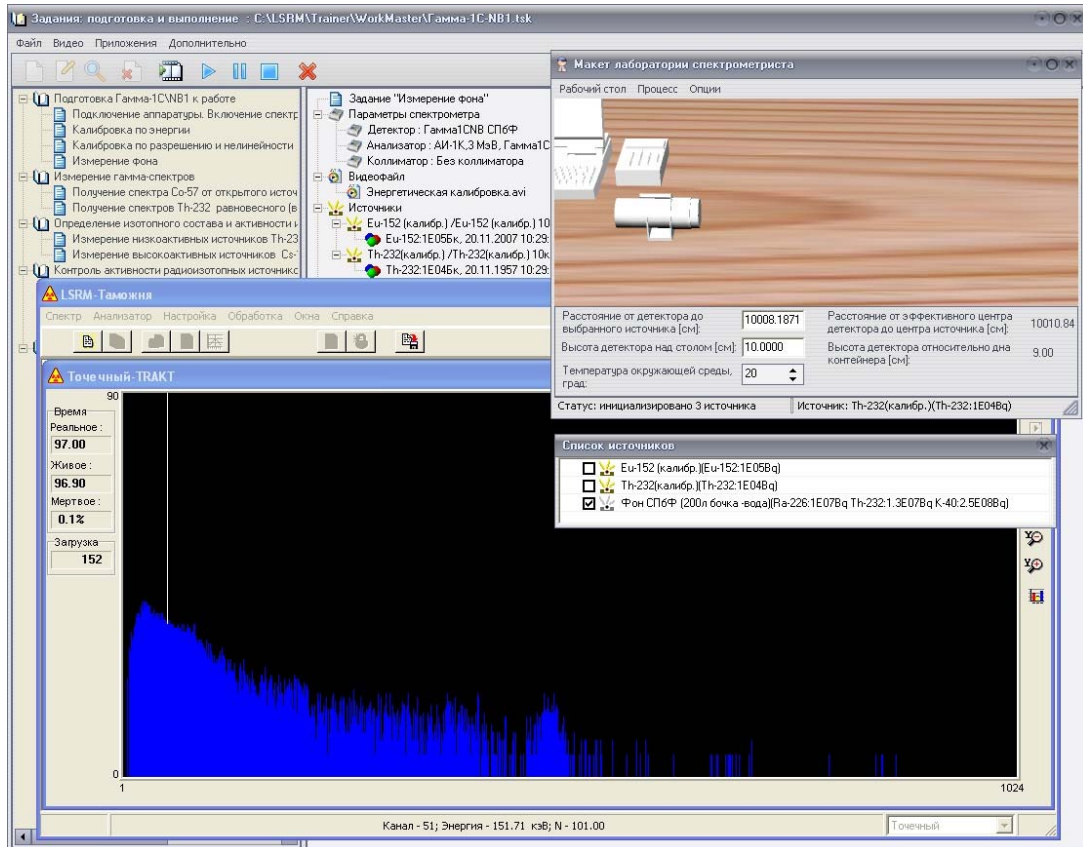


Рисунок 0-6 Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего измерение фона



а) Источники на столе присутствуют



б) Источники удалены со стола

Рисунок 0-7 Измерение фона. Приведены спектры для сравнения с источниками на столе (а) и когда источники удалены (б).



## 3.8 Измерение гамма-спектров

### 3.8.1 Получение спектра Co-57 от открытого источника и источника в контейнере

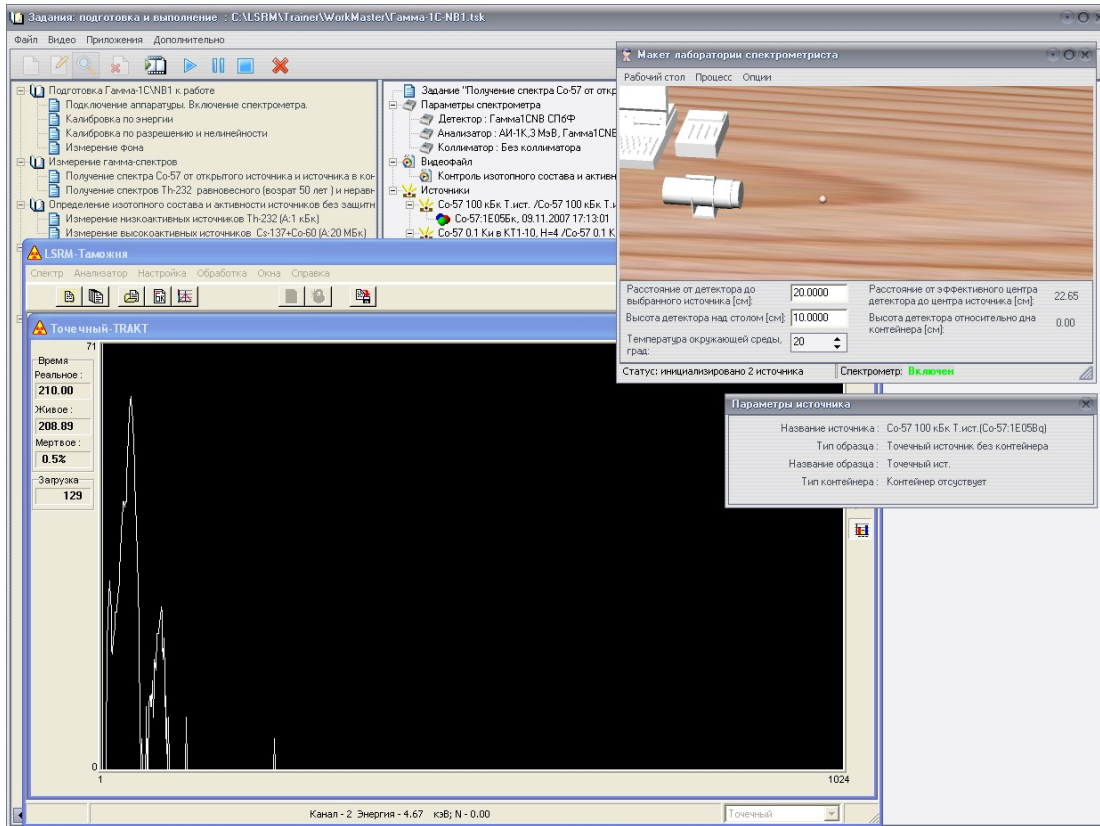


Рисунок 0-8. Спектр открытого источника Co-57

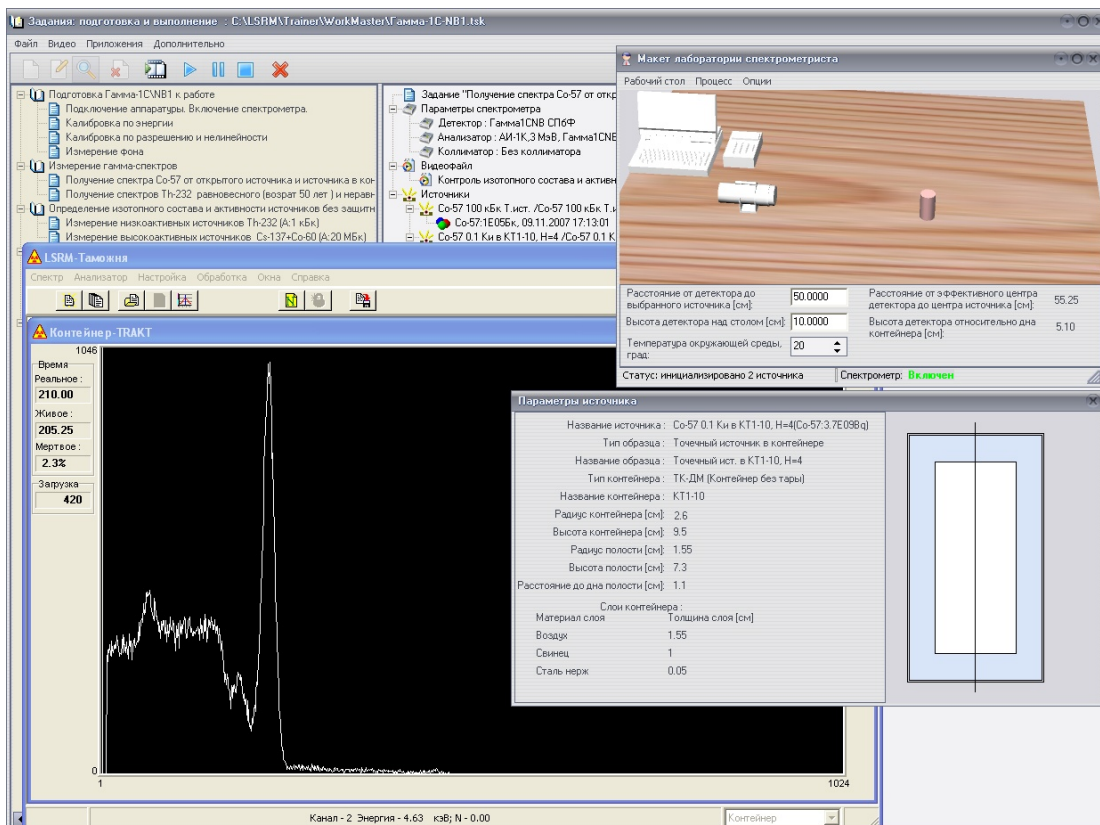


Рисунок 0-9. Спектры источника Co-57 в контейнере КТ1-10

### 3.8.2 Получение спектров Th-232 равновесного (возраст 50 лет) и неравновесного (возраст 1 год)

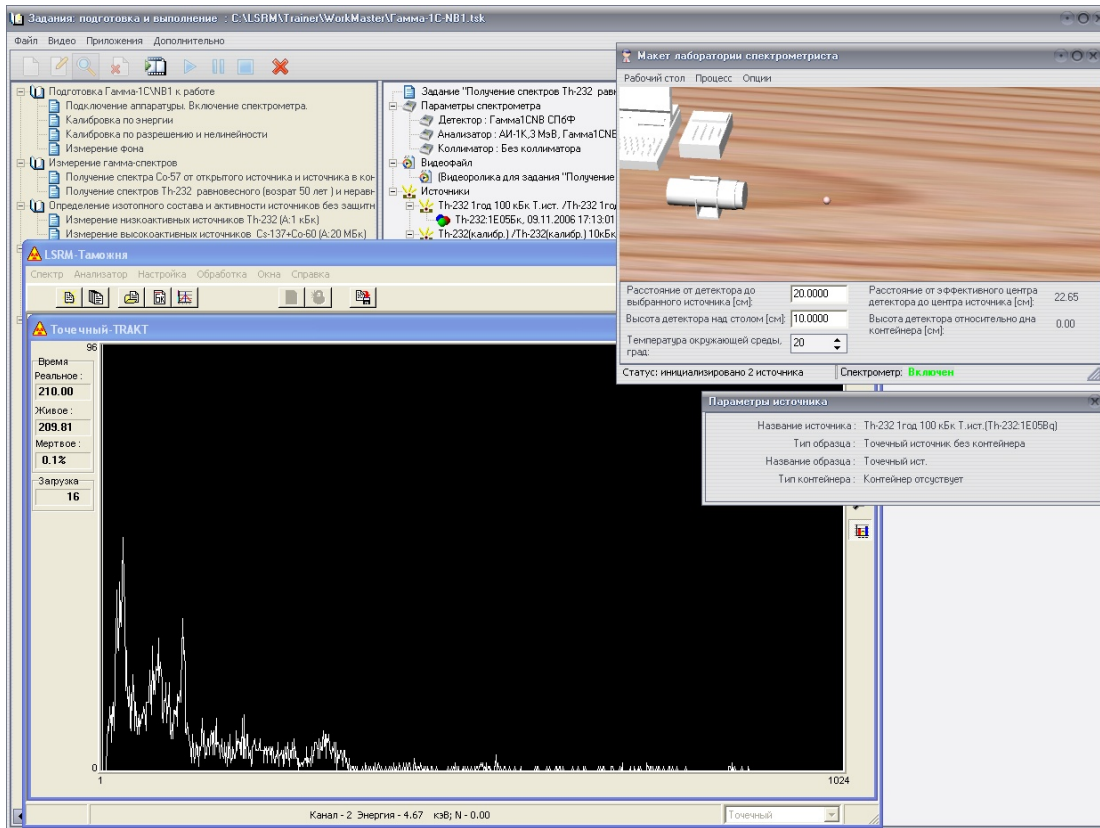


Рисунок 0-10. Спектр неравновесного (возраст 1 год).

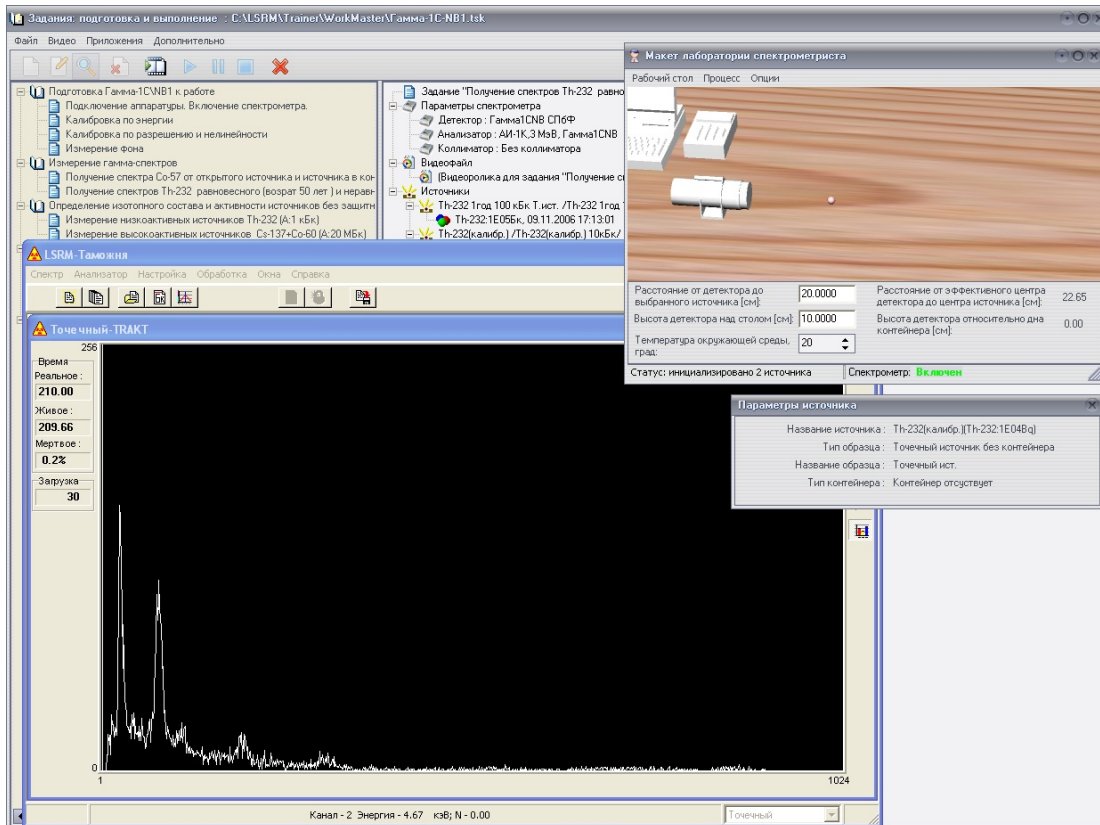


Рисунок 0-11. Спектр от равновесного Th-232 (возраст 50 лет).

## 3.9 Определение изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров

### 3.9.1 Измерение низкоактивных источников Th-232 (A:1 кБк)

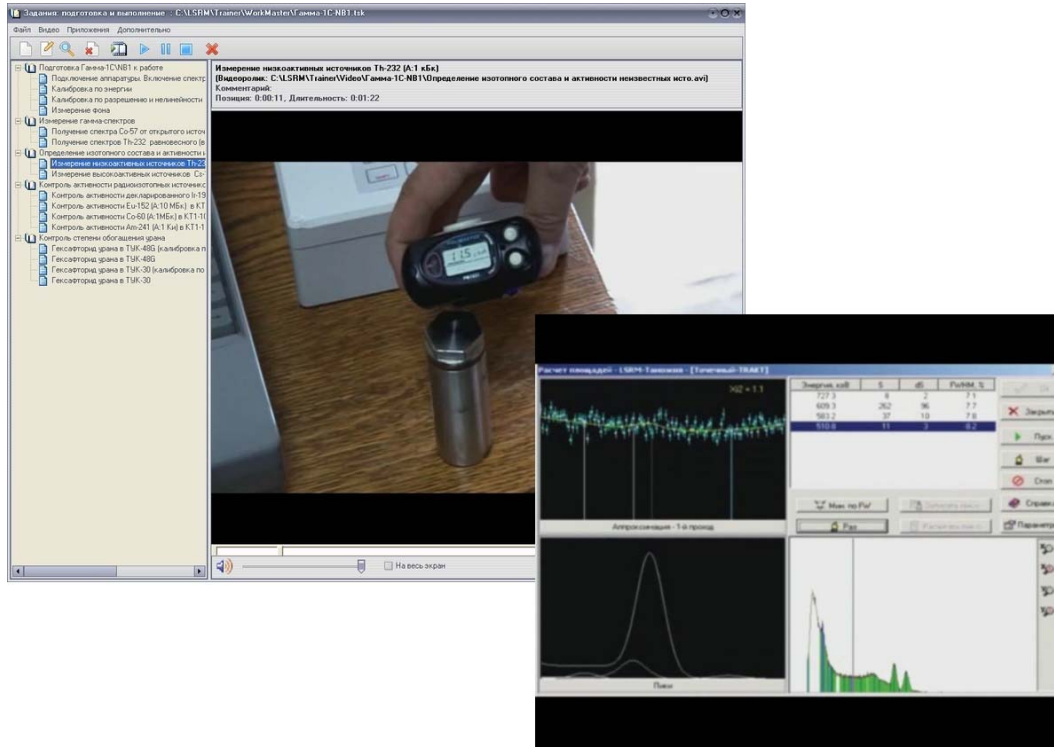


Рисунок 0-12. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров.

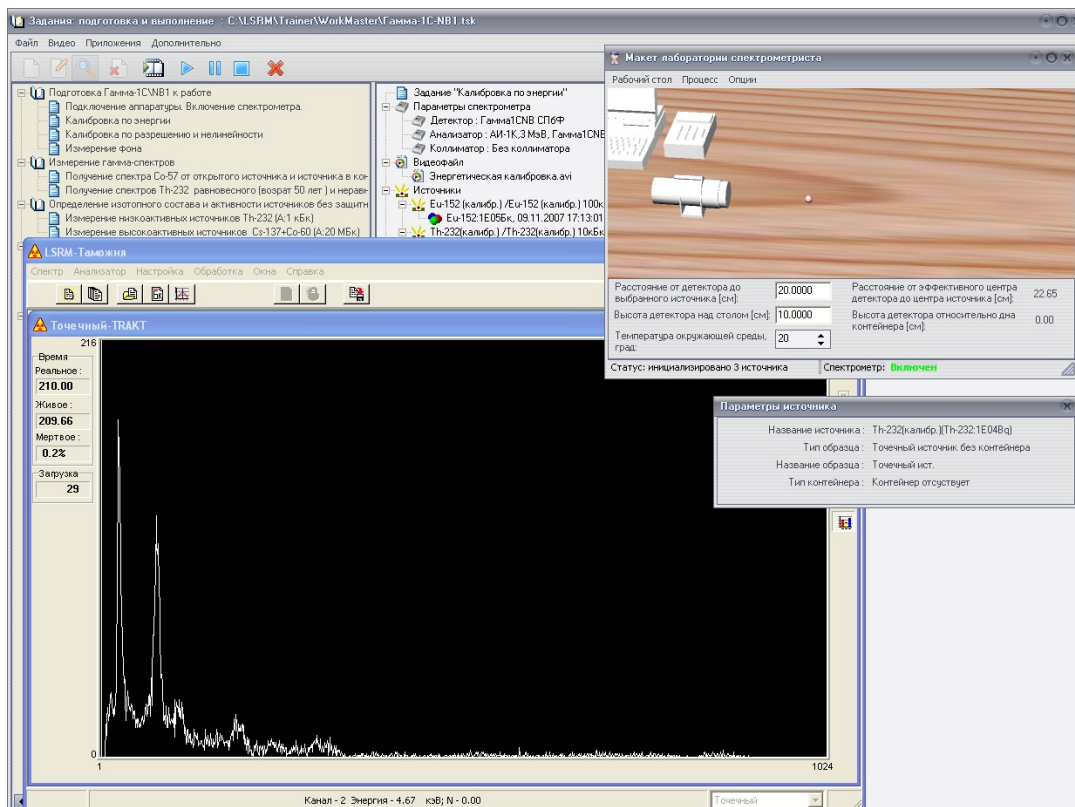


Рисунок 0-13. Спектр Th-232 (A:1 кБк).

### 3.9.2 Измерение высокоактивных источников Cs-137+Co-60 (A:20 МБк)

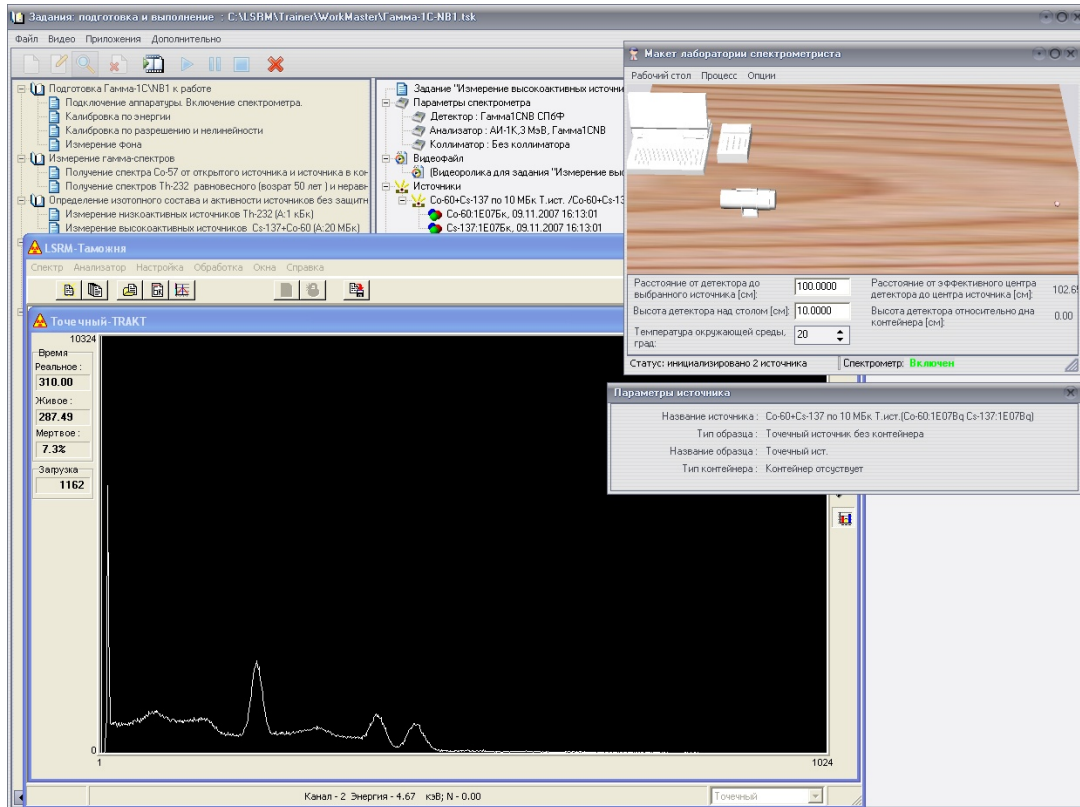


Рисунок 0-14. Спектр Cs-137+Co-60 (A:20 МБк).

### 3.10 Контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах

#### 3.10.1 Контроль активности декларированного Iг-192 (A:1Ки) в КИЗ-0.5

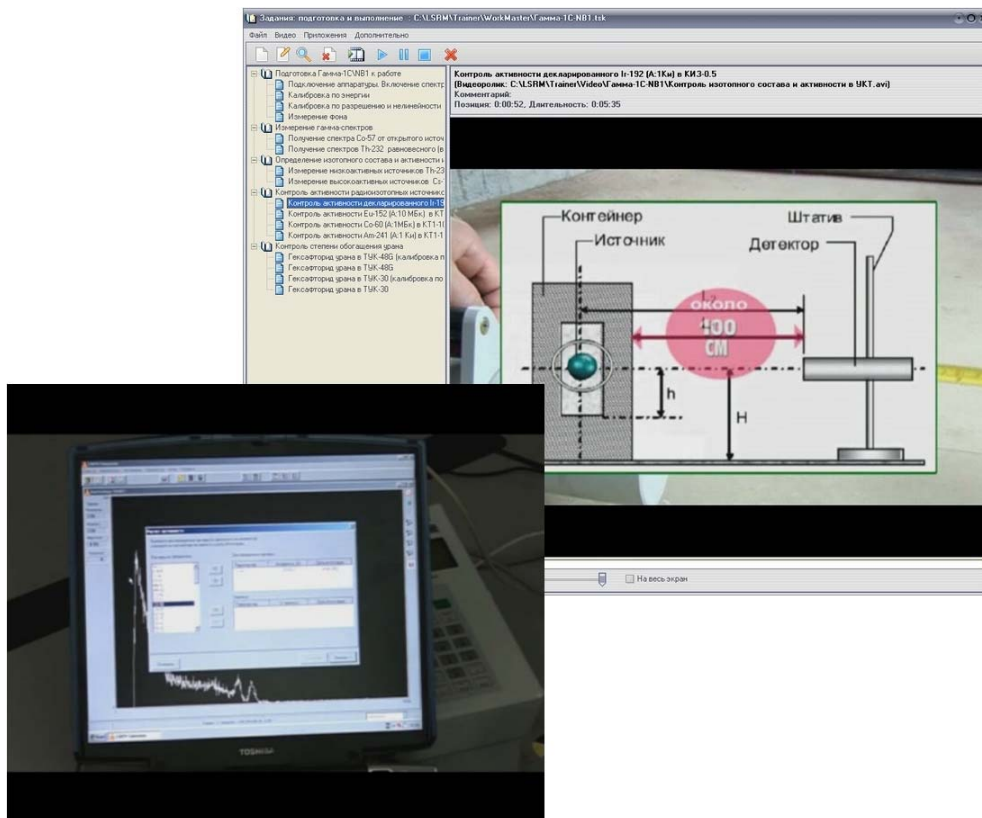


Рисунок 0-15. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах.

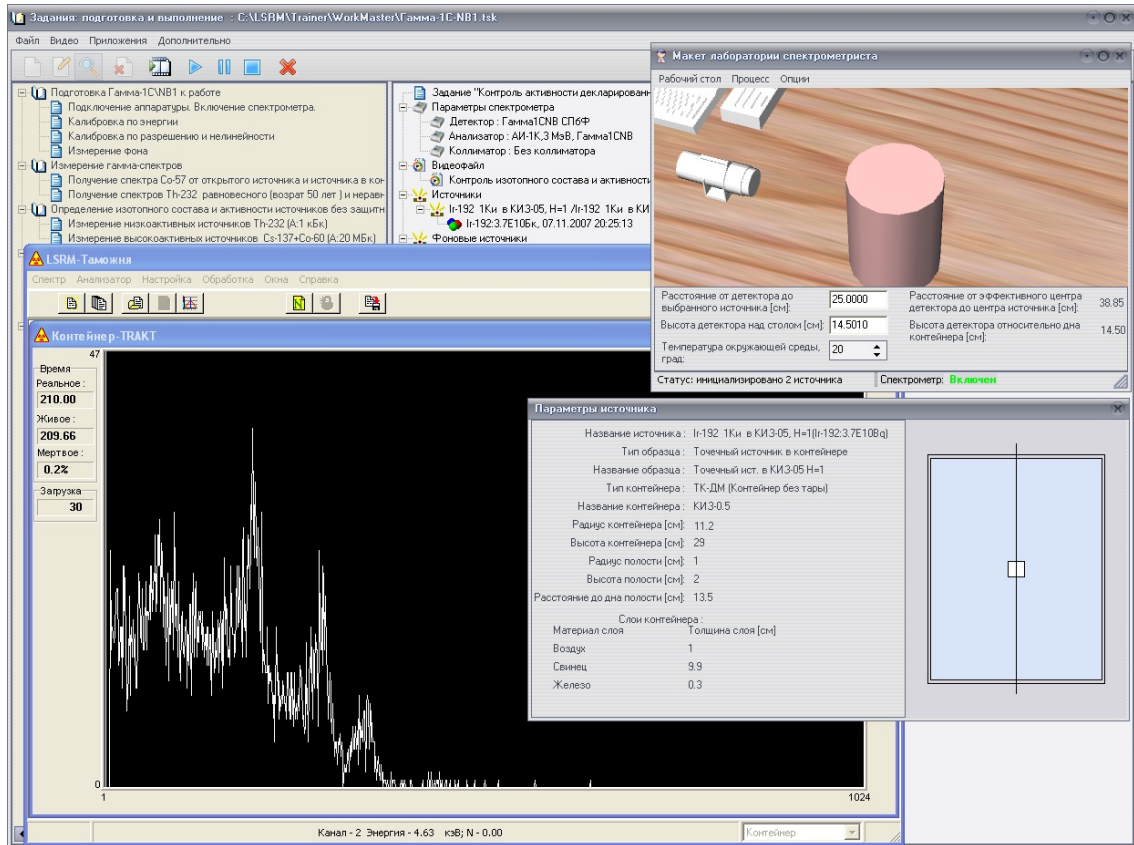


Рисунок 0-16. Спектр Ir-192 (A:1Ки) в KI3-0.5.

### 3.10.2 Контроль активности Eu-152 (A:10 МБк) в КТ1-5,КТ1-10,КТ1-20,КИЗ-29

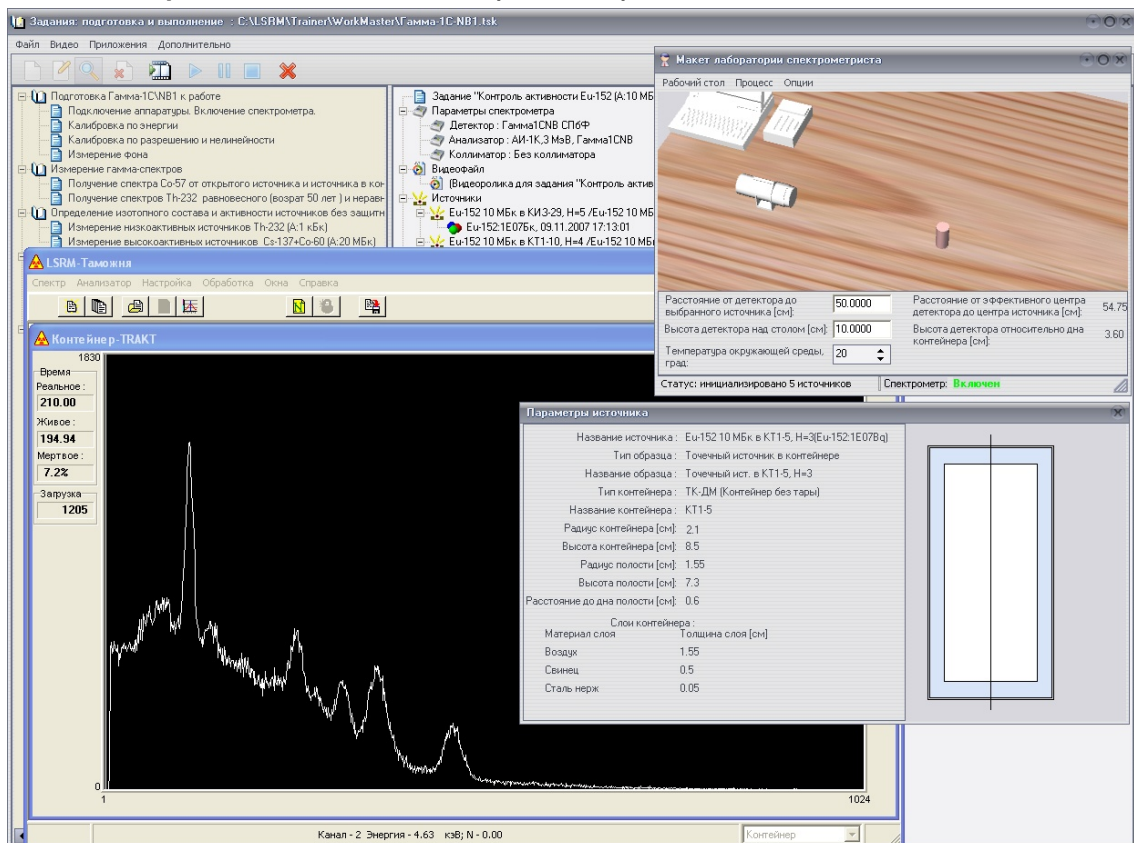


Рисунок 0-17. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-5.

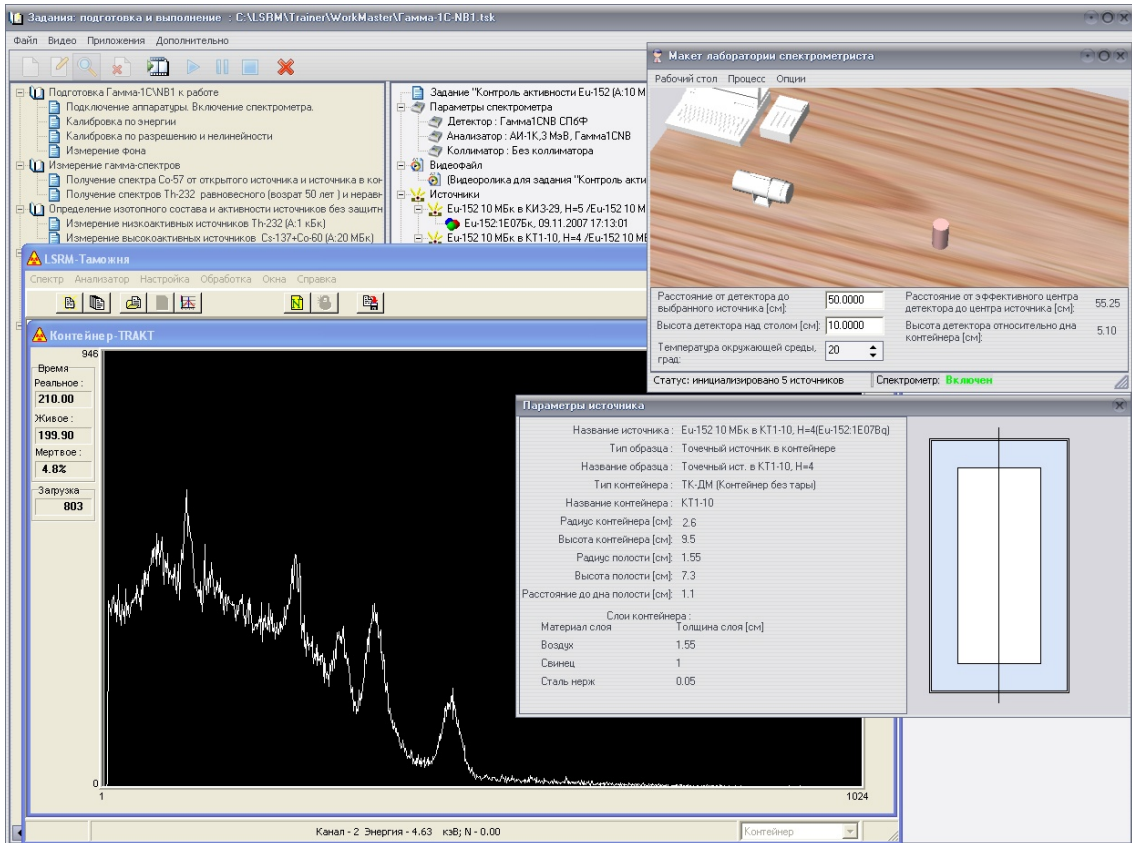


Рисунок 0-18. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-10

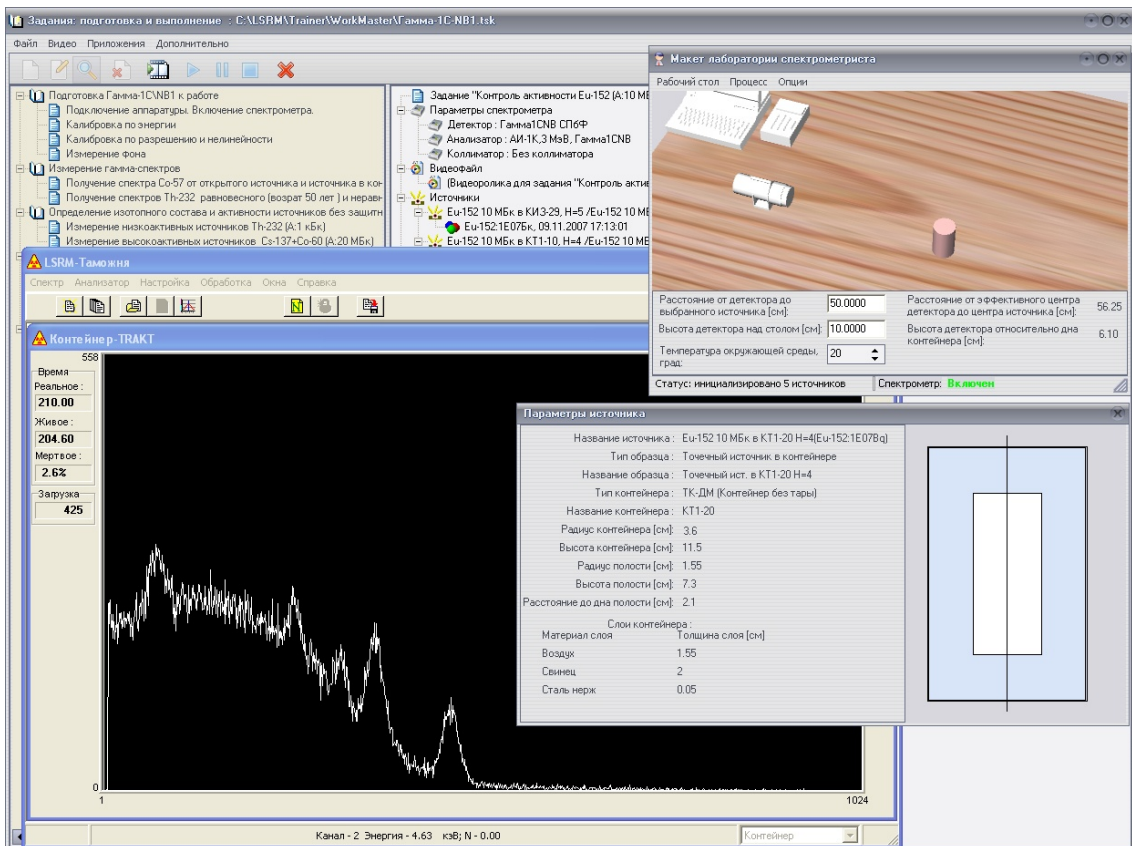


Рисунок 0-19. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-20

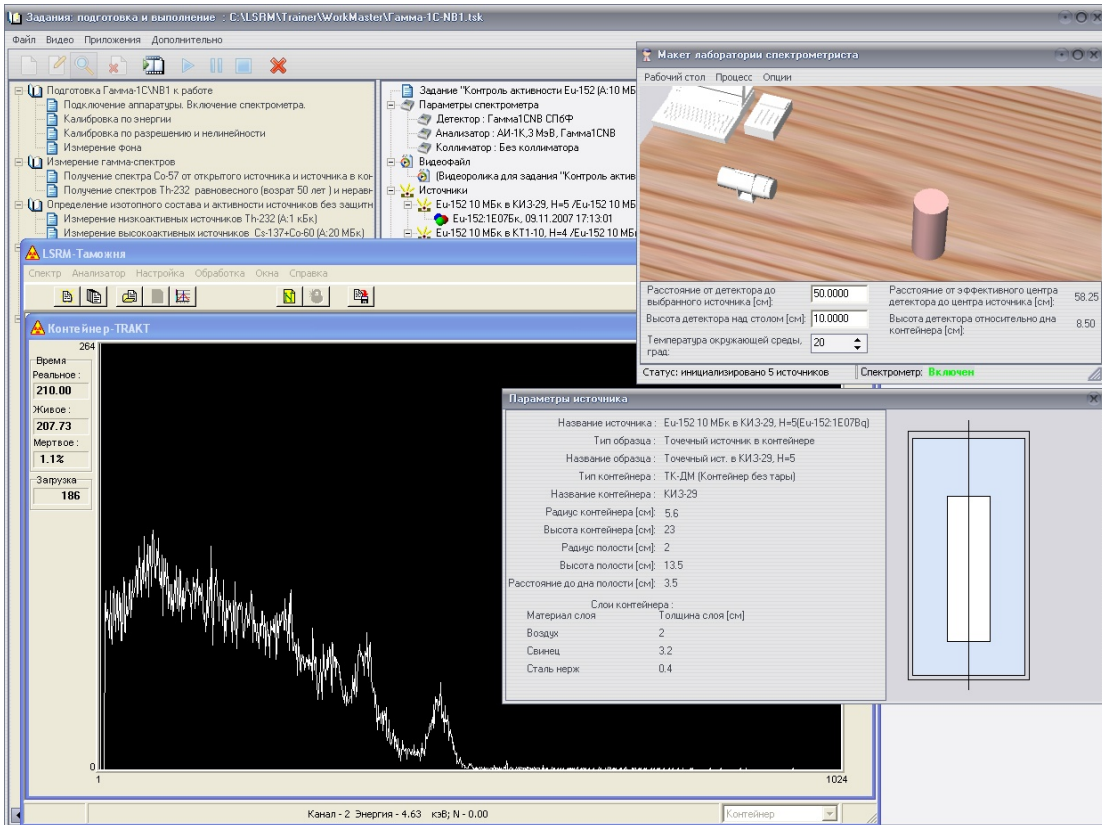


Рисунок 0-20. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КИЗ-29

### 3.10.3 Контроль активности Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10

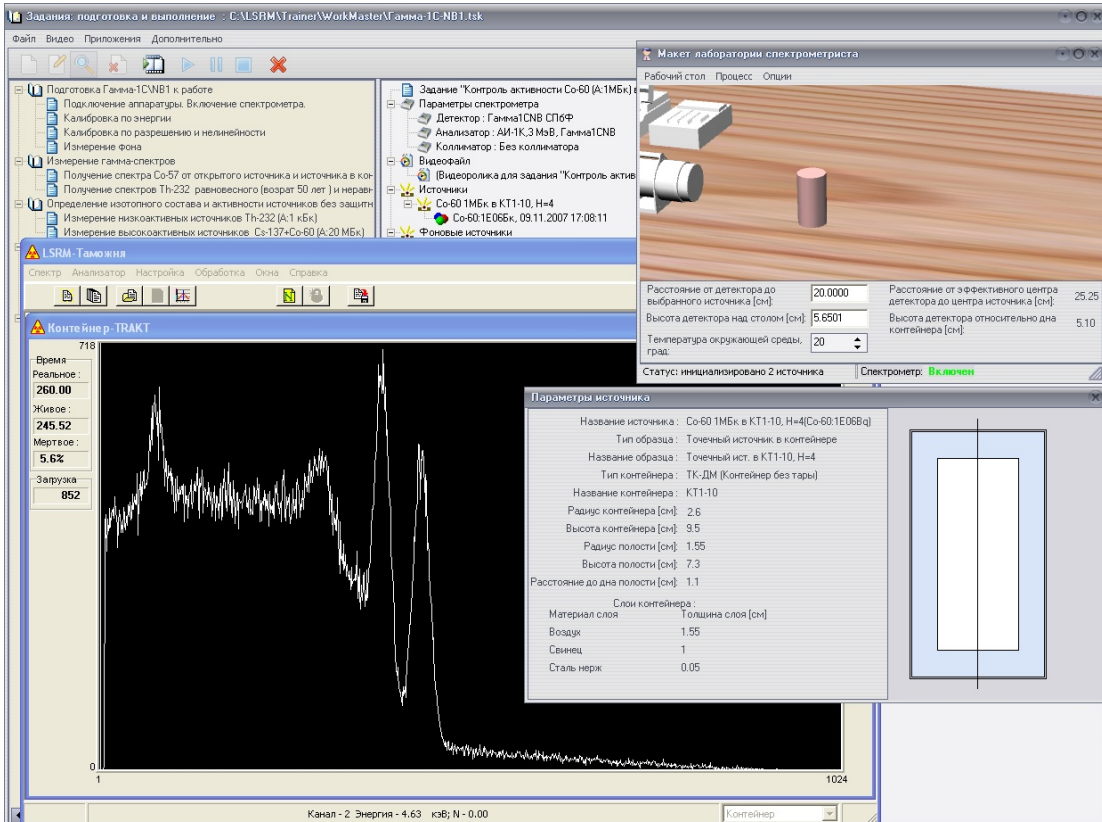


Рисунок 0-21. Спектр Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10

### 3.10.4 Контроль активности Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10

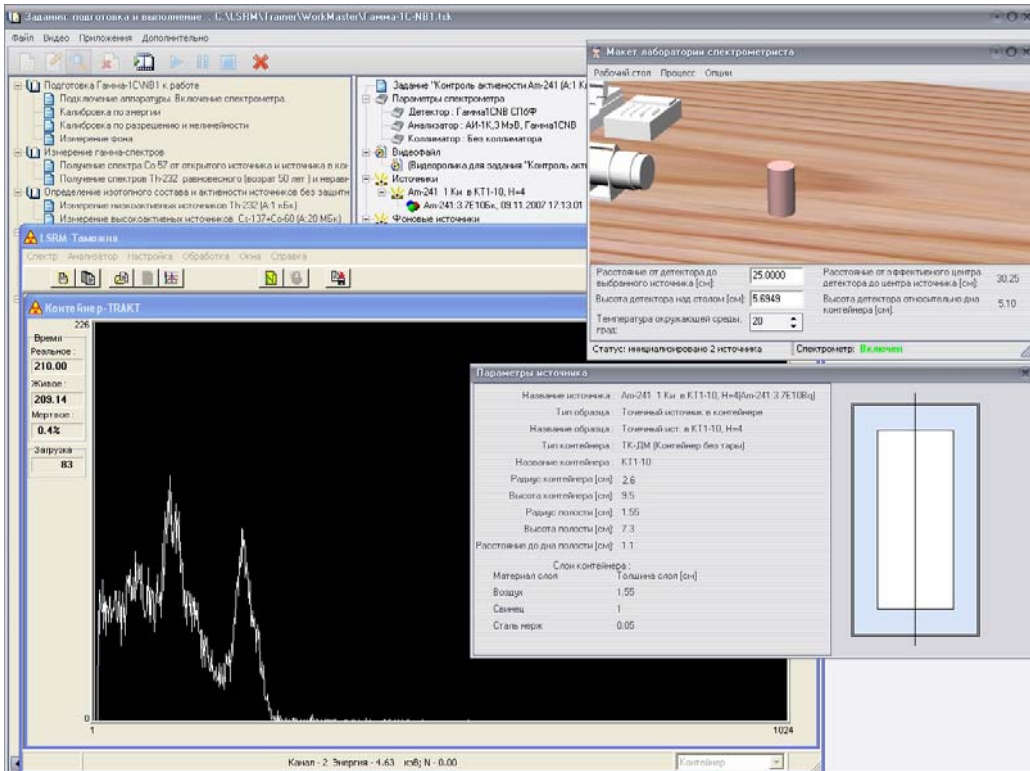


Рисунок 0-22. Спектр Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10

### 3.11 Контроль степени обогащения урана

#### 3.11.1 Гексафторид урана в ТУК-48G (калибровка по степени обогащения)

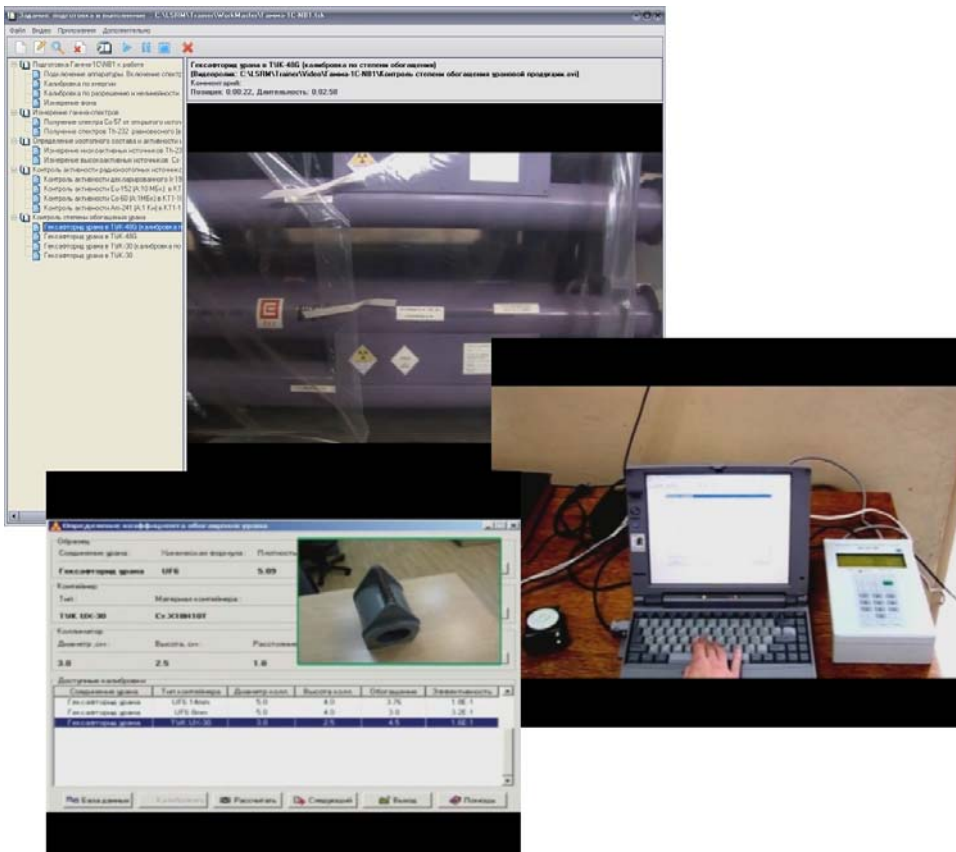


Рисунок 0-23. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль степени обогащения урана.



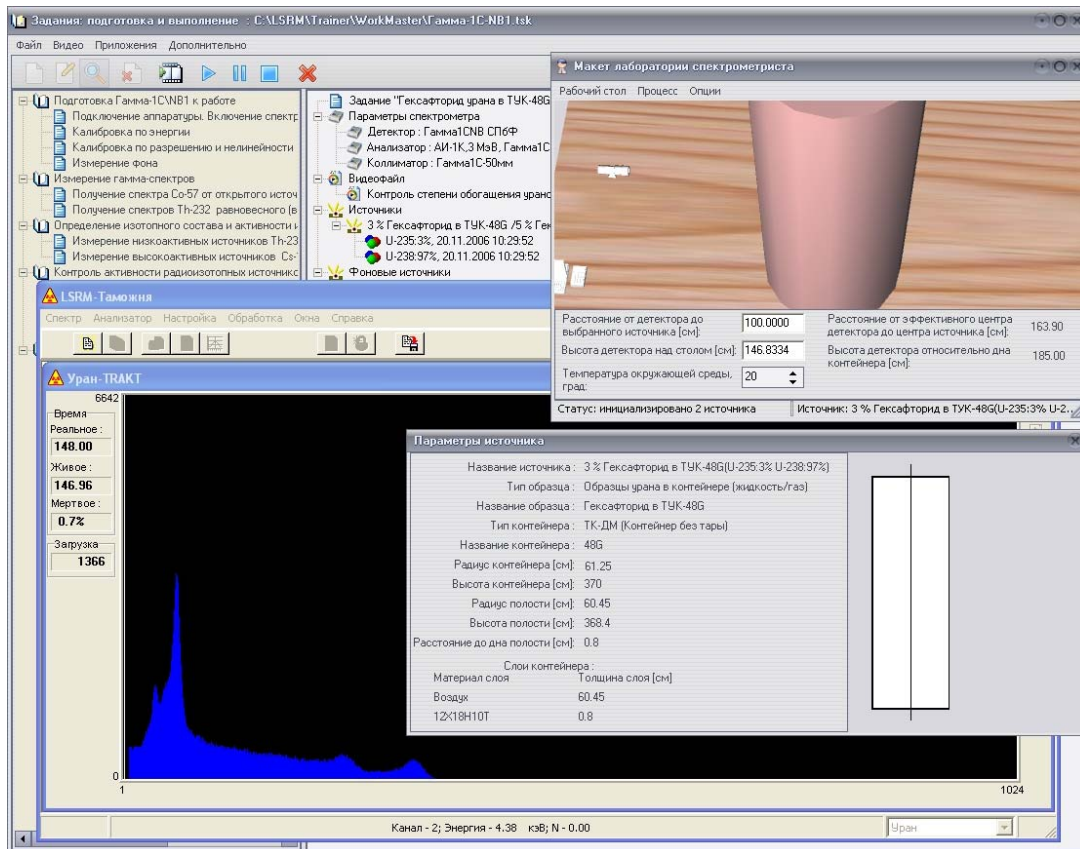


Рисунок 0-24 Гексафторид урана (степень обогащения 3%) в ТУК-48G

### 3.11.2 Гексафторид урана в ТУК-48G

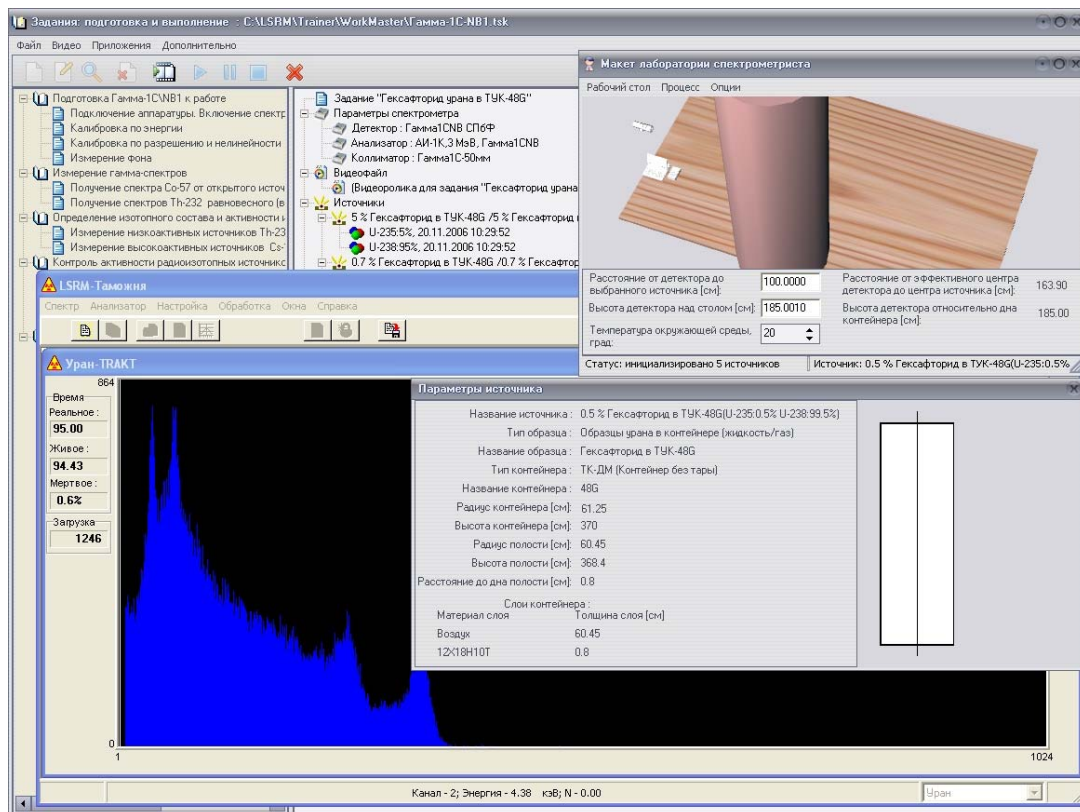


Рисунок 0-25 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.5%) в ТУК-48G

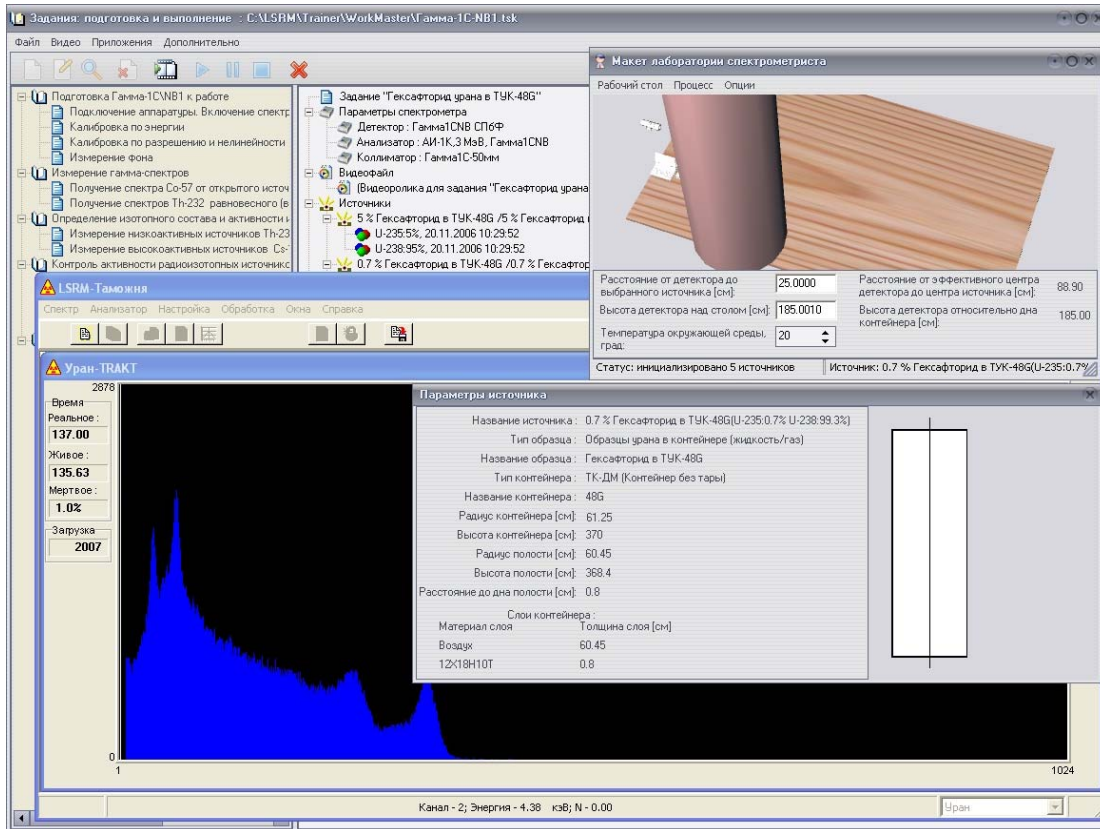


Рисунок 0-26 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-48G

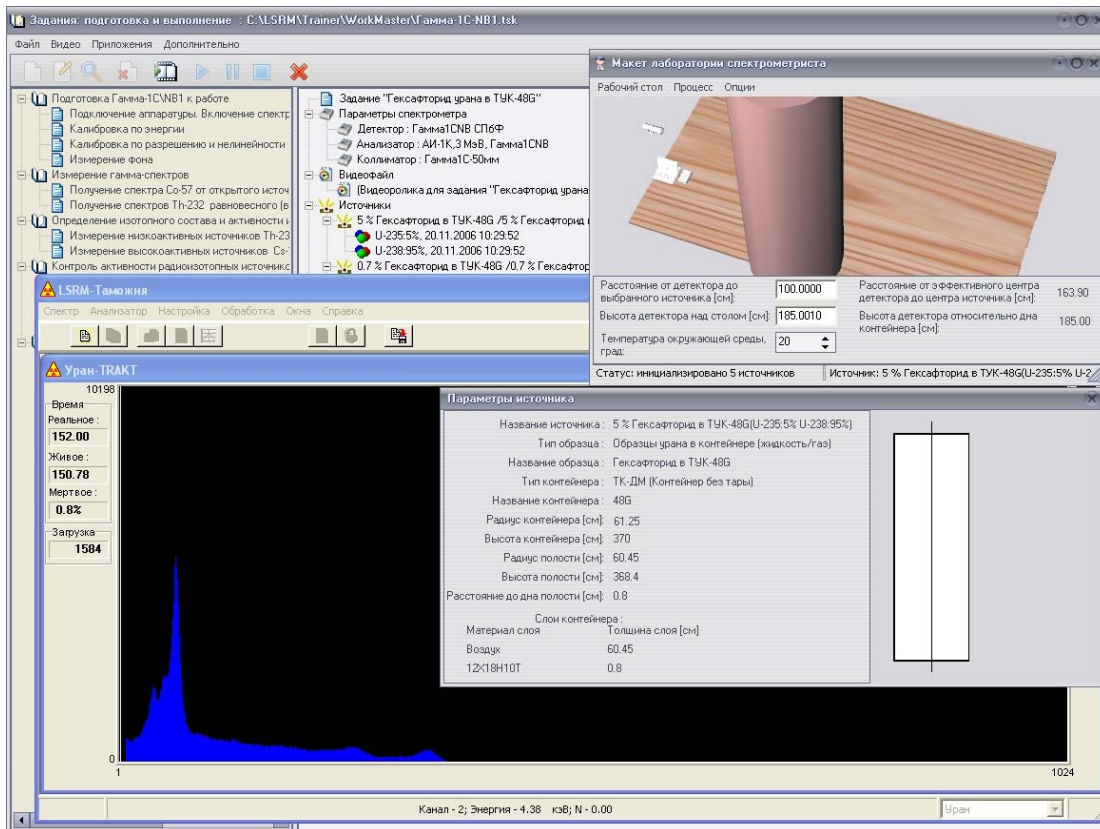


Рисунок 0-27 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 5%) в ТУК-48G

### 3.11.3 Гексафторид урана в ТУК-30 (калибровка по степени обогащения)

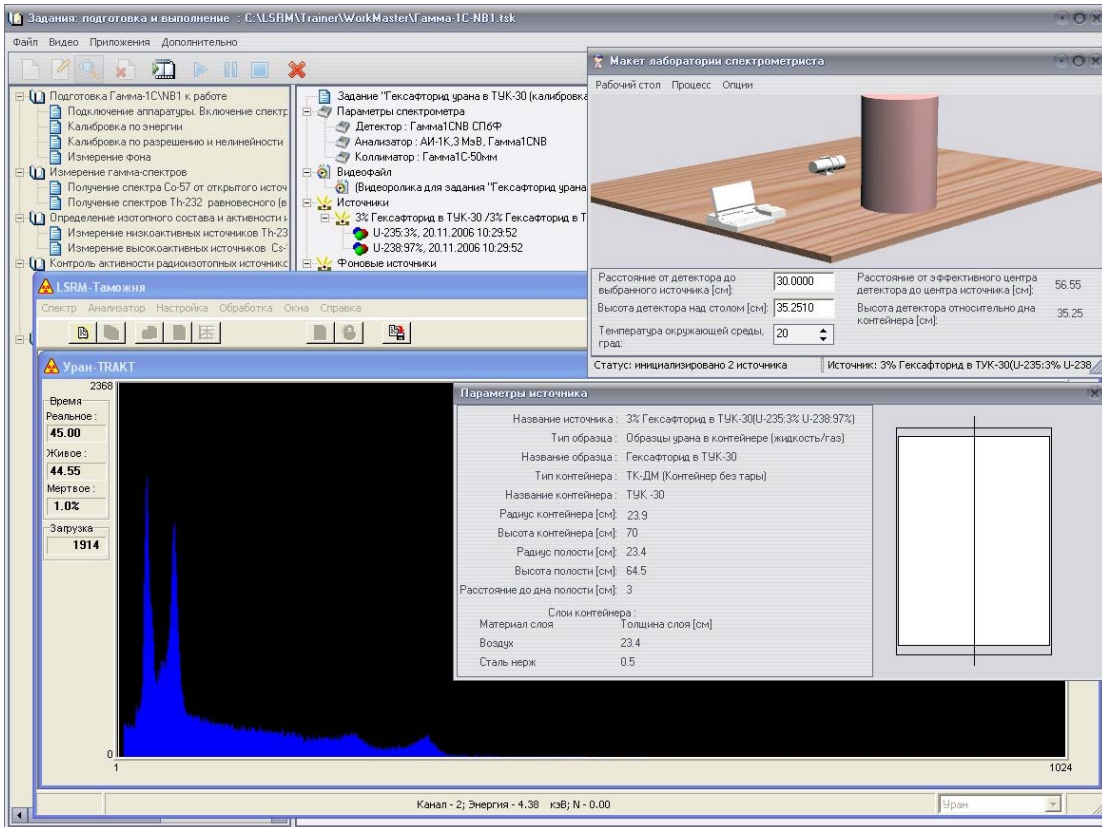


Рисунок 0-28 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-30

### 3.11.4 Гексафторид урана в ТУК-30

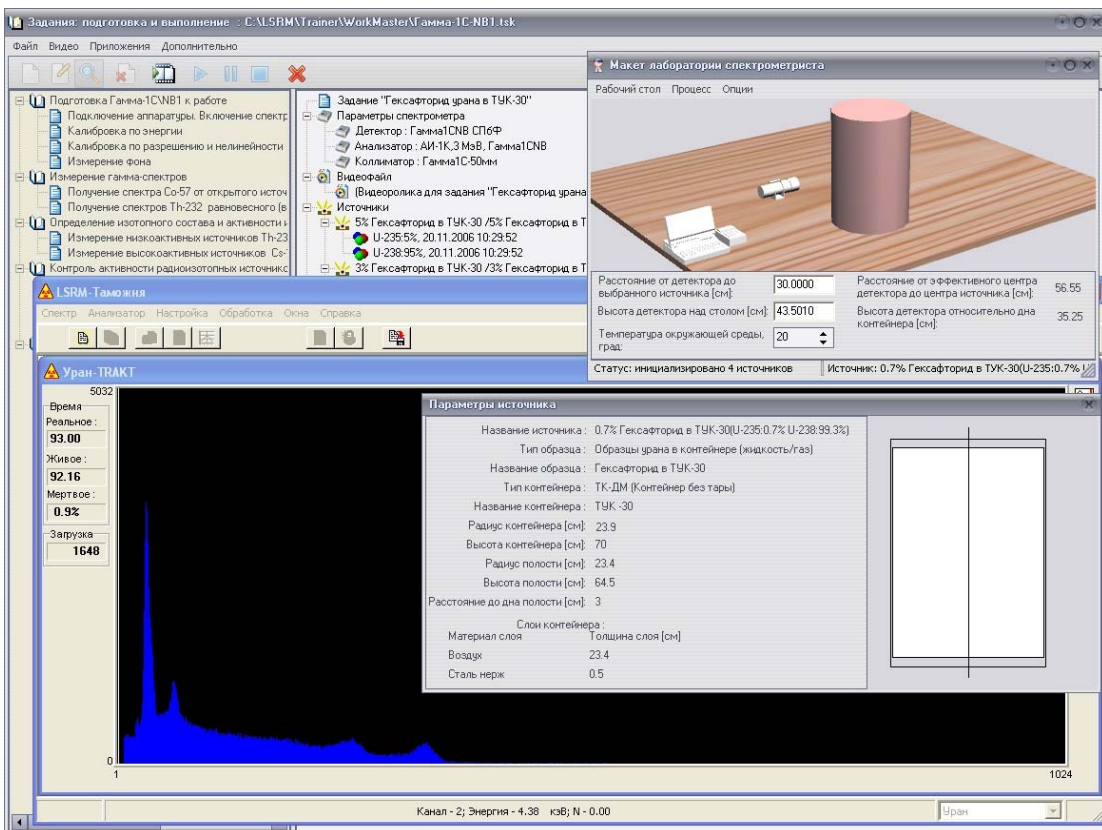


Рисунок 0-29 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-30

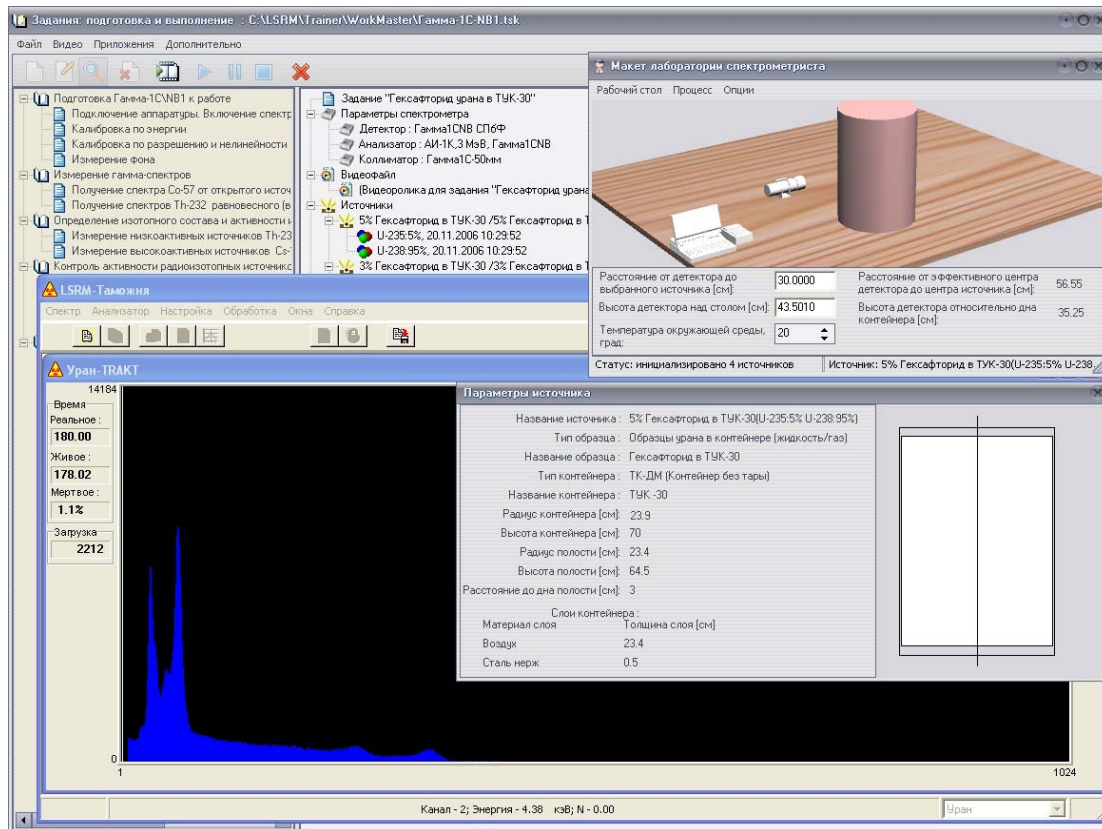


Рисунок 0-30 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 5%) в ТУК-30

## 4 Модуль для эмуляции действий спектрометриста OperatorEmulator. Основные возможности.

### 4.1 Введение

Модуль **OperatorEmulator** позволяет эмулировать действия спектрометриста на рабочем месте при проведении измерений. С помощью данного модуля можно:

- загружать объекты на рабочий стол, используя файл с заданием определенного формата;
- перемещать объекты по рабочему столу, эмулируя действия спектрометриста (перемещение источников и детектора относительно друг друга, измерение расстояния между ними);
- управлять параметрами спектрометра, эмулируя действия спектрометриста с внешним пультом анализатора (включение, выключение, поднятие высокого, сообщения от прибора об ошибках);
- работать со штатной программой спектрометра;

настраивать интерфейсную часть программы (выбирать стили компонентов, изменять размеры, положение статичных объектов).

### 4.2 Основные возможности программы

#### 4.2.1 Режимы работы программы

Программа поддерживает два режима работы: **Оператор** и **Администратор**.

Режим **Оператора** предназначен непосредственно для обучения, режим **Администратора** позволяет изменять содержание **Тренажера**. В дополнение к возможностям, предусмотренным в режиме **Оператор**, в режиме **Администратор** доступны следующие функции:

- просмотр и изменение положения фоновых источников, которые в режиме «Оператор» скрыты;
- сохранение настроек макета и положения измеряемых источников, в том числе и фоновых, в переданном файле с заданием;
- редактирование настроек макета: размеры, положение и модели статичных объектов.
- редактирование настроек тракта, определяющих наложение эффектов аппаратуры на эмулируемый спектр;

#### 4.2.2 Управление макетом лаборатории спектрометриста

Макет лаборатории спектрометриста представляет собой 3D-модель рабочего стола с расположенными на нем измеряемыми источниками и спектрометром. В состав макета входят следующие элементы:

- рабочий стол (см. раздел 4.2.2.1),
- измеряемые источники (см. раздел 4.2.2.2),
- спектрометр, состоящий из детектора (см. раздел 4.2.2.3), ноутбука и анализатора (см. раздел 4.2.2.4).

Управление макетом осуществляется с помощью стандартных манипуляторов: мыши и клавиатуры.

##### 4.2.2.1 Управление рабочим столом

Рабочий стол изображен в виде поверхности стола, на которой располагаются спектрометр и измеряемые источники. Пользователь может проделать следующие операции с рабочим столом:

- повернуть поверхность стола относительно центра (с помощью мыши);

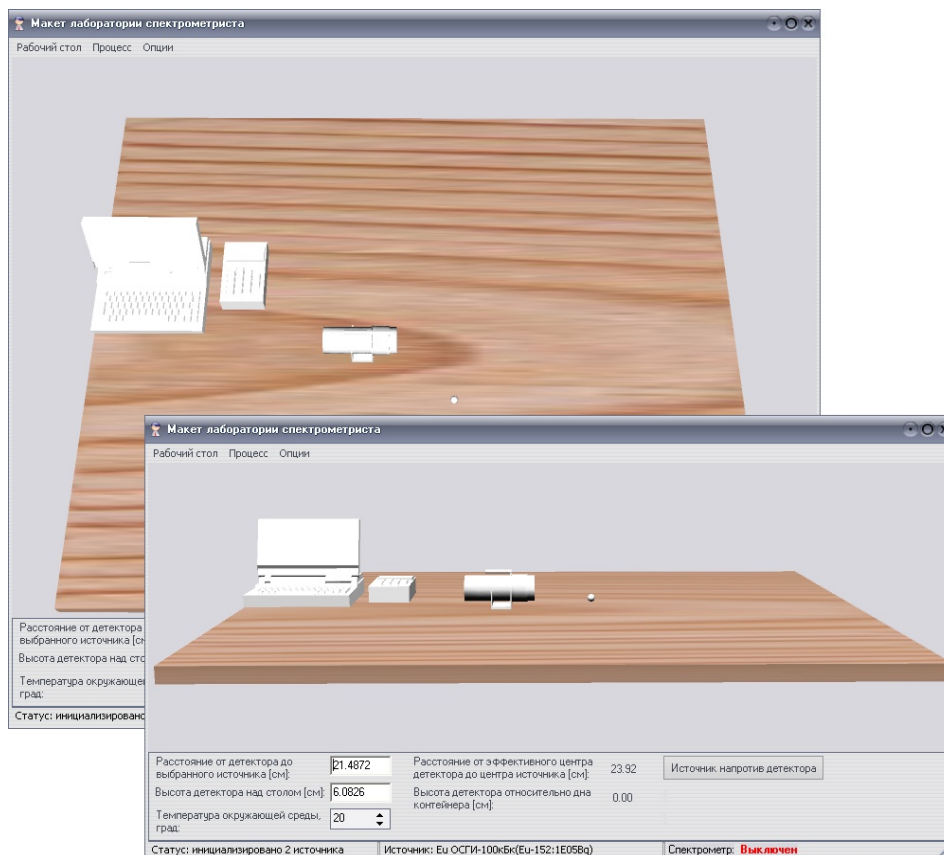


Рисунок 4-1. Вращение поверхности стола.

- приблизить или удалить точку обзора стола (с помощью скрола мыши);

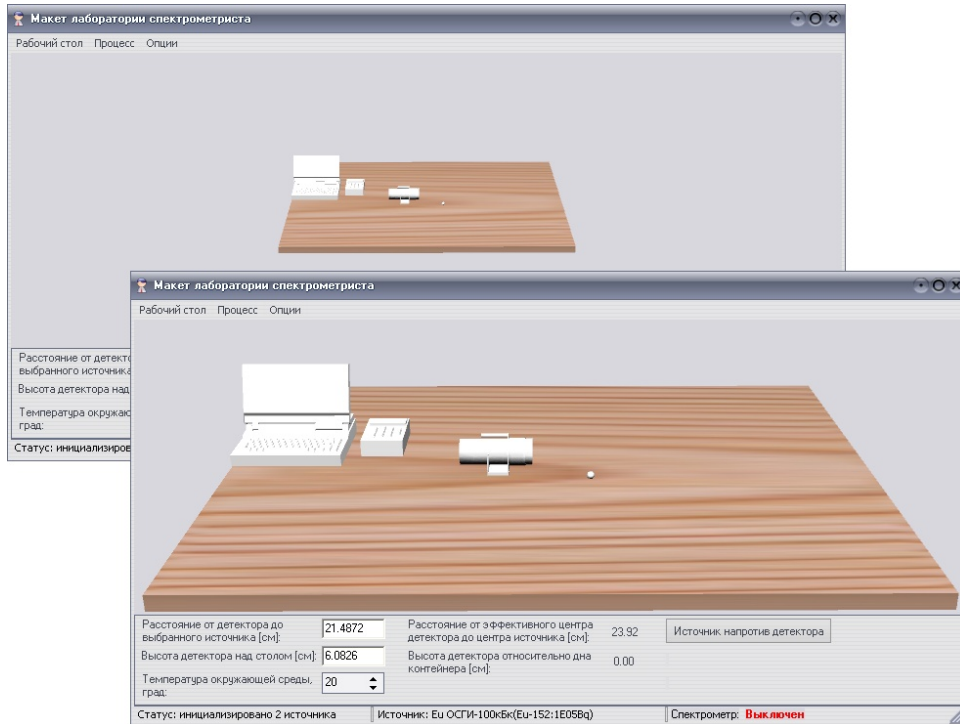


Рисунок 4-2. Изменение точки обзора стола.

- изменить размеры поверхности стола (используя настройки макета и доступно в режиме **Администратора**);

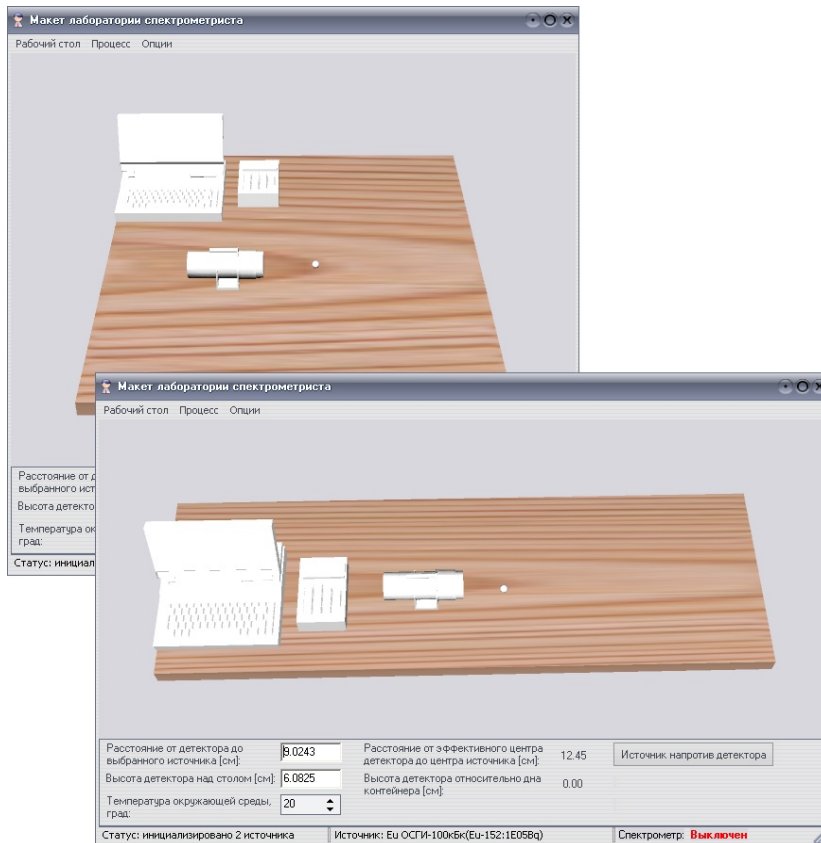


Рисунок 4-3. Изменение размеров поверхности стола.

#### 4.2.2.2 Управление источниками

На макете могут быть представлены два вида источников:

- Точечный источник – визуально представляет собой шарик небольшого по сравнению с другими составляющими макета предметами радиуса;
- Объемный источник или источник в контейнере – визуально представляет собой цилиндр, соответствующий указанным в базе данных размерам;

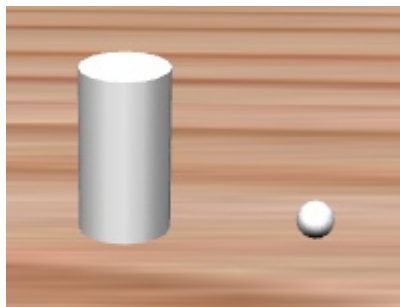


Рисунок 4-4 Источники на макете лаборатории спектрометриста

Одновременно на столе могут находиться несколько источников:

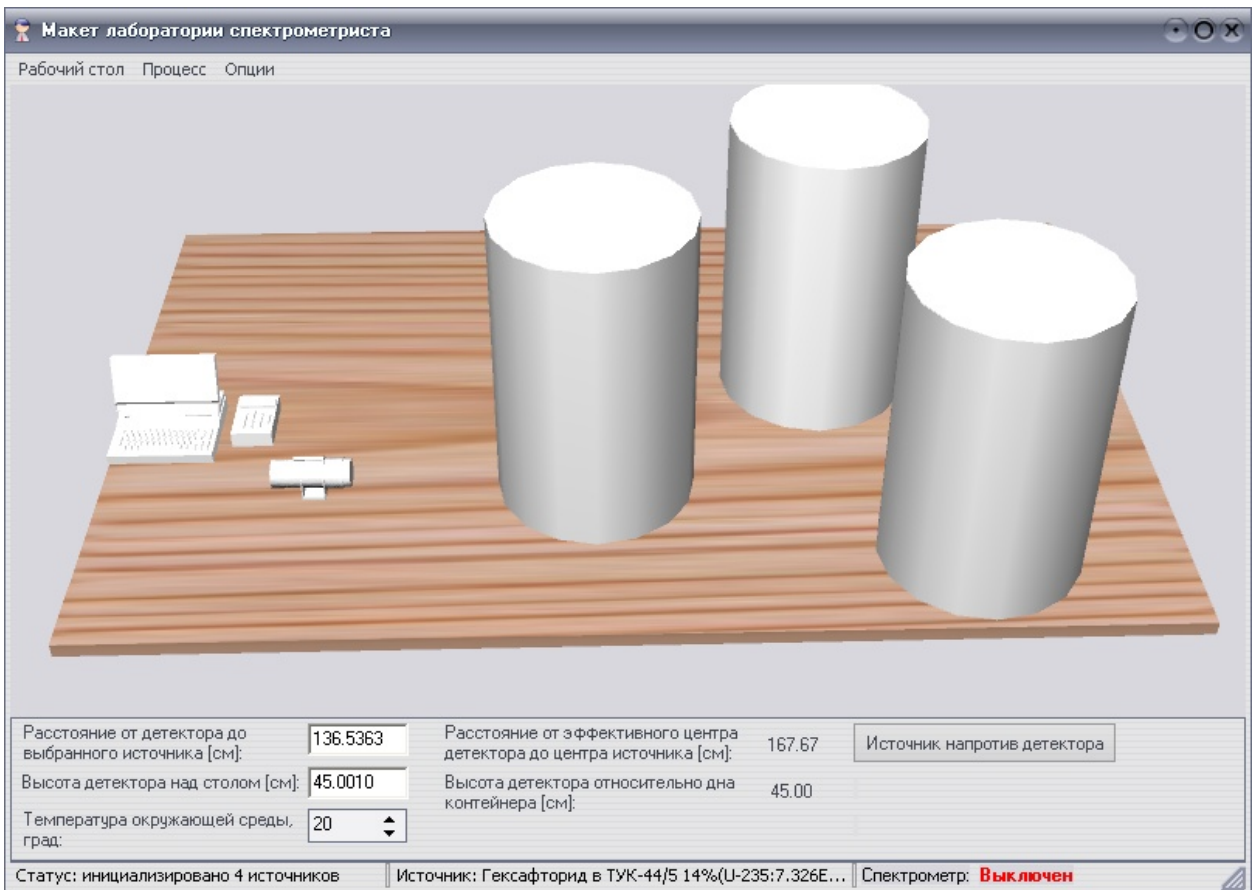


Рисунок 4-5 Три источника на поверхности стола

Определены основные и фоновые источники. Фоновые источники скрыты в режиме **Оператор** и доступны в режиме **Администратор**. Выделенный источник

отображается розовым цветом. В статусной строке выводится его название, в полях ввода соответствующие ему данные.

Предусмотрены следующие операции с источником:

- Перемещение на новое место (с помощью мыши): перемещение возможно параллельно поверхности стола и перпендикулярно (с нажатой клавишей Shift);
- Перемещение на заданное расстояние от детектора (используя поле ввода **Расстояние от детектора до выбранного источника**);
- Получение информации об источнике (по щелчку правой клавишей мыши на источнике);
- Удаление источника с рабочего стола;

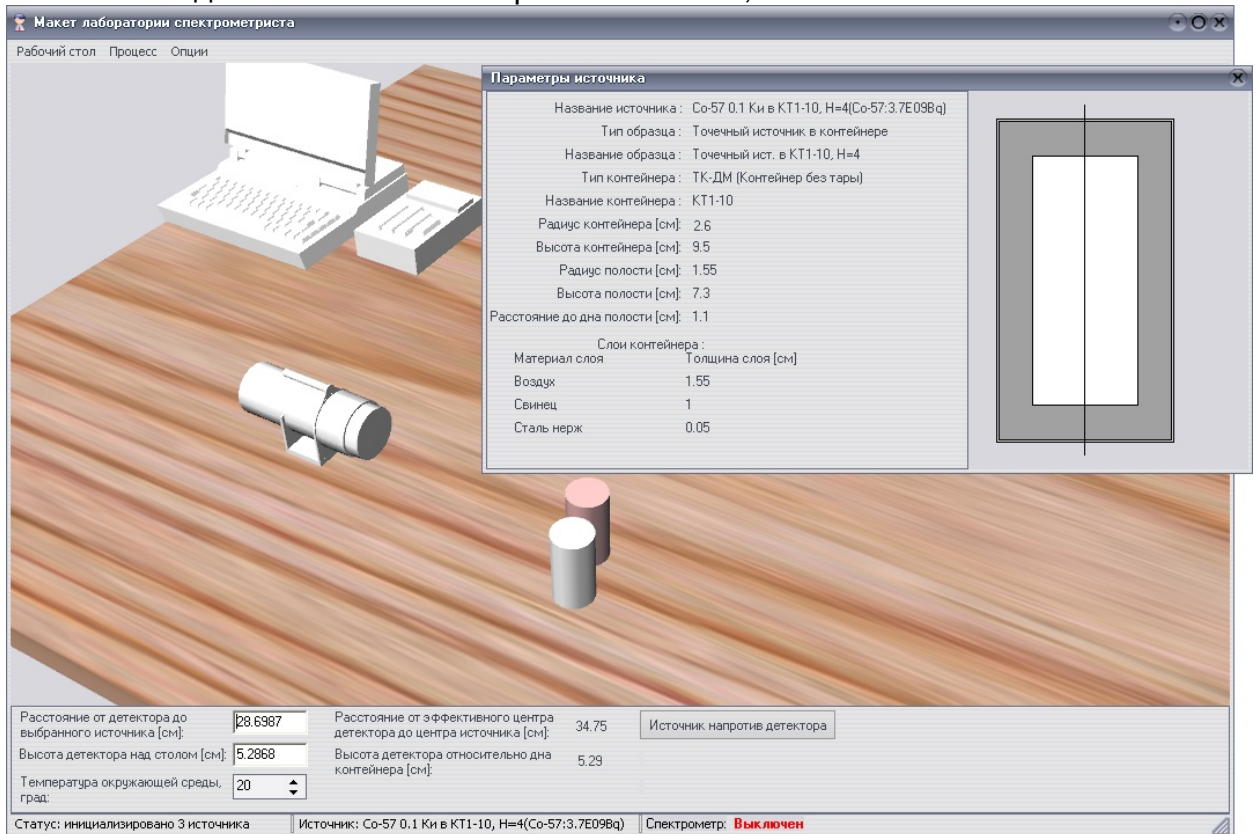


Рисунок 4-6 Информация об источнике

В окне Список источников (меню **Рабочий стол -> Список источников**) выводится список всех источников. Серой картинкой отмечены фоновые источники. Снятие галочки напротив источника приводит к его удалению с рабочего стола.



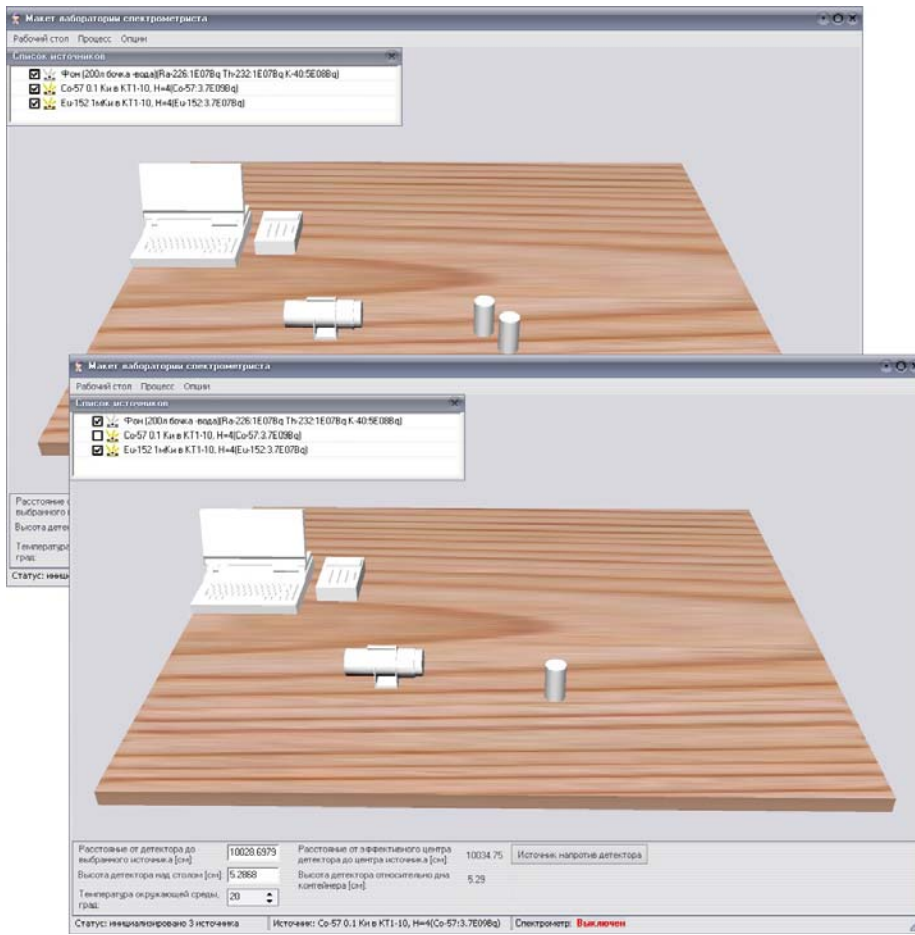


Рисунок 4-7 Удаление источника с рабочего стола

В режиме **Администратор** можно сохранить координаты объектов на рабочем столе в файл с заданием (меню **Рабочий стол** -> **Сохранить координаты**).

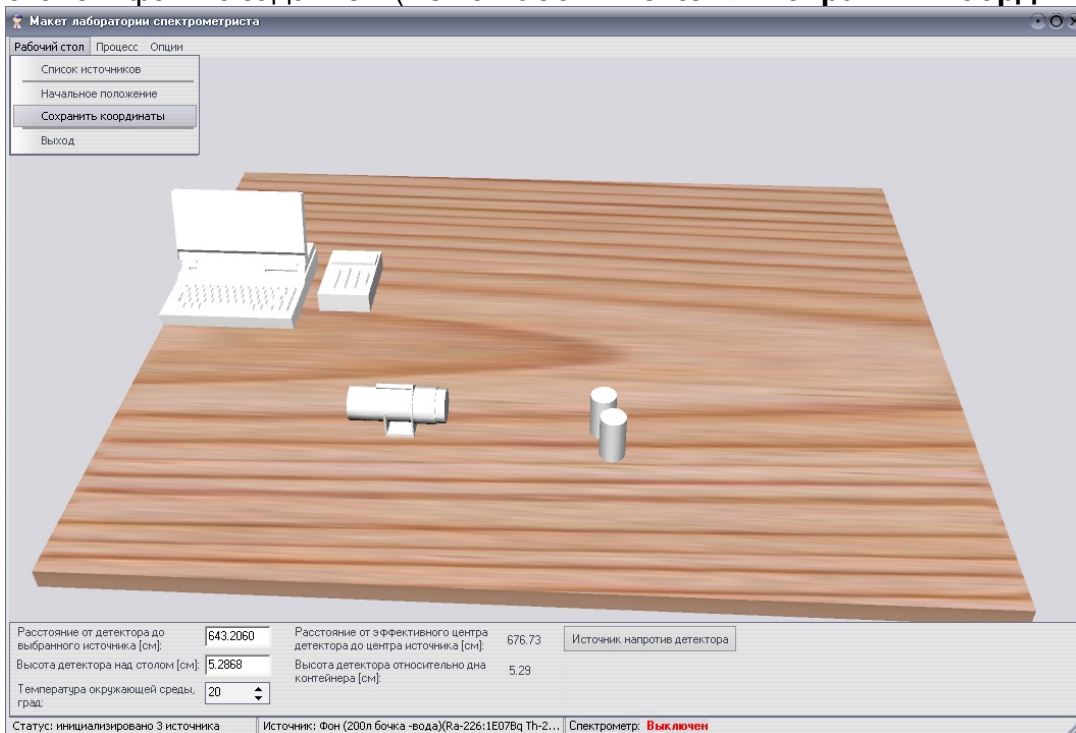
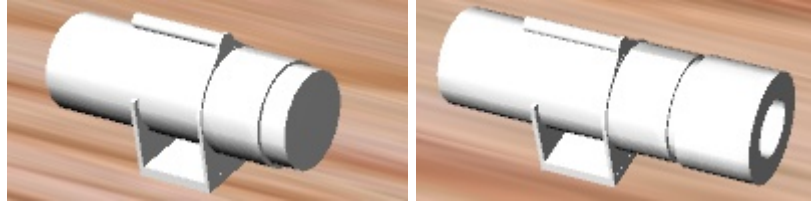


Рисунок 4-8 Сохранение координат источников

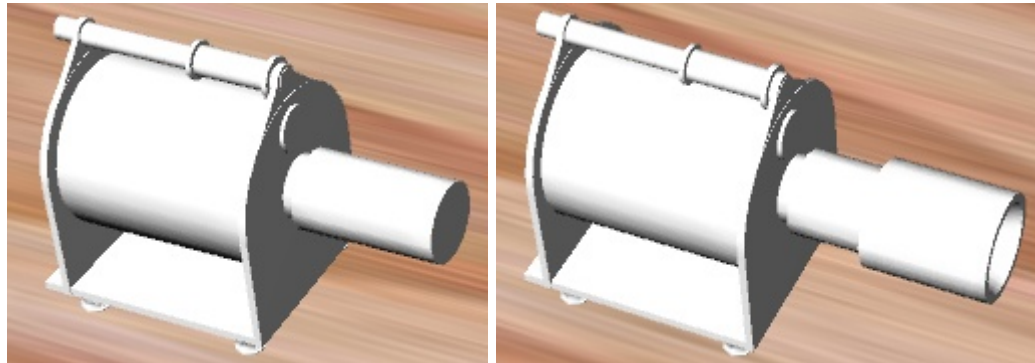
Двойной щелчок по рабочему столу или пункт меню **Рабочий стол->Начальное положение** позволяет расставить объекты на столе в первоначальном положении.

#### 4.2.2.3 Управление детектором

Детектор представляет собой блок детектирования с коллиматором (если он есть) и отображается как единый объект. В зависимости от задания на макете могут быть представлены два типа коллиматоров. В зависимости от типа детектора и наличия и типа коллиматора меняется внешний вид (модель) детектора на макете.



5-9а Гамма-1С/НВ1 без коллиматора и с коллиматором первого типа.



5-9в СКС-50(М) без коллиматора и с коллиматором второго типа.

Рисунок 4-9 Детектор с коллиматором и без на макете лаборатории спектрометриста.

Предусмотрены следующие операции с детектором:

- Перемещение на новое место (с помощью мыши): перемещение возможно параллельно поверхности стола и перпендикулярно (с нажатой клавишей Shift);
- Перемещение детектора на заданную высоту от уровня стола (высота задается в поле **Высота детектора над столом**);
- Изменение направления детектора;

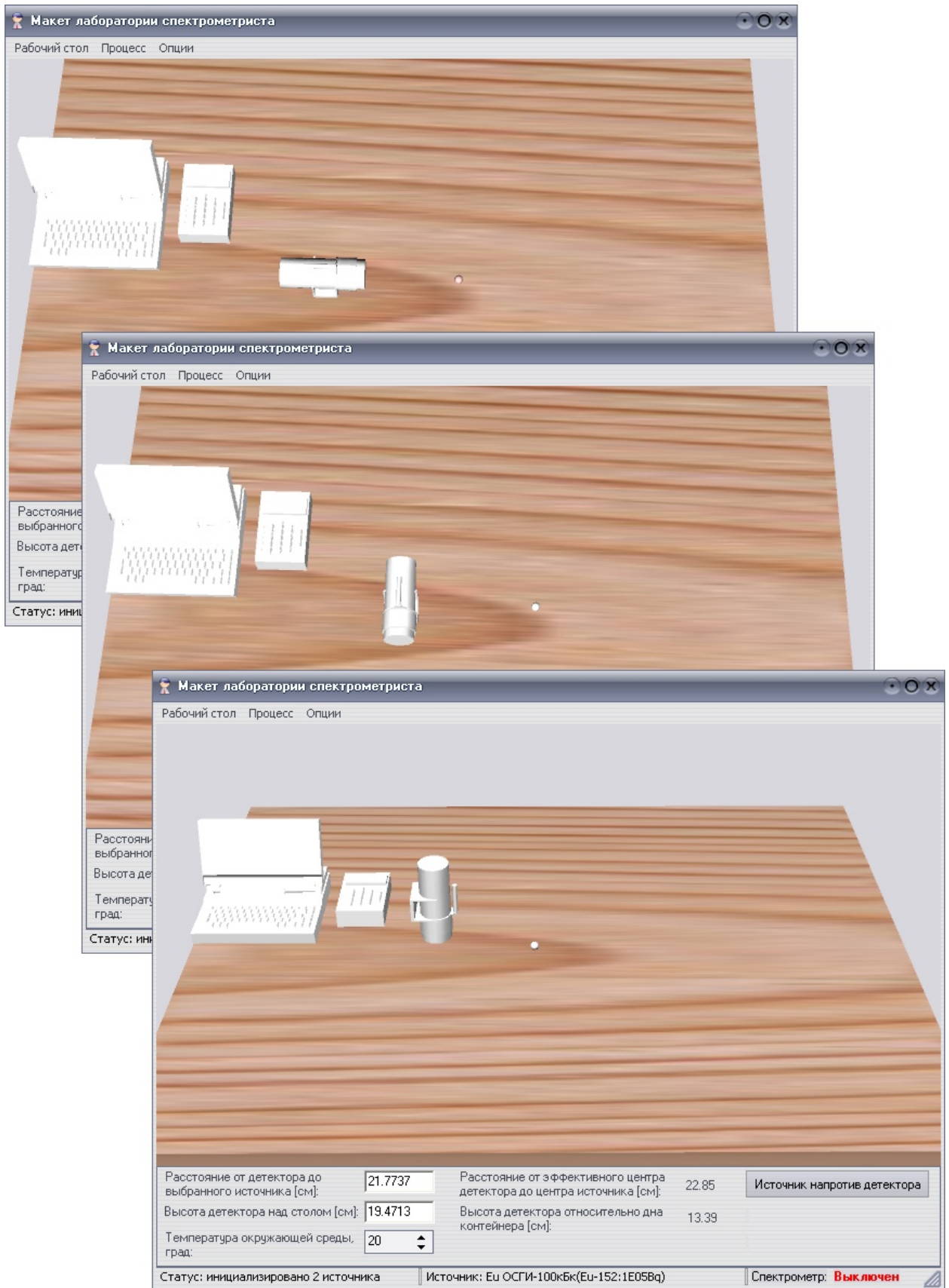


Рисунок 4-10 Различные положения детектора.

#### 4.2.2.4 Управление анализатором и ноутбуком

Анализатор предназначен для управления спектрометром. Его присутствие на рабочем столе определяется типом спектрометра: для Гамма-1С/NB1 анализатор присутствует, для СКС-50(М) его нет.

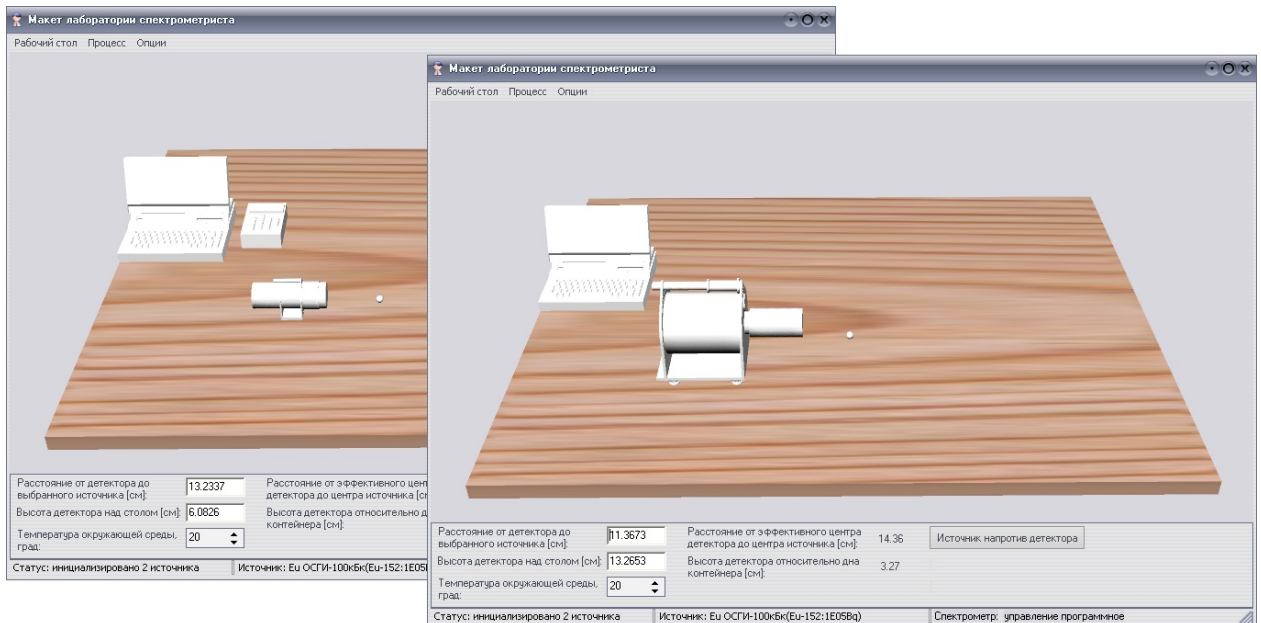


Рисунок 4-11. Макет лаборатории спектрометриста для Гамма-1С/NB1 (слева) и для СКС-50(М) (справа).

Ноутбук на макете используется для запуска штатной программы. Щелчок левой клавишей мыши по ноутбуку имитирует его включение и открывает эмулятор экрана ноутбука, на котором размещены иконки для запуска штатной программы спектрометра. Среди программ, представленных на рабочем столе ноутбука, пользователь должен выбрать нужную.

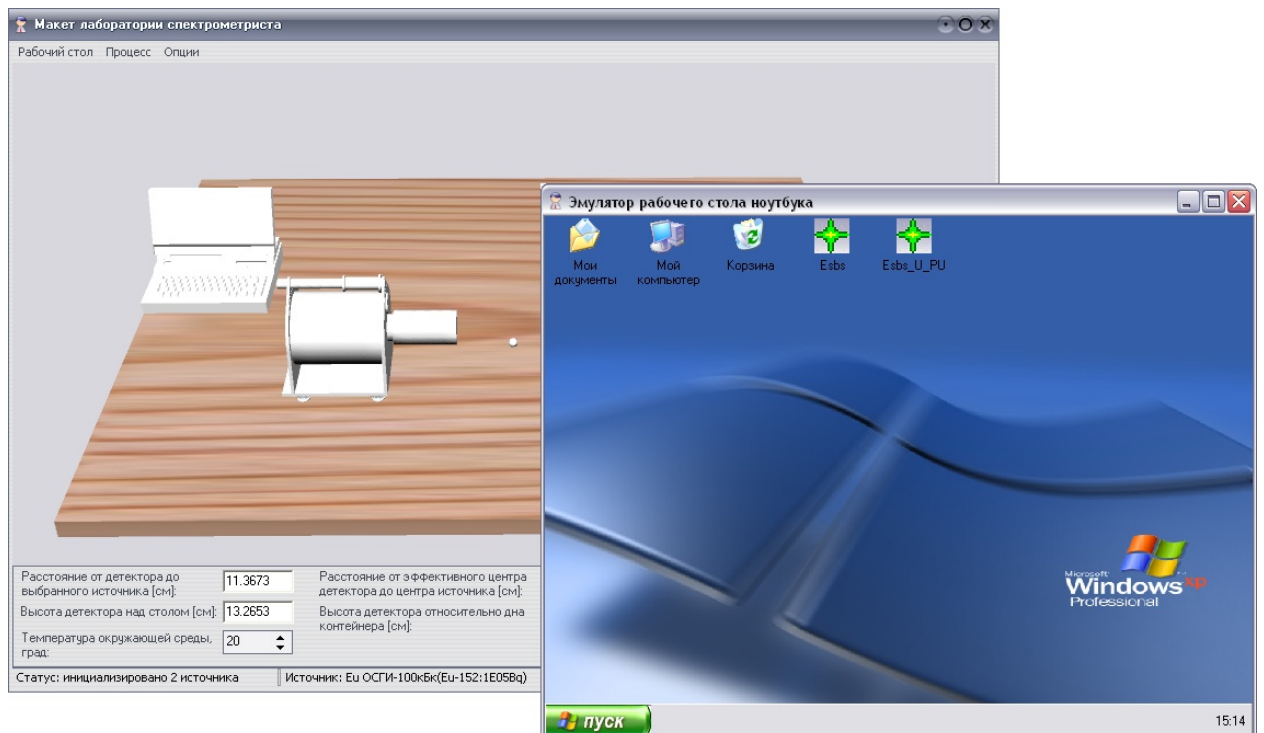


Рисунок 4-12. Эмулятор рабочего стола ноутбука.

Положение и внешний вид ноутбука и анализатора можно изменить в режиме **Администратор** в настройках макета (меню **Опции -> Настройки...**, группа **Устройства на рабочем столе**). Внешний вид устройств загружается из файлов в формате 3ds, содержащих модель объекта. Модель объекта в формате 3ds может быть создана в программе 3DStudioMAX. Положение задается трехмерными координатами. Изменение этих параметров приводит к немедленному изменению положения и внешнего вида соответствующих устройств.

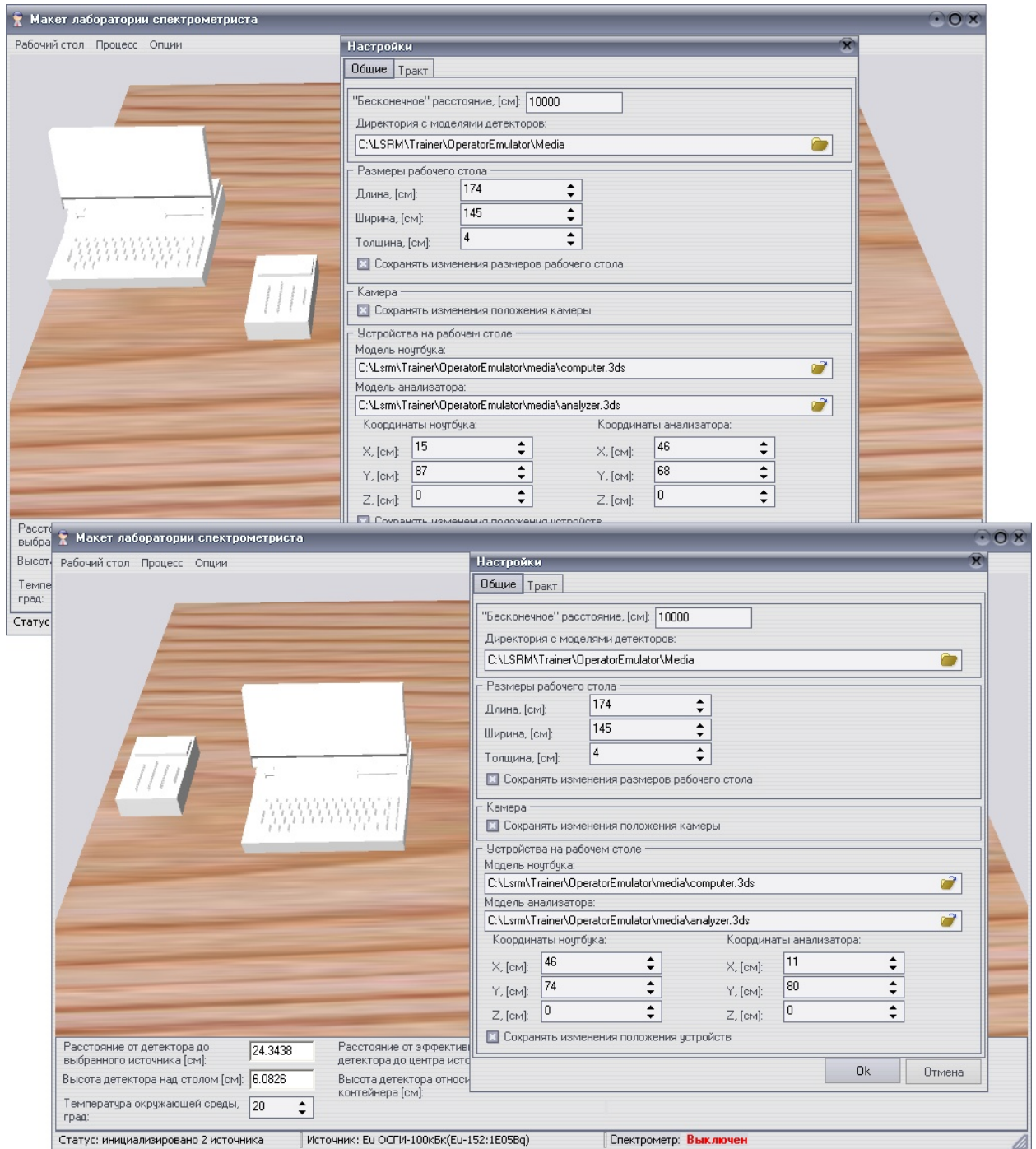


Рисунок 4-13. Различные положения ноутбука и анализатора.

#### 4.2.3 Управление спектрометром

Предусмотрено два способа управления спектрометром:

- Аппаратный способ предназначен для Гамма-1С/НВ1. Для управления спектрометром на рабочем столе присутствует анализатор, которые позволяет включить/выключить спектрометр (щелчком левой клавишей мыши по анализатору). Текущее состояние спектрометра отображается в статусной строке в поле **Спектрометр**. Для удобства надпись выводится цветом: красным, если спектрометр выключен и зеленым, если включен.

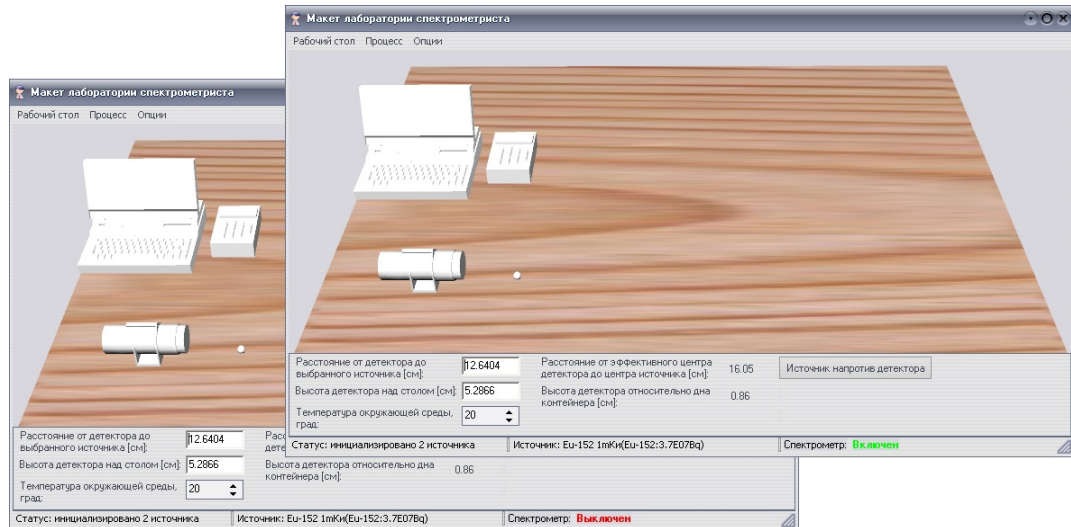


Рисунок 4-14. Спектрометр Гамма-1С/НВ1 включенный и выключенный.

- Программный способ предназначен для СКС-50(М). В этом случае в строке состояния основного окна в поле **Спектрометр** указано, что спектрометр имеет программное управление. Анализатор на макете отсутствует. Все функции по работе спектрометра реализует штатная программа. Для спектрометра СКС-50(М) в рамках данного проекта была разработана программа SpectralineEsbs (см. *ниже*).

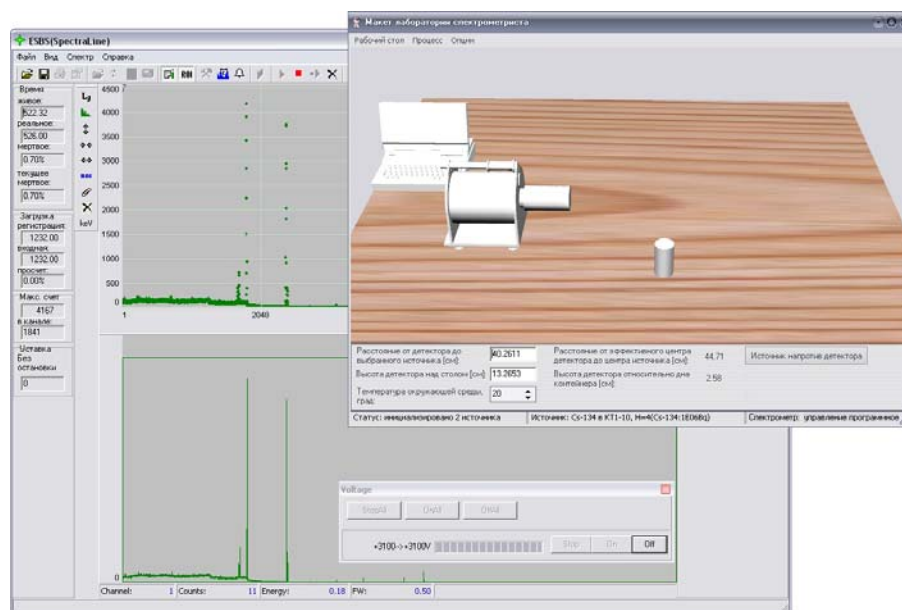


Рисунок 4-15. Спектрометр СКС-50(М) со штатной программой SpectralineEsbs.

При начале набора в штатной программе пользователю предлагается поднять высокое напряжение на спектрометре, затем открывается окно **Voltage** для управления напряжением. Текущее значение высокого напряжения влияет на эмулируемый спектр.

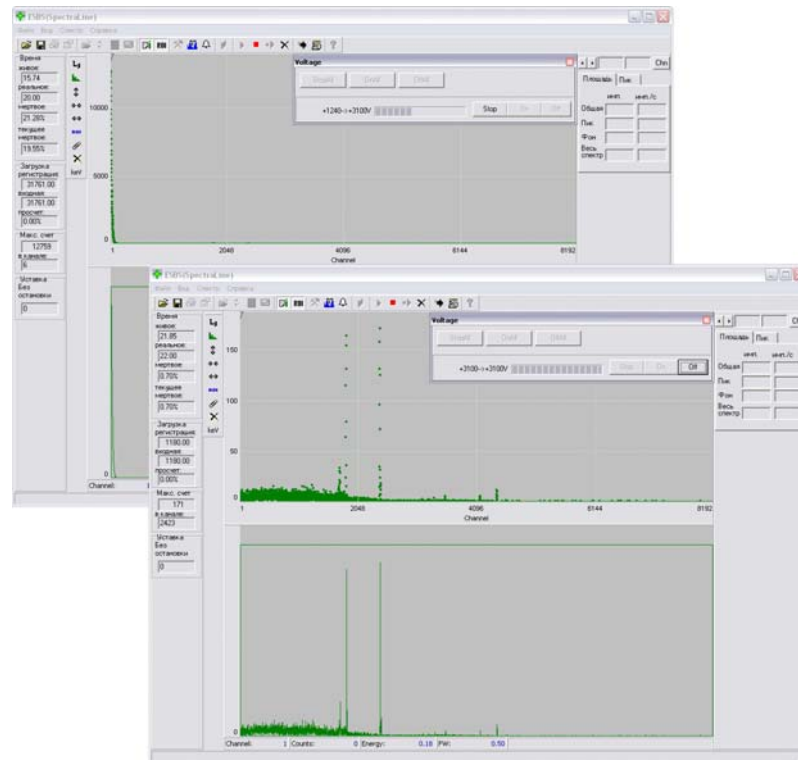


Рисунок 4-16. Влияние значения высокого напряжения на эмулируемый спектр.

При закрытии штатной программы пользователь должен опустить высокое напряжение на спектрометре, иначе произойдет поломка прибор и выдаться соответствующее сообщение.

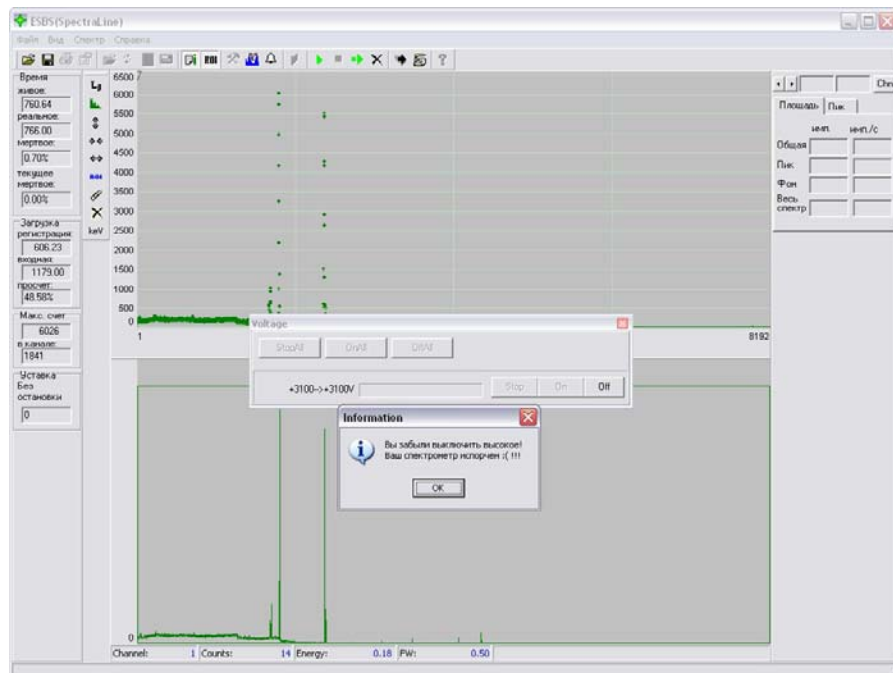


Рисунок 4-17. Сообщение о поломке прибора в SpectralineEsbs.

В режиме **Администратор** доступно управление параметрами спектрометра, которые определяют эмулируемый спектр (меню **Опции->Настройки->Тракт**).

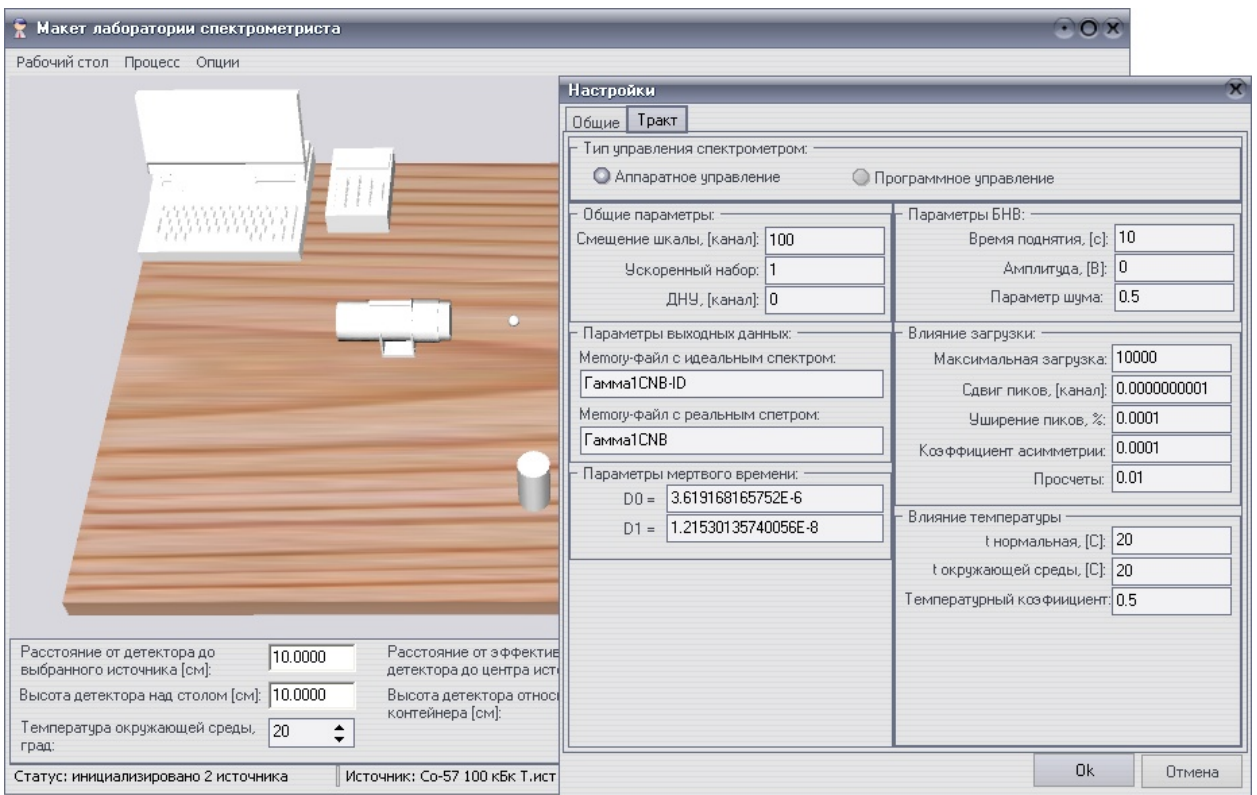


Рисунок 4-18. Параметры спектрометра Гамма-1С/NB1.

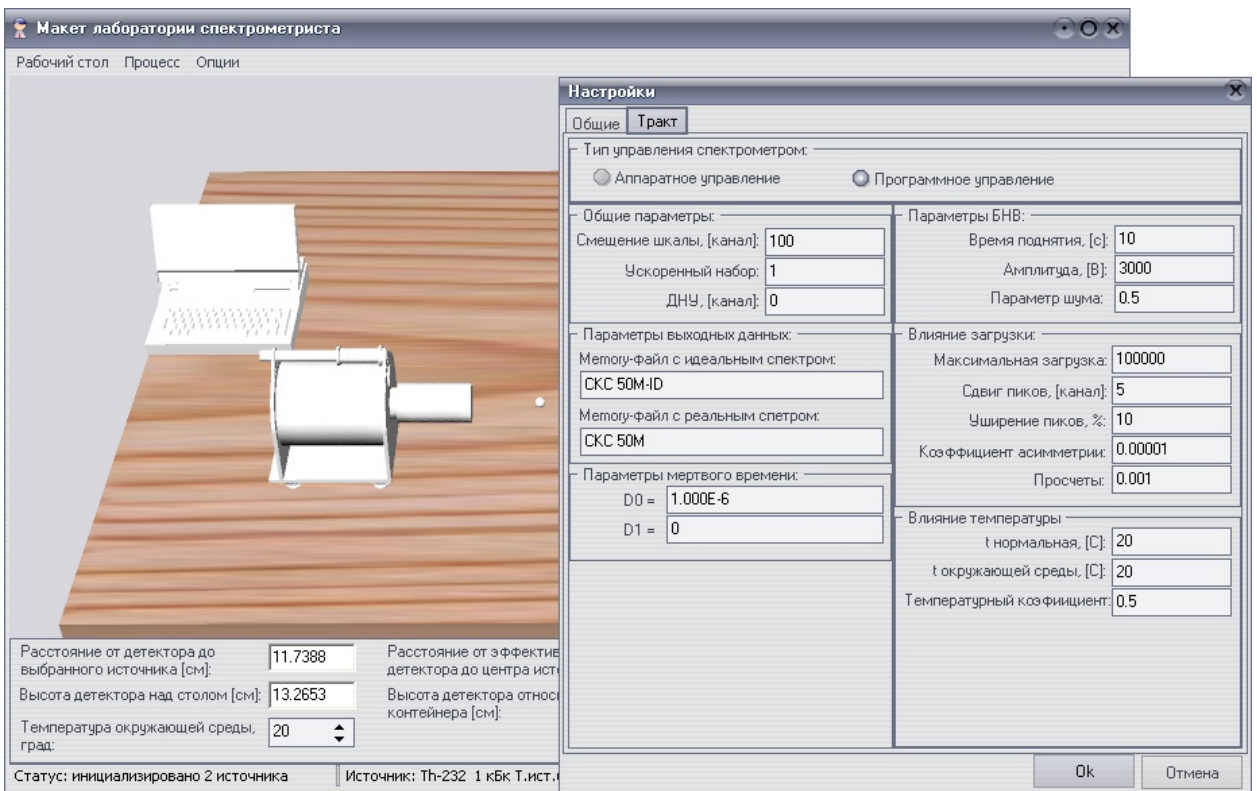


Рисунок 4-19. Параметры спектрометра СКС-50(М).



Администратор может управлять следующими параметрами:

- Указать тип управления спектрометром;
- Задать смещение шкалы и дискриминатор нижнего уровня, определить ускоренный набор для данного спектрометра;
- Задать параметры для обмена информацией с другими приложениями;
- Задать параметры мертвого времени и высокого напряжения на спектрометре (амплитуду, время поднятия высокого и уровень шума);
- Задать параметры, определяющие влияние загрузки и влияние температуры окружающей среды на эмулируемый спектр;

Температура окружающей среды может быть динамически изменена в режиме Оператор в процессе работы с программой в основном окне в поле **Температура окружающей среды, град.** Ее изменение окажет влияние на эмулируемый спектр.

#### 4.2.4 Запуск штатной программы

Выбор штатной программы спектрометра определяется пользователем. Чтобы запустить штатную программу, щелкните по ноутбуку на макете (имитирует включение ноутбука). Откроется окно, эмулирующее рабочий стол ноутбука. Среди программ, представленных на рабочем столе ноутбука, выберите нужную. Дальнейшие действия пользователя зависят от выбранной штатной программы и описаны в соответствующей документации.

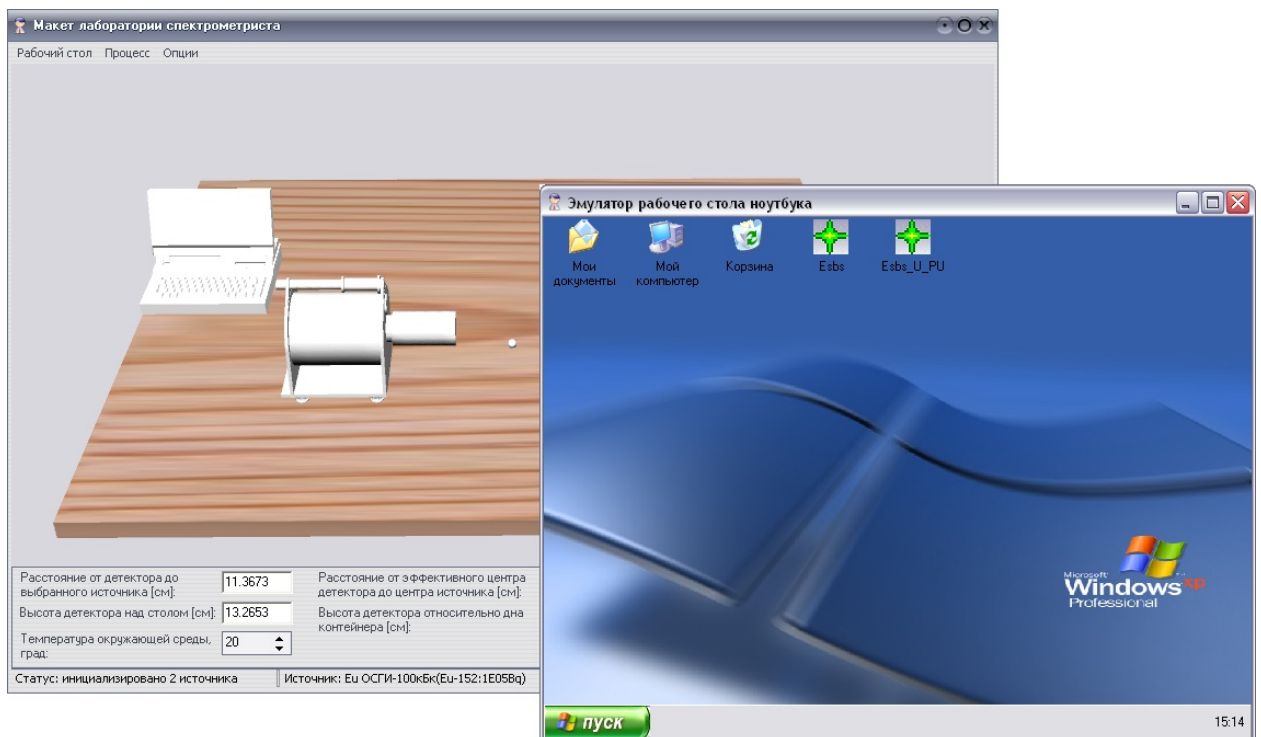


Рисунок 4-20. Эмулятор рабочего стола ноутбука.

В рамках проекта была разработана программы SpectralineEsbs, поддерживающая пользовательский интерфейс и частичную функциональность программы eSBS, разработанной группой предприятий Грин Стар. SpectralineEsbs позволяет главным образом эмулировать накопление спектра от СКС-50(М) и эмулировать управление данным спектрометром.

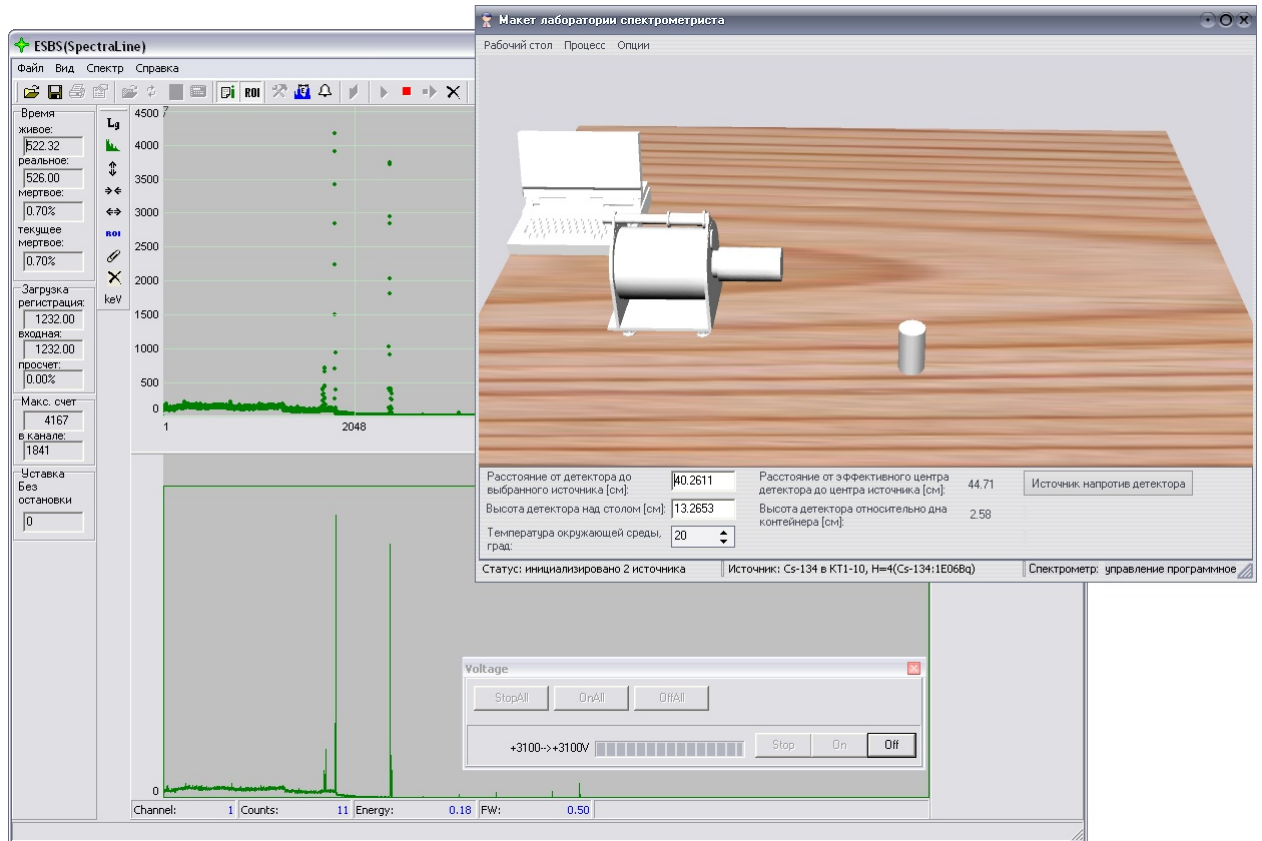


Рисунок 4-21. Основное окно программы SpectralineEsbs с окном поднятия высокого напряжения на спектрометре.

Также программа SpectralineEsbs позволяет выполнять следующие функции:

- Открытие спектра в формате sps (GreenStar);
- Сохранение спектра в формате sps (GreenStar) и в формате spe(Lsrm);
- Загрузка и сохранение областей значимости в формате ROI (GreenStar);
- Вставка и удаление областей значимости на текущем спектре;
- Проведение энергетической калибровки по двум пикам;
- Управление набором спектра: установка окончания набора (по времени или без остановки), начало набора, остановка набора, очистка набранного спектра;
- Запуск программы обработки;

## 5 Изменение наполнения тренажера

### 5.1 Создание новых заданий

Подготовка лабораторных заданий включает несколько этапов расчетов с использованием всех программных модулей и баз данных, входящих в состав пакета GammaLab.

Для их выполнения был разработан специальный модуль «Схема данных» в составе интегрирующей оболочки WorkMaster. Доступ к нему имеет пользователь с правами администратора.

Модуль «Схема данных» позволяет

- выполнить последовательно, в режиме мастера, все действия по подготовке шаблонов аппаратурных спектров для источников с

произвольным радионуклидным составом с возможностью просмотра результатов на каждом этапе расчетов;

- скопировать квазифизические спектры из других баз данных, например, при установке комплекса GammaLab на несколько компьютеров и расчете квазифизических спектров для разных образцов;
- сформировать шаблоны на основе экспериментально полученных данных;
- обратиться к любому программному модулю;
- получить данные из любой базы (просмотреть параметры детекторов, анализаторов, образцов и т.д.; добавить новые, изменить или удалить существующие; проверить наличие квазифизического спектра для конкретного детектора, коллиматора и образца);
- рассчитать шаблон и выполнить моделирование спектра в режиме реального времени, изменяя положение детектора и источника на рабочем столе, использовать дополнительную фильтрацию данных по типу образца, контейнеру и т.д.).

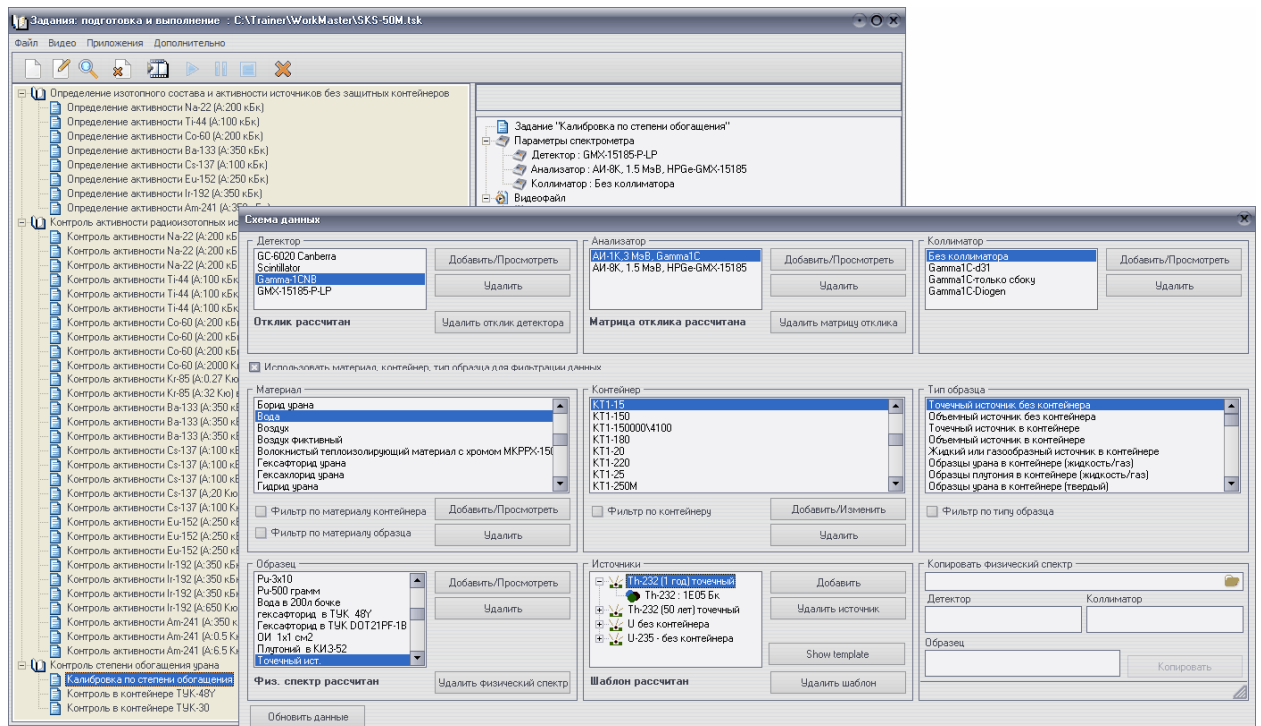


Рисунок 5-1 Подготовка лабораторных заданий. Модуль «Схема данных»

## 5.2 Создание новых шаблонов спектров

Наиболее простой способ получения данных шаблонов - создание новых шаблонов спектров для уже имеющихся в базе образцов с рассчитанными физическими спектрами и соответствующего детектора с рассчитанной матрицей отклика. Можно достаточно оперативно рассчитать шаблоны для произвольного радионуклидного состава и активности, или для урановых и плутониевых образцов для разной степени обогащения и изотопного состава, соответственно.

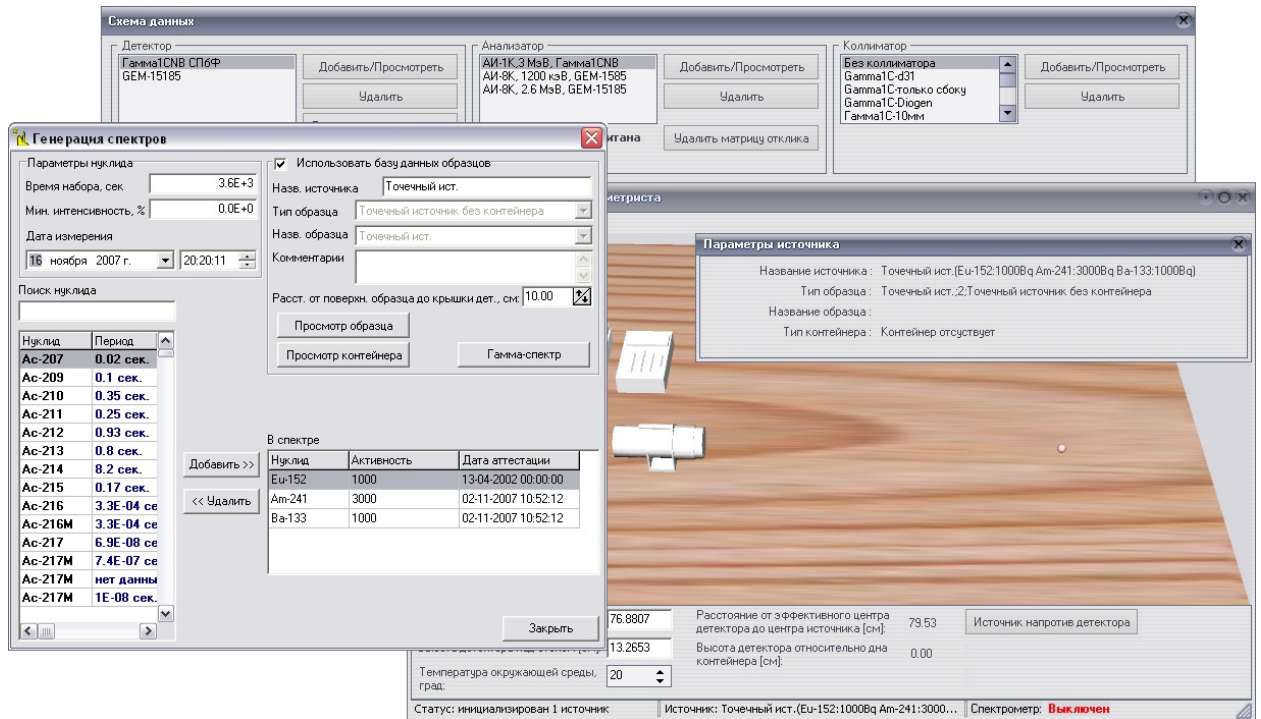


Рисунок 5-2 Расчет шаблона спектра точечного источника (Eu-152, Am-241, Ba-133)

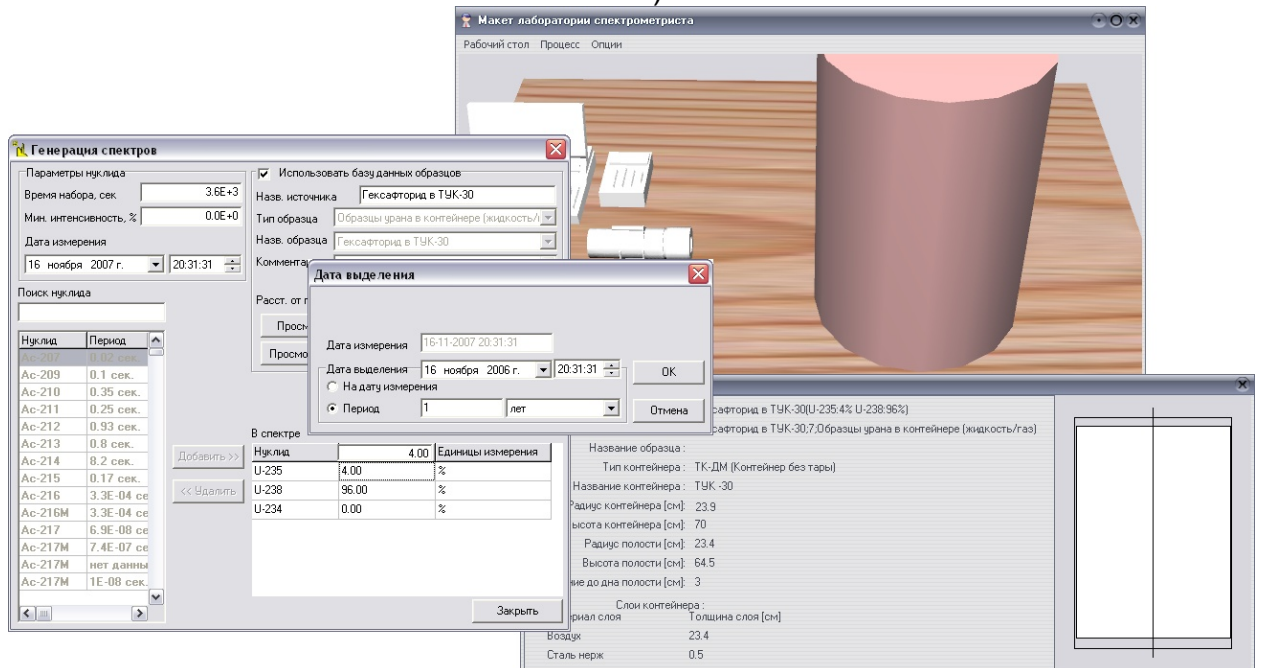


Рисунок 5-3 Расчет шаблона спектра гексафторида U (степень обогащения 4%) в ТУК-30

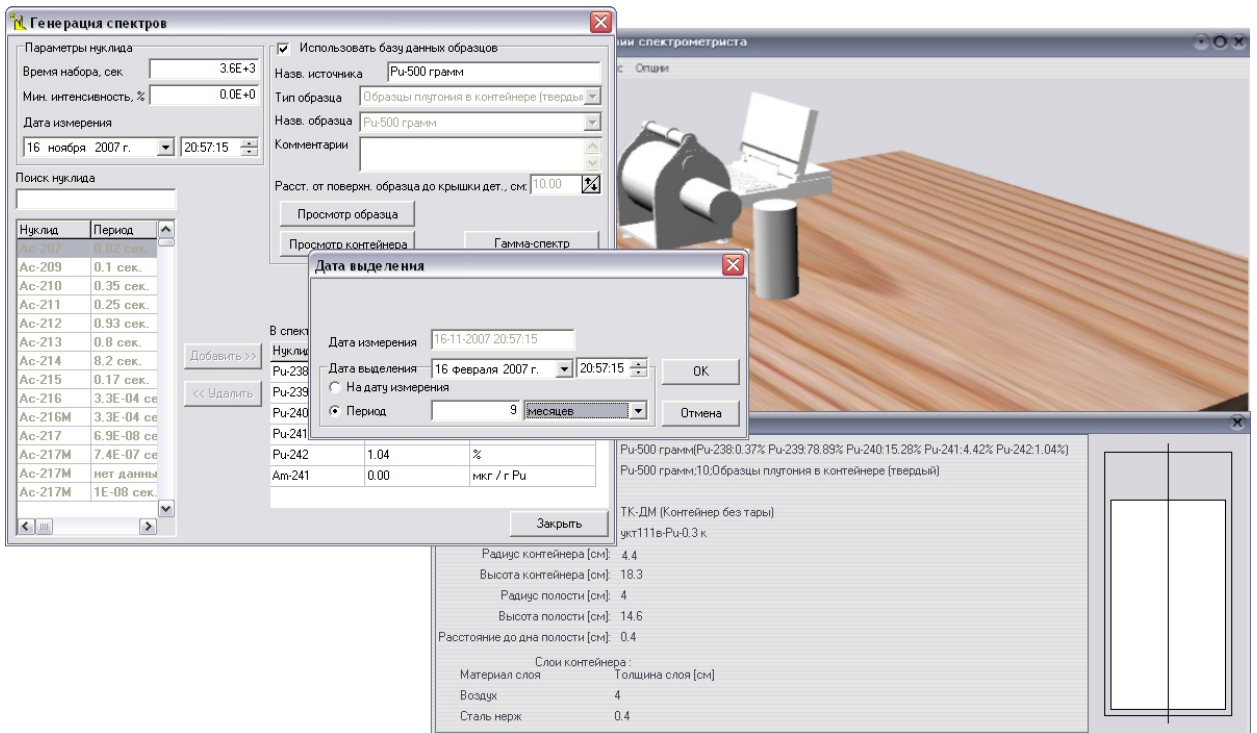


Рисунок 5-4 Расчет шаблона спектра Pu-500 гр (Pu-239 78.89%)

### 5.3 Создание новых образцов

В программе заложены широкие возможности создания различных типов образцов источников. Здесь приведена демонстрация создания тех типов образцов, которые используются в Тренажере.

#### 5.3.1 Точечный источник в контейнере

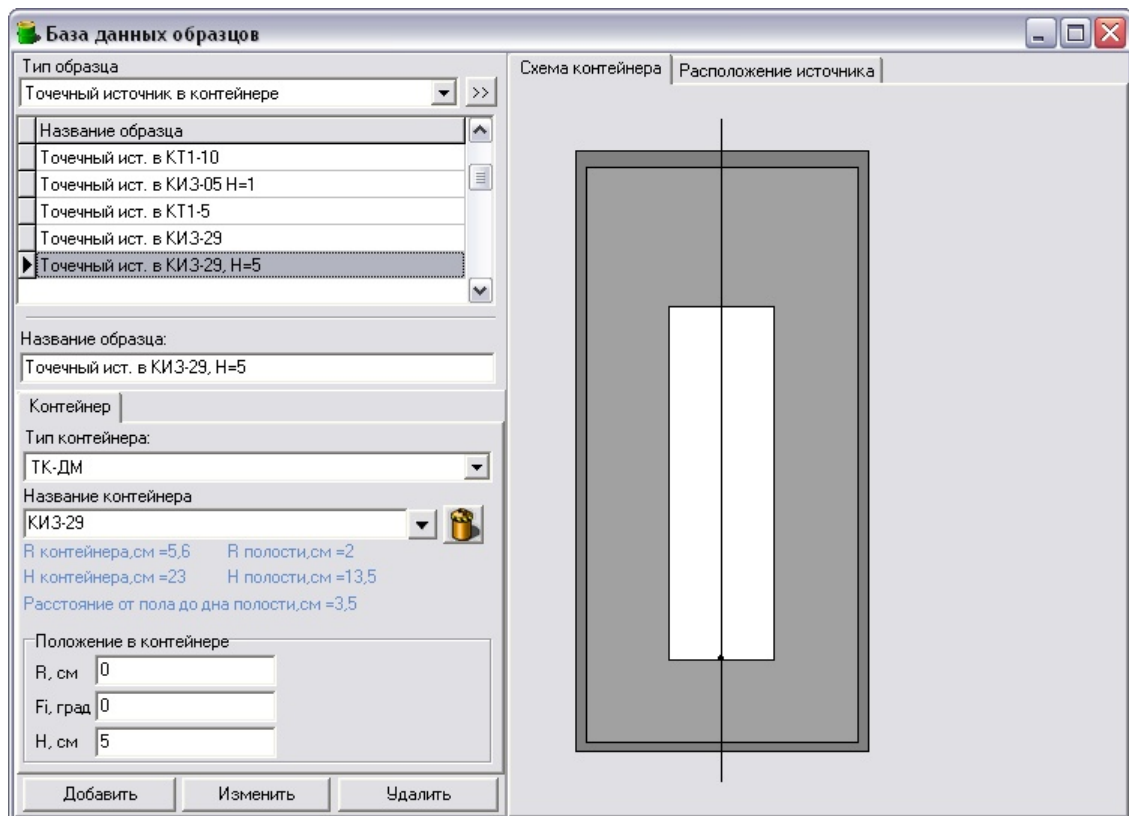


Рисунок 5-5 Точечный ист. в КИЗ-29, Н=5

### 5.3.2 Образцы урана в контейнере

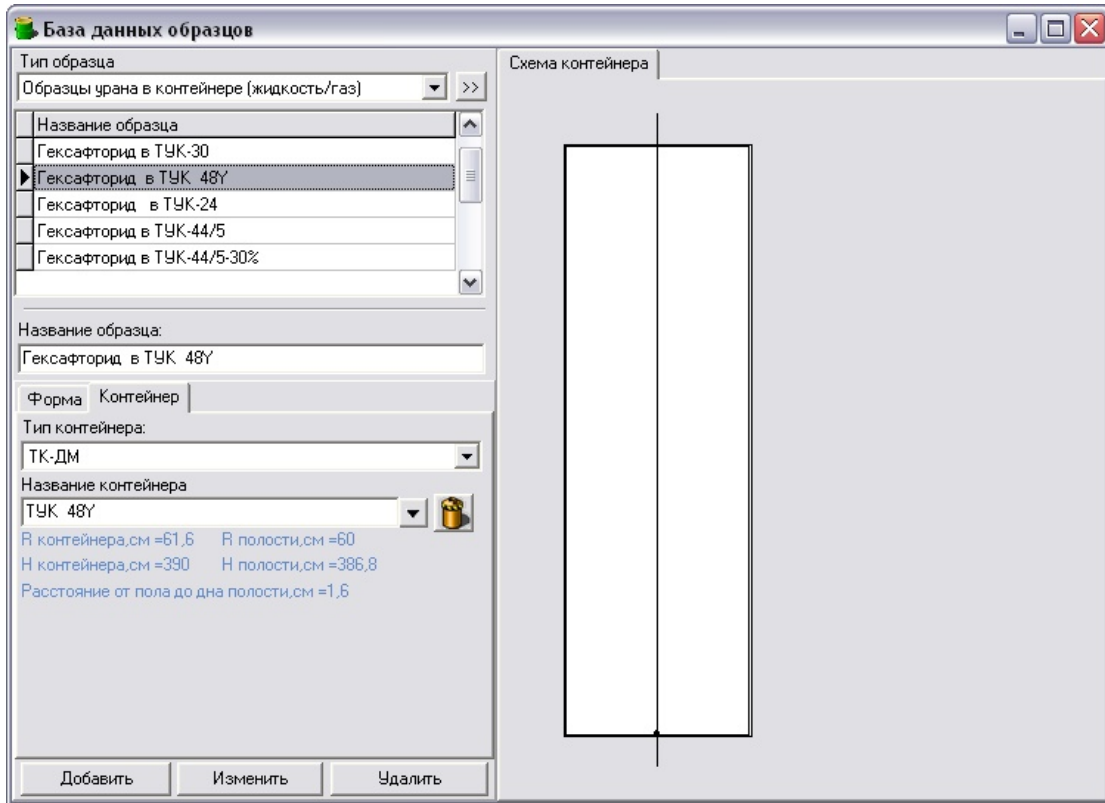


Рисунок 5-6 Гексафторид урана в ТУК 48У

### 5.3.3 Образцы плутония в контейнере

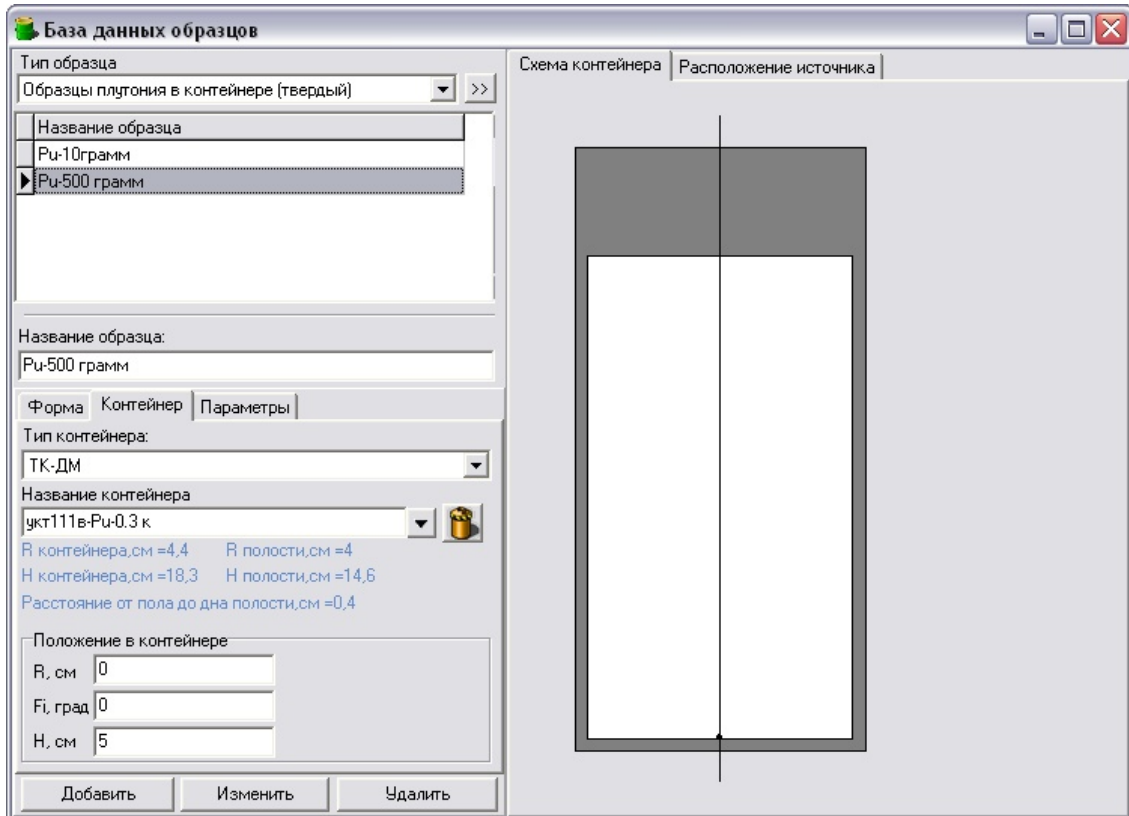


Рисунок 5-7 Pu-500 грамм

#### 5.4 Моделирование новых детекторов

С использованием программных ресурсов **Тренажера** могут быть промоделированы два типа детекторов – полупроводниковый и сцинтилляционный – и два типа коллиматоров (для защиты от окружающего фона и для снижения входной загрузки в случае высокоактивных образцов).

Разработанная графическая оболочка позволяет задавать геометрические параметры моделей, вводить произвольные смеси химических элементов и соединений из predetermined набора в качестве материалов конструктивных компонентов. Возможно создание и использование собственных материалов пользователя.

Далее на рисунках приведены модели детекторов и коллиматоров с выделением конструктивных компонентов и задаваемых пользователем геометрических размеров.

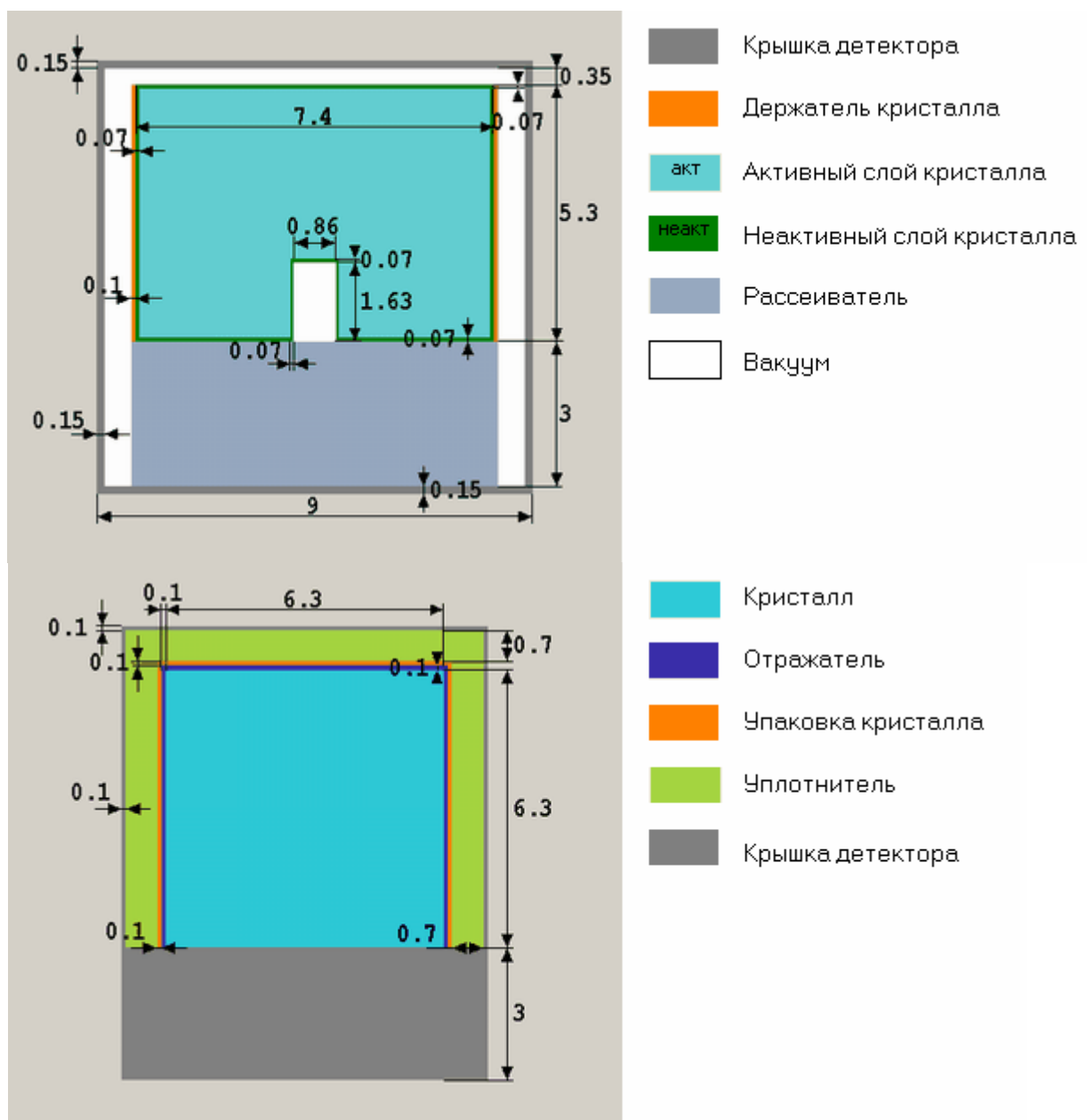


Рисунок 5-8 Модели детекторов (полупроводниковый и сцинтилляционный)

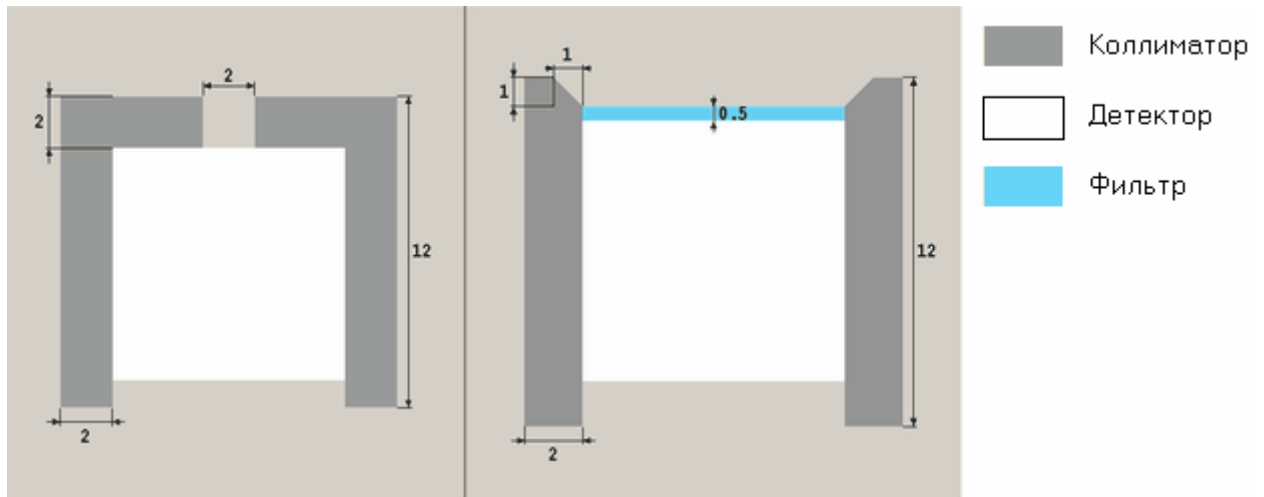


Рисунок 5-9 Модели коллиматоров: для снижения входной загрузки в случае высокоактивных образцов и для защиты от окружающего фона.

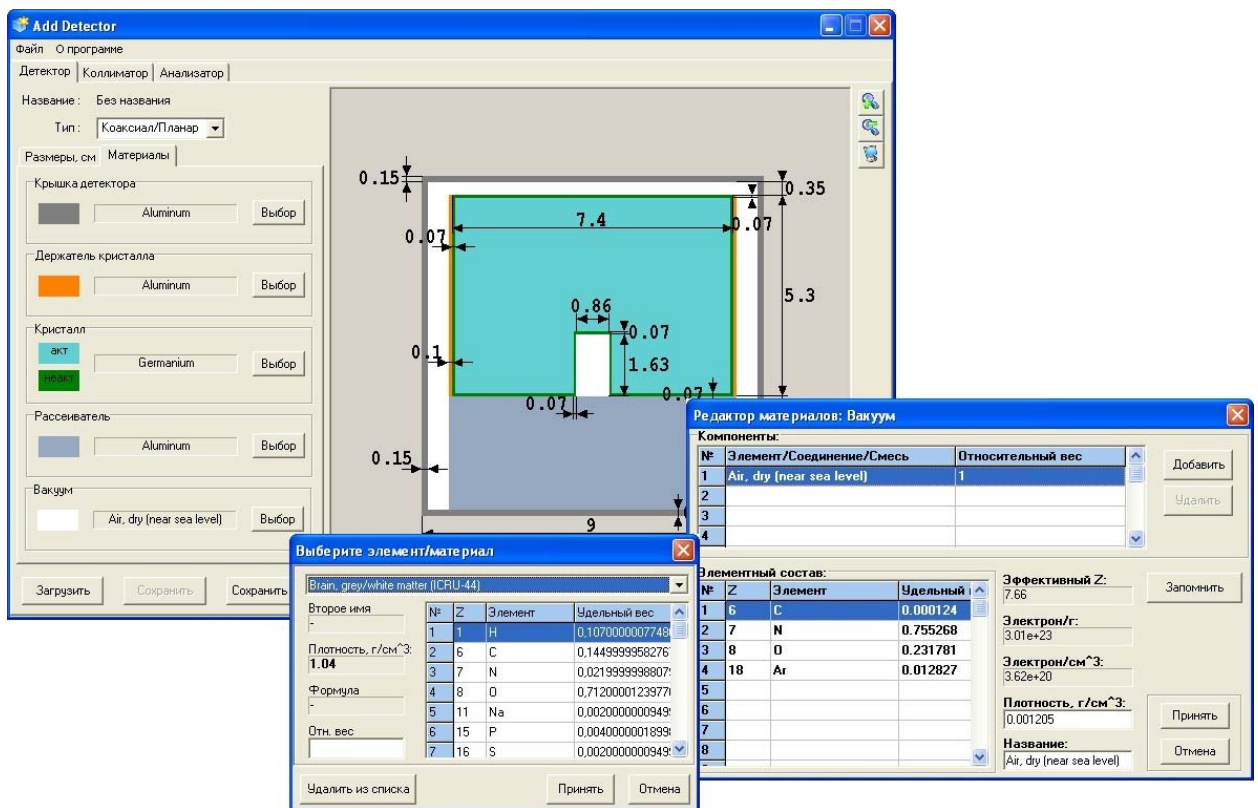


Рисунок 5-10 Задание материалов конструкционных компонентов

Программные компоненты **Тренажера DRGen** и **RMGen** позволяют рассчитать функцию и матрицу отклика для соответствующего детектора. Их вызов осуществляется из окна модуля «Схема данных».



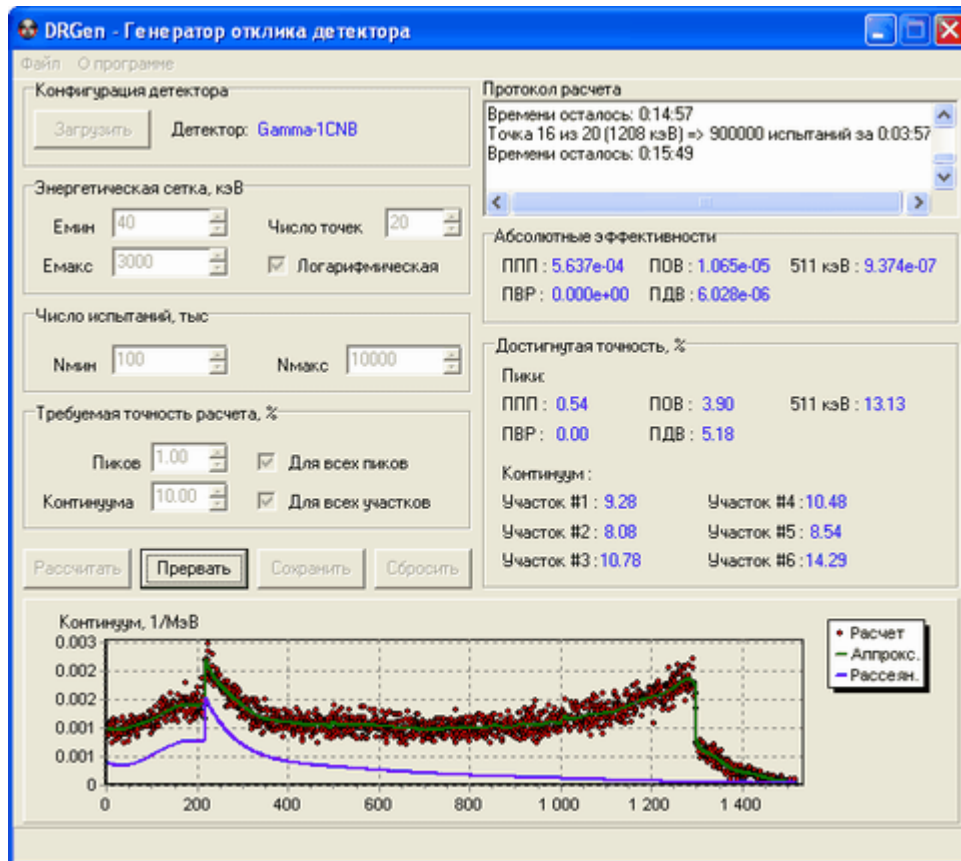


Рисунок 5-11 Окно модуля DRGen для расчета функции отклика детектора

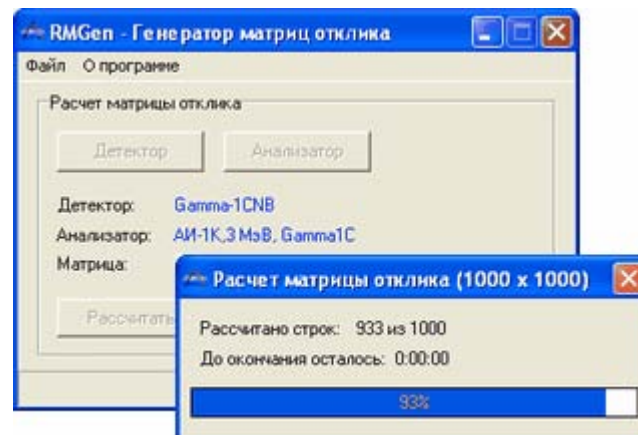


Рисунок 5-12 Окно модуля RMGen для построения матрицы отклика.

## Приложение I Список рисунков

Рисунок 2-1. Основное окно <b>Тренажера</b> для выбора режима запуска.....	4
Рисунок 2-2. Окно ввода пароля в режиме <b>Администратор</b> .....	5
Рисунок 2-3. Основное окно программы <b>WorkMaster</b> со списком практических заданий. ....	6
Рисунок 2-4. Основное окно программы <b>WorkMaster</b> с обучающими видеороликами. ....	6
Рисунок 3-1. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего подготовку СКС-50(М) к работе. ....	7
Рисунок 3-2. Фон СПБФ (200л бочка –вода) /5 метров от детектора. ....	8
Рисунок 3-3. Калибровка по энергии (Am-241, Co-60). ....	8
Рисунок 3-4. Калибровка по разрешению и нелинейности (Am-241, Co-60, E-152, Ba-133, Th-232, Cs-137).....	9
Рисунок 3-5. Измерение фона. Приведены спектры для сравнения с источником на столе (а) и когда источник удален (b). ....	10
Рисунок 3-6. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего измерение гамма-спектров. ....	11
Рисунок 3-7. Спектр открытого источника Co-57.....	12
Рисунок 3-8. Спектры источника Co-57 в контейнере КТ1-10. ....	12
Рисунок 3-9. Спектр от равновесного Th-232 (возраст 50 лет). ....	13
Рисунок 3-10. Спектр неравновесного Th-232 (возраст 1 год). ....	13
Рисунок 3-11. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров. ....	14
Рисунок 3-12. Спектр Th-232 (A:1 кБк). ....	15
Рисунок 3-13. Спектр Cs-137+Co-60 (A:20 МБк). ....	15
Рисунок 3-14. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах.....	16
Рисунок 3-15. Спектр Ir-192 (A:1Ки) в КИЗ-0.5. ....	17
Рисунок 3-16. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-35. ....	17
Рисунок 3-17. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-5. ....	18
Рисунок 3-18. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-10. ....	18
Рисунок 3-19. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-20. ....	19
Рисунок 3-20. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КИЗ-29. ....	19
Рисунок 3-21. Спектр Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10 ..... 20	20
Рисунок 3-22. Спектр Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10 ..... 20	20
Рисунок 3-23. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль степени обогащения урана. ....	21
Рисунок 3-24. Гексафторид урана (степень обогащения 5%) в ТУК-48G..... 22	22
Рисунок 3-25. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-48G .....	22
Рисунок 3-26. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-48G .. 23	23
Рисунок 3-27. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 5%) в ТУК-48G .. 23	23
Рисунок 3-28. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-30..... 24	24
Рисунок 3-29. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-30.. 24	24
Рисунок 3-30. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-30..... 25	25
Рисунок 3-31. Спектр гексафторида урана (степень обогащения 7%) в ТУК-30..... 25	25
Рисунок 3-32. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль изотопного состава плутония. ....	26
Рисунок 3-33. Спектр Pu (10 гр) 78.89% Pu-239 ..... 27	27
Рисунок 3-34. Спектр Pu (500 гр) -78.89% Pu-239 ..... 27	27

Рисунок 4-1. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего подготовку к измерению и подключение аппаратуры. ....	28
Рисунок 4-2 . Фон СПБФ (200л бочка –вода) .....	29
Рисунок 4-3 Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего калибровку по энергии .....	29
Рисунок 4-4 Калибровка по энергии (Eu-152, Th-232).....	30
Рисунок 4-5 Калибровка по разрешению и нелинейности (E-152, Th-232). ....	30
Рисунок 4-6 Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего измерение фона .....	31
Рисунок 4-7 Измерение фона. Приведены спектры для сравнения с источниками на столе (а) и когда источники удалены (b).....	32
Рисунок 4-8. Спектр открытого источника Co-57 .....	33
Рисунок 4-9. Спектры источника Co-57 в контейнере КТ1-10 .....	33
Рисунок 4-10. Спектр неравновесного (возраст 1 год).....	34
Рисунок 4-11. Спектр от равновесного Th-232 (возраст 50 лет). ....	34
Рисунок 4-12. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль изотопного состава и активности источников без защитных контейнеров. ....	35
Рисунок 4-13. Спектр Th-232 (A:1 кБк). ....	35
Рисунок 4-14. Спектр Cs-137+Co-60 (A:20 МБк). ....	36
Рисунок 4-15. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль активности радиоизотопных источников в контейнерах.....	36
Рисунок 4-16. Спектр Ir-192 (A:1Ки) в КИЗ-0.5. ....	37
Рисунок 4-17. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-5. ....	37
Рисунок 4-18. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-10 .....	38
Рисунок 4-19. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КТ1-20 .....	38
Рисунок 4-20. Спектр Eu-152 A:10 МБк в КИЗ-29 .....	39
Рисунок 4-21. Спектр Co-60 (A:1МБк) в КТ1-10 .....	39
Рисунок 4-22. Спектр Am-241 (A:1 Ки) в КТ1-10 .....	40
Рисунок 4-23. Фрагменты обучающего видеоролика, иллюстрирующего контроль степени обогащения урана. ....	40
Рисунок 4-24 Гексафторид урана (степень обогащения 3%) в ТУК-48G .....	41
Рисунок 4-25 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.5%) в ТУК-48G .....	41
Рисунок 4-26 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-48G .....	42
Рисунок 4-27 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 5%) в ТУК-48G .....	42
Рисунок 4-28 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 3%) в ТУК-30.....	43
Рисунок 4-29 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 0.7%) в ТУК-30... ..	43
Рисунок 4-30 Спектр гексафторида урана (степень обогащения 5%) в ТУК-30.....	44
Рисунок 5-1. Вращение поверхности стола. ....	45
Рисунок 5-2. Изменение точки обзора стола. ....	46
Рисунок 5-3. Изменение размеров поверхности стола .....	46
Рисунок 5-4 Источники на макете лаборатории спектрометриста.....	47
Рисунок 5-5 Три источника на поверхности стола .....	47
Рисунок 5-6 Информация об источнике .....	48
Рисунок 5-7 Удаление источника с рабочего стола .....	49
Рисунок 5-8 Сохранение координат источников .....	49
Рисунок 5-9 Детектор с коллиматором и без на макете лаборатории спектрометриста.....	50
Рисунок 5-10 Различные положения детектора. ....	51
Рисунок 5-11. Макет лаборатории спектрометриста для Гамма-1С/NB1 (слева) и для СКС-50(М) (справа). ....	52
Рисунок 5-12. Эмулятор рабочего стола ноутбука.....	52

---

Рисунок 5-13. Различные положения ноутбука и анализатора.....	53
Рисунок 5-14. Спектрометр Гамма-1С/NB1 включенный и выключенный.....	54
Рисунок 5-15. Спектрометр СКС-50(М) со штатной программой SpectralineEsbs. .	54
Рисунок 5-16. Влияние значения высокого напряжения на эмулируемый спектр. .	55
Рисунок 5-17. Сообщение о поломке прибора в SpectralineEsbs.....	55
Рисунок 5-18. Параметры спектрометра Гамма-1С/NB1.....	56
Рисунок 5-19. Параметры спектрометра СКС-50(М).....	56
Рисунок 5-20. Эмулятор рабочего стола ноутбука.....	57
Рисунок 5-21. Основное окно программы SpectralineEsbs с окном поднятия высокого напряжения на спектрометре. ....	58
Рисунок 6-1 Подготовка лабораторных заданий. Модуль «Схема данных» .....	59
Рисунок 6-2 Расчет шаблона спектра точечного источника (Eu-152, Am-241, Ba- 133).....	60
Рисунок 6-3 Расчет шаблона спектра гексафторида U (степень обогащения 4%) в ТУК-30 .....	60
Рисунок 6-4 Расчет шаблона спектра Pu-500 гр (Pu-239 78.89%) .....	61
Рисунок 6-5 Точечный ист. в КИЗ-29, H=5 .....	61
Рисунок 6-6 Гексафторид урана в ТУК 48У .....	62
Рисунок 6-7 Pu-500 грамм.....	62
Рисунок 6-8 Модели детекторов (полупроводниковый и сцинтилляционный).....	63
Рисунок 6-9 Модели коллиматоров: для снижения входной загрузки в случае высокоактивных образцов и для защиты от окружающего фона. ....	64
Рисунок 6-10 Задание материалов конструкционных компонентов .....	64
Рисунок 6-11 Окно модуля DRGen для расчета функции отклика детектора.....	65
Рисунок 6-12 Окно модуля RMGen для построения матрицы отклика.....	65