

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

СПЕКТРОМЕТР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ, НАПОЛНЕННОЙ СЖАТЫМ КСЕНОНОМ

Цель: изучение принципа действия и устройства гамма-детектора на основе цилиндрической ионизационной камеры, наполненной сжатым ксеноном; овладение навыками работы на современной аппаратуре, предназначенной для спектрометрических измерений гамма-излучения; определение энергетического разрешения ксенонового детектора.

Теоретическая часть.

Принцип действия и устройство гамма-детекторов на основе цилиндрической ионизационной камеры.

В последнее время были разработаны новые гамма-спектрометры на основе ксеноновых гамма-детекторов, которые в отличие от сцинтилляционных и полупроводниковых имеют ряд особенностей, позволяющих широко использовать их как для фундаментальных, так и прикладных исследований. Ксеноновые гамма-детекторы обладают хорошим энергетическим разрешением, которое в несколько раз лучше, чем у сцинтилляционных детекторов. Для функционирования ксеноновых гамма-детекторов не требуется использование жидкого азота, и они могут работать в широком температурном диапазоне без изменения своих спектрометрических характеристик. Ксеноновые гамма-детекторы могут выдерживать высокие ударные и вибро-акустические нагрузки, что позволяет устанавливать их на вертолетах, автомобилях, спутниках и т.д. Важной особенностью ксеноновых детекторов является то обстоятельство, что их спектрометрические характеристики практически не зависят от размеров. Это позволяет создавать на базе ксеноновых детекторов гамма-спектрометры высокой чувствительности. Следует также отметить, что стоимость гамма-спектрометров на основе сжатого ксенона, по сравнению с полупроводниковыми и сцинтилляционными, значительно ниже.

К недостаткам ксеноновых гамма-детекторов можно отнести их сравнительно невысокое быстродействие (длительность полезного сигнала около 10 мкс) и низкую плотность рабочего вещества ($0,5-0,6 \text{ г/см}^3$).

Основу гамма-спектрометра, изучаемого в данной работе, составляет цилиндрическая ионизационная камера с экранирующей сеткой. Камера

работает в импульсном режиме, что обеспечивает возможность регистрировать отдельную частицу и определять ее энергию. В качестве рабочего вещества ионизационной камеры используется сжатый ксенон (Xe) высокой чистоты. Известно, что существует не так много веществ (например, благородные газы, германий, кремний и некоторые другие), в которых с помощью внешнего электрического поля удастся извлечь заряды из трека частицы и использовать их для формирования электрического сигнала. Для увеличения эффективности газовых спектрометрических детекторов используются инертные газы с большим атомным номером. После Xe (атомный номер $Xe - 131$, заряд - 54) наиболее тяжелым инертным газом является радон Rn , однако он альфа- радиоактивен (период его полураспада - 3,825 дня), и по этой причине он не может использоваться в качестве рабочего вещества в спектрометрических газовых гамма-детекторах.

Одной из важнейших характеристик любого вещества, используемого для детектирования гамма-излучения, является его способность поглощать фотоны. Эта способность характеризуется вероятностью взаимодействия фотонов с данным веществом. Как известно, фотоны при прохождении через вещество испытывают три типа взаимодействия (без учета ядерных реакций под действием фотонов): фотоэффект, эффект Комптона и образование электронно-позитронных пар. Сечения этих взаимодействий σ зависят от заряда Z рабочего вещества и энергии E фотона следующим образом:

$$\sigma_{\text{фот}} \sim Z^5/E_\gamma^{7/2} (E_\gamma), \quad \sigma_{\text{Комптон}} \sim Z/E_\gamma, \quad \sigma_{\text{пар}} \sim Z^2 \cdot \ln(2E_\gamma).$$

С точки зрения величины заряда ксенон ($Z=54$) по сравнению с другими веществами, используемыми в гамма-детекторах (например Ge $Z=32$ и $NaI(Tl)$ $Z_{эф}=50$), является наиболее предпочтительным для регистрации гамма-излучения, особенно в области энергий, где фотоэффект служит основным механизмом взаимодействия гамма-излучения с веществом.

Применяемый в гамма-детекторах Xe должен быть хорошо очищен от электроотрицательных примесей, которые обладают большим сечением захвата электронов, образующихся в рабочем веществе камеры. Степень чистоты ксенона определяется отношением числа электроотрицательных атомов (например, кислорода O_2) к общему числу атомов ксенона. Обычно эта величина составляет примерно 10^{-10} . При такой чистоте Xe время жизни объемного заряда $t_{жс}$, возникающего в ионизационной камере, намного превышает время его дрейфа t_0 в детекторе, т.е.: $t_{жс} > t_0$. Это означает, что величина объемного заряда за время дрейфа практически не меняется и

создаваемый электрический импульс на выходе ионизационной камеры пропорционален энергии регистрируемой частицы.

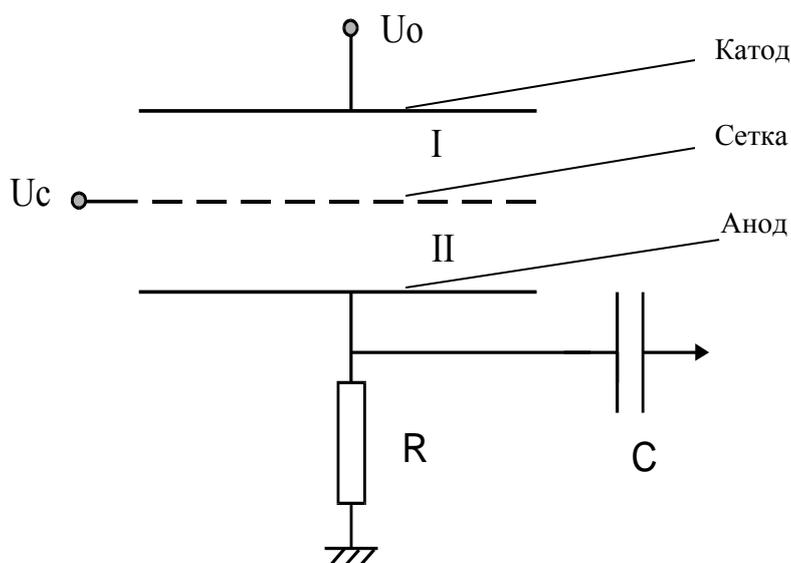


Рис. 1. Схема ионизационной камеры с экранирующей сеткой. U_0 – напряжение на катоде, U_c – напряжение на сетке, R – сопротивление, C – конденсатор.

Общая схема включения ионизационной камеры в импульсном режиме показана на рис.1. При взаимодействии фотона с рабочим веществом в ионизационной камере образуются ионы атомов ксенона и электроны, которые под действием электрического поля движутся соответственно к катоду и аноду. Поскольку скорость дрейфа электронов v_e в ионизационной камере почти в 10^3 раз больше скорости дрейфа тяжелых положительных ионов, то амплитуды импульсов в ионизационной камере, обусловленных движением электронов, будут во много раз превышать амплитуды импульсов, обусловленных движением тяжелых ионов. По этой причине в дальнейшем речь будет идти лишь об электронной составляющей объемного заряда ионизационной камеры.

Рассмотрим в общем случае образование наведенного заряда на аноде цилиндрической ионизационной камеры без экранирующей сетки. Во время движения заряженной частицы в ионизационной камере происходит зарядка и разрядка емкости C . Приращение заряда dQ на этой емкости за время dt при условии, что потенциал катода равен единице, запишется в виде:

$$dQ = e \cdot E_v(t) v(t) \cdot dt \quad (1)$$

где $E_v(t)$ - составляющая вектора напряженности электрического поля вдоль скорости движения заряда $v(t)$ (в данном случае скорости дрейфа).

Уменьшение заряда на емкости C пропорционально величине заряда $Q(t)$ и $1/RC$, т.е.:

$$dQ = -Q(t) \cdot (1/RC) \cdot dt \quad (2)$$

Таким образом, изменение заряда на емкости C описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dQ}{dt} = -Q(t) \cdot \frac{1}{RC} + e \cdot E_v(t) \cdot v(t) \quad (3)$$

Решение этого уравнения, найденное методом вариации постоянных, имеет вид:

$$Q(t) = e^{-t/RC} \cdot \int_0^t e \cdot E_v(t') \cdot v(t') \cdot e^{-t'/RC} \cdot dt' \quad (4)$$

В цилиндрической камере электрическое поле E описывается известной формулой:

$$E = \frac{U_0}{r \cdot \ln\left(\frac{r_k}{r_a}\right)} \quad (5)$$

где r - расстояние от центральной оси цилиндра;

r_k - радиус катода;

r_a - радиус анода;

U_0 - напряжение на катоде.

Тогда напряжение на конденсаторе, создаваемое электронной составляющей при условии, что $t \leq RC$, можно записать в следующем виде:

$$V(t) = \frac{ne}{C} \int_0^t \frac{v(t')}{r \cdot \ln(r_k / r_a)} dt' \quad (6)$$

При достаточно больших полях скорость дрейфа электронов в ионизационной камере слабо зависит от величины напряженности электрического поля. Для многих газов она пропорциональна корню квадратному из напряженности электрического поля, т.е.: $v = v_0 \cdot \sqrt{E / E_0}$.

Подставив v в предыдущее выражение и проведя замену переменной t чрез r , после интегрирования получим:

$$V(t) = -\frac{ne}{C} \cdot \frac{2}{3 \ln(r_k / r_a)} \cdot \ln \left(1 - \frac{3}{2} \frac{v_0 \cdot t \cdot \sqrt{U_0}}{r_0^{3/2} \sqrt{E_0 \ln(r_k / r_a)}} \right) \quad (7)$$

В этом выражении r_0 - радиус точки взаимодействия фотона с рабочим веществом ионизационной камеры, v_0 , E_0 – скорость дрейфа и напряженность электрического поля в той же точке, соответственно

Максимальное значение этого выражения имеет вид:

$$V_{max} = -\frac{ne}{C} \cdot \frac{\ln \left(\frac{r_a}{r_0} \right)}{\ln \left(\frac{r_k}{r_a} \right)} \quad (8)$$

На рис.2. показаны зависимости $V(t)$ для нескольких значений r_0 - расстояние от центральной оси цилиндра до места взаимодействия фотона с веществом детектора.

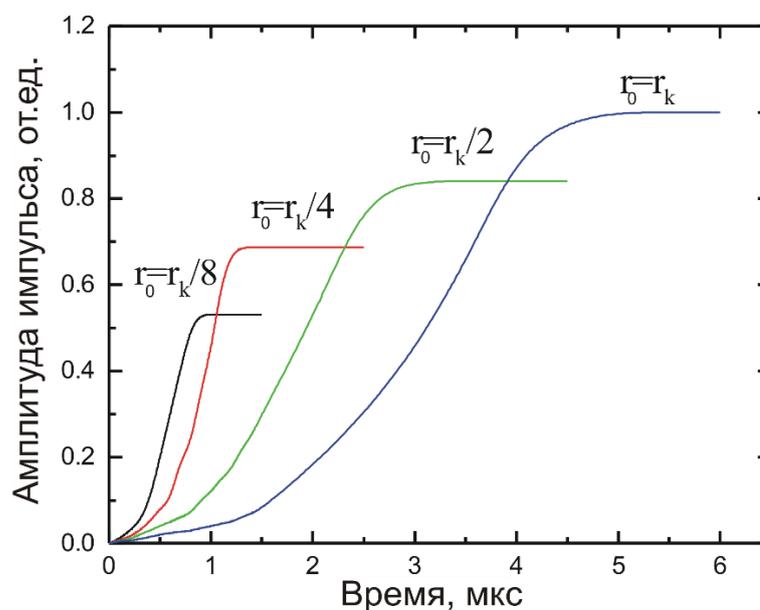


Рис. 2. Зависимость амплитуды импульса, индуцируемого на аноде цилиндрической ионизационной камеры, от времени (r_0 - расстояние от места образования объемного заряда до анода, r_k - радиус катода).

Эта зависимость называется индукционным эффектом. Вследствие индукционного эффекта фотоны одной и той же энергии, провозимодействовавшие в разных местах ионизационной камеры, создают на аноде электрические сигналы различной амплитуды, что приводит к ухудшению энергетического разрешения. гамма-детектора.

Обычно энергетическое разрешение детектора определяется как ширина на полувысоте пика распределения импульсов, возникающих на выходе детектора при регистрации моноэнергетических частиц. Оно измеряется либо в единицах энергии, либо в процентах по отношению к энергии регистрируемых частиц.

В случае равномерной ионизации и полного собирания электрического заряда ширина на полувысоте δ пика амплитудного распределения выходных импульсов связана с параметрами камеры следующим образом:

$$\delta = \frac{\ln(2)}{2 \ln\left(\frac{r_k}{r_a}\right)} \quad (9)$$

Так, например, для цилиндрической ионизационной камеры с размерами $r_k=25$ мм и $r_a=100$ мкм предельное энергетическое разрешение составляет 6,2 %.

Из формулы (9) следует, что, чем больше отношение радиуса катода к радиусу анода, тем лучшее энергетическое разрешение можно получить для такой камеры. Однако для реальных цилиндрических камер большое отношение r_k к r_a обеспечить достаточно сложно, так как в этом случае для уменьшения влияния процессов рекомбинации необходимо использовать высокие напряжение на катоде, что само по себе нежелательно.

Для уменьшения индукционного эффекта, а, следовательно, и для улучшения энергетического разрешения гамма-детектора, наиболее эффективным методом является использование экранирующей сетки. Согласно этому методу между катодом и анодом цилиндрической ионизационной камеры размещается сетка, на которую подается отрицательный потенциал примерно вдвое меньший, чем на катоде. В этом случае объемный заряд, движущийся между катодом и сеткой, область I рис.1, практически не будет индуцировать электрический сигнал на аноде до тех пор, пока этот заряд не пройдет через экранирующую сетку, в область II. Экранирующая сетка в ионизационной камере должна отвечать двум основным, противоречащим друг другу требованиям. С одной стороны она должна надежно экранировать анод при движении заряда в области катод-сетка ионизационной камеры и, в то же время, обеспечивать высокую проницаемость заряда в область сетка-анод.

Обычно неэффективность экранировки сетки составляет около (2-3)%, хотя в некоторых случаях для компенсации возможной рекомбинации объемного заряда этот параметр может быть увеличен.

Необходимое условие полной проницаемости сетки заключается в том, чтобы напряженность электрического поля внутри сетки была больше, чем за ее пределами.

Для того, чтобы обеспечить хорошее энергетическое разрешение ксенонового гамма-детектора также необходимо, чтобы напряженность электрического поля во всем объеме ионизационной камеры была больше 2 кВ/см. Для областей вблизи катода это требование можно записать в виде:

$$\frac{U_k - U_c}{r_c \cdot \ln(r_k / r_c)} \geq 2 \text{ кВ/см} \quad (11)$$

При таких полях удастся обеспечить достаточно высокие значения скоростей дрейфа электронов в рабочем газе. Кроме того, в этом случае

влияние процессов рекомбинации заряда можно свести к минимуму и тем самым обеспечить высокое энергетическое разрешение.

Следующее требование, определяющее параметры цилиндрической ионизационной камеры, состоит в том, чтобы электрическая емкость между анодом и сеткой была бы как можно меньше. Для реальных камер желательно, чтобы она не превышала 50 пФ , т.е.:

$$\frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot L}{\ln\left(\frac{r_c}{r_a}\right)} < 50 \times 10^{-12} \text{ Ф} \quad (12)$$

где ε_0 - абсолютная диэлектрическая проницаемость; L - длина анода и сетки.

Необходимость этого требования определяется тем, что электрическая емкость между сеткой и анодом согласно формуле (8) обратно пропорциональна амплитуде выходного сигнала, индуцируемого на аноде.

Следует также учитывать еще одно условие, которое заключается в том, что объем, заключенный внутри экранирующей сетки, должен быть как можно меньше, поскольку в нем сказывается влияние индукционного эффекта. На практике удается обеспечить внутренний объем цилиндрической сетки не более (5-10)% от общего чувствительного объема ионизационной камеры. Таким образом, это условие можно сформулировать в виде:

$$\frac{r_k^2}{r_c^2} \leq (0.1 - 0.05) \quad (13)$$

Кроме того, необходимо учитывать, что максимальное напряжение, подаваемое на катод камеры, не должно быть сверх высоким, так как изоляционные возможности конструктивных элементов камеры не безграничны и определяются как общими габаритами, так и свойствами изоляционных материалов. Обычно в приборах, использующих высокие напряжения, применяются керамические изоляторы, обладающие хорошими изоляционными свойствами. Однако даже в этом случае необходимо минимизировать утечки электрического тока по их поверхностям, что достигается путем искусственного развития этих поверхностей.

Для определения разрешения спектрометра рассмотрим две близкие моноэнергетические группы фотонов с энергиями E_i и E_{i+1} , изображенные в энергетическом распределении, полученном на спектрометре (рис. 3).

Пусть $E_{i+1} - E_i = \Delta E$, тогда разрешающая способность спектрометра дается следующим выражением:

$$D = \frac{E_i}{\Delta E} \quad (14)$$

В спектроскопии ядерных излучений, как и в оптике, понятие разрешающей способности условно, так как разделение двух линий существенно зависит от их формы. Форма спектральных линий принимается либо лоренцевой, либо гауссовой. Разрешающая способность спектрометра любого типа оценивается по даваемому им разрешению - величине, обратной разрешающей способности, — и выражается в процентах:

$$d = \frac{1}{D} \cdot 100\% \quad (15)$$

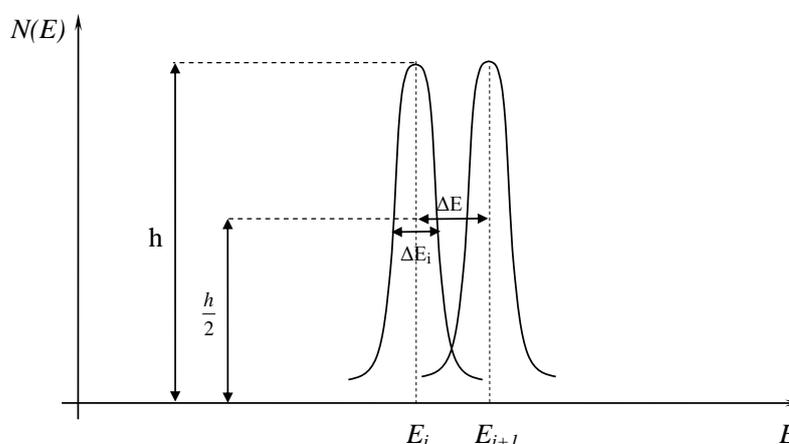


Рис. 3. К определению энергетического разрешения сцинтилляционного спектрометра

Принимая условно, что две спектральные линии еще могут наблюдаться раздельно, если они сдвинуты одна относительно другой на половину ширины спектральной линии, т.е. на ширину линии на высоте, равной половине максимальной, ΔE_i (см. рис. 3) приходим к определению понятия энергетического разрешения (величину ΔE_i иногда называют полушириной линии E_i)

$$d = \frac{\Delta E_i}{E_i} \cdot 100\% \quad (16)$$

где ΔE_i - полуширина линии с энергией E_i .

Эффективность регистрации детектора, наполненного ксеноном, рассчитывается аналогично любому другому типу детекторов, как отношение числа зарегистрированных частиц к числу частиц, попавших в чувствительный объем детектора.

$$\eta = \frac{n_{изм}}{n_{нав}} \cdot 100\% \quad (17)$$

где $n_{изм}$ - число зарегистрированных импульсов; $n_{нав}$ - число попавших в чувствительный объем счетчика частиц или квантов излучения за то же время. При этом, $n_{исч}$ дается соотношением $n_{исч} = A(t) \cdot k \cdot G$, где $A(t)$ – активность источника излучения на момент проведения измерений, которая определяется из основного закона радиоактивного распада ($A(t) = A_0 \cdot 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}}$), G -геометрический фактор, а k – квантовый выход излучения, дающий информацию о том, сколько квантов или частиц данной энергии вылетает за один акт распада радиоактивного источника.

Геометрический фактор G для ксенонового гамма-детектора может быть рассчитан по следующей формуле (18):

$$G = \frac{1}{\pi} \arctg \frac{RL/2}{[(d^2 - R^2)(b^2 - R^2)]^{1/2}} + \frac{LR^2}{b^3} \cdot [\arccos \frac{R}{d} - \frac{R}{d} (1 - \frac{R^2}{d^2})^{1/2} \cdot (1 - \frac{3R^2}{2b^2}) + \frac{dR}{b^2} (1 - \frac{R^2}{d^2})^{3/2}]$$

где R – радиус камеры; L – длина; d – расстояние от центра камеры до источника;

$$b^2 = (\frac{L}{2})^2 + d^2$$

Помимо эффективности регистрации в качестве характеристики спектрометра может также использоваться фотоэффективность, которая дает информацию о эффективности процесса именно фотопоглощения в веществе детектора. Фотоэффективность также называют эффективностью регистрации по пику полного поглощения. ε_i – эффективность регистрации фотонов от точечного источника в пике полного поглощения с энергией E_i кэВ, в абсолютных единицах может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{S_i}{k_i \cdot t \cdot G \cdot A} \quad (19)$$

Где:

S_i – площадь пика полного поглощения с энергией E_i кэВ, импульсы

k_i – выход гамма-квантов на распад, абсолютные единицы

t – время проведения измерения, секунды

A – активность источника ионизирующего излучения на текущую дату, Бк

G – геометрический фактор.

Для расчета среднего квадратического отклонения фотоэффективности можно использовать следующую формулу:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (S_{ik} - \bar{S}_i)^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot \frac{100}{\bar{S}_i} \quad (20)$$

Где:

S_{ik} – площадь пика полного поглощения с энергией E_i кэВ, измеренная в k -ом опыте, импульсы

\bar{S}_i – среднее значение площади пика полного поглощения с энергией E_i кэВ, импульсы

n – количество проведенных опытов

Экспериментальная часть.

Описание ксенонового спектрометра гамма-излучения.

Общая схема гамма-спектрометра, изучаемого в данной работе, приведена на рис.4. Помимо детектора гамма-излучения в состав спектрометра входят также источники питания (низковольтные и высоковольтные), блок цифровой электроники, персональный компьютер, зарядочувствительный усилитель и сетевой адаптер питания.

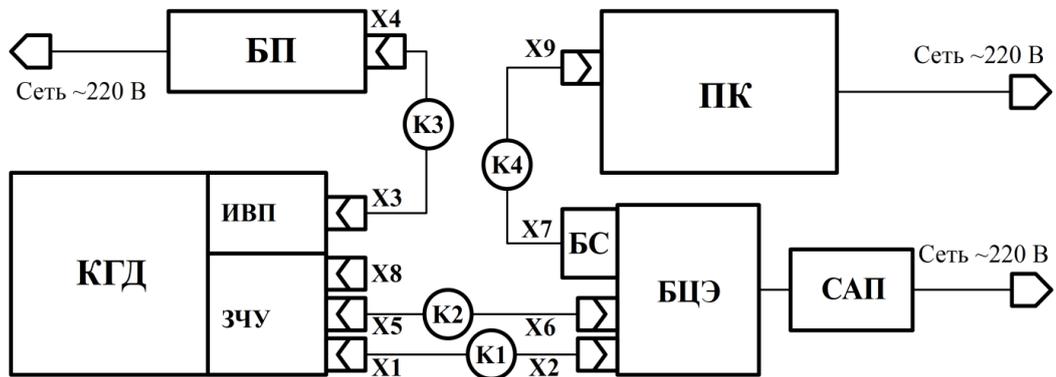


Рис.4. Общая схема гамма-спектрометра со сжатым ксеноном. КГД – ксеноновый гамма-детектор; ЗЧУ – зарядочувствительный усилитель; ИВП – источник высоковольтного питания; БП – источник низковольтного питания; БЦЭ – блок цифровой электроники; ПК – персональный компьютер; САП – сетевой адаптер питания.

Гамма-детектор на основе сжатого ксенона представляет собой цилиндрическую ионизационную камеру с экранирующей сеткой, работающую в импульсном режиме. Схема гамма-детектора приведена на рисунке 5.

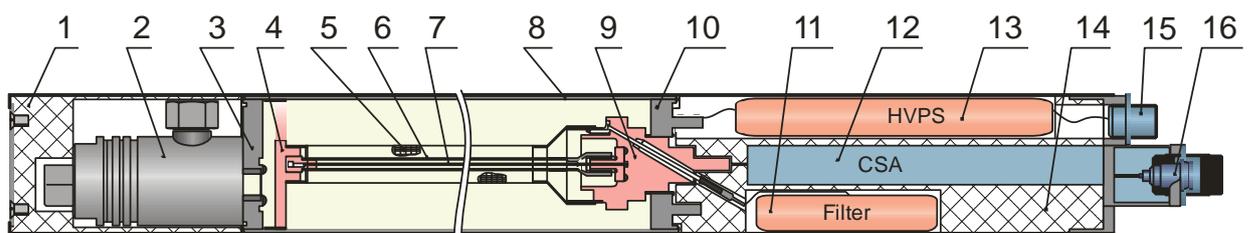


Рис.5. Схема гамма-детектора на основе ионизационной камеры, наполненной сжатым ксеноном (рабочий объем 0,2 л.) 1 – тефлоновый изолятор; 2 – газовый вентиль; 3 – фланец; 4 – керамическая опора для сетки; 5 – экранирующая сетка; 6 – анод; 7 – заземленная металлическая нить; 8 – корпус детектора (катод); 9 – керамический гермоввод; 10 – фланец; 11 – высоковольтный фильтр; 12 – зарядочувствительный усилитель (ЗЧУ); 13 – источник высоковольтного питания; 14 – тефлоновый изолятор; 15 – низковольтный вход питания высоковольтного источника; 16 – выход ЗЧУ.

Все внутренние элементы детектора изготовлены из нержавеющей стали и металлокерамики. Внешние элементы детектора сделаны из фторопласта и сплавов алюминия.

Внешний диаметр корпуса детектора равен 38 мм, толщина стенки составляет 1,2 мм. Корпус детектора является также катодом ионизационной камеры и основным несущим элементом конструкции.

Фланцы детектора 3 и 10 имеют большую толщину по сравнению со стенкой детектора, так как на них крепятся дополнительные элементы ионизационной камеры. Они тоже изготовлены из нержавеющей стали.

Газовый вентиль 2 предназначен для наполнения детектора ксеноном и обеспечения герметичности его внутреннего объема.

Анод ионизационной камеры 6 изготовлен из стальной трубки диаметром 4 мм и толщиной 1 мм. Он служит для собирания заряда, образованного в рабочем объеме детектора. Внутри анода натянута центральная металлическая нить 7 диаметром 0,2 мм. Она соединяет нулевой электрический потенциал детектора с токосъемным кольцом на керамической опоре для сетки.

Экранирующая сетка 5 изготовлена из металлической фольги, сделанной из нержавеющей стали толщиной 250 мкм. Она имеет форму цилиндра диаметром 12 мм с ячейками в виде прямоугольников с размерами 5 мм×3 мм.

Керамическая опора 4 предназначена для крепления экранирующей сетки внутри ионизационной камеры. Изолятор прикрепляется к внутренней поверхности стенки детектора. Также данная опора предназначена для уменьшения амплитуды колебаний экранирующей сетки, которые могут возникнуть в результате внешних виброакустических воздействий.

Керамический гермоввод 9 крепится на фланце ионизационной камеры. Через него осуществляется подача высокого напряжения на экранирующую сетку и снятие сигнала с анода.

Тефлоновый изолятор 1 предназначен для изоляции высокого напряжения на катоде детектора. Внутри тефлонового изолятора 14 находятся высоковольтный фильтр 11 (для стабилизации высокого напряжения) и зарядочувствительный усилитель 12. Источник высоковольтного питания (ИВП) 13 присоединяется к блоку электроники без соединительных

проводов. Это уменьшает величину возможных электромагнитных наводок. Питание ИВП осуществляется напряжением 24 В. На его выходах создаются напряжения до 10 кВ для питания катода ионизационной камеры и до 7,5 кВ для сетки детектора. Потребление ИВП составляет не более 20 Вт.

Внешнее покрытие детектора состоит из 3 слоев: двух слоев полиэтиленовых термосужающихся труб толщиной около 1 мм каждая. Они предназначены для изоляции корпуса камеры с высоким электрическим потенциалом от внешней среды. Между ними находится заземленная тонкая алюминиевая фольга, служащая для экранирования всей ионизационной камеры от внешних электромагнитных наводок.

Рабочий объем гамма – детектора равен 200 см^3 при торцевой площади, равной 11 см^2 . Отношение рабочего объема ионизационной камеры к общему объему детектора равно примерно 83%. Сводная информация по характеристикам данного детектора приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные физико-технические характеристики ксенонового гамма-детектора с рабочим объемом 0,2 литра.

Плотность ксенона, г/см ³	0,4
Давление ксенона при 23°C, атм	50
Диапазон измеряемых энергий гамма-квантов, МэВ	0,02-3
Энергетическое разрешение для энергии гамма-квантов 662 кэВ, %	2,3
Эффективность регистрации по пику полного поглощения для гамма-квантов с энергией 662 кэВ, %	0,005
Рабочий объем, см ³	200
Напряжение на катоде детектора, кВ	10
Напряжение на сетке детектора, кВ	7,5
Диаметр катода, мм	38
Диаметр сетки, мм	12
Диаметр анода, мм	4

Длина чувствительной части, мм	120
Толщина стенки детектора, мм	1,2
Габариты, см	∅4×35
Масса, кг	1
Энергопотребление, Вт	20
Питание, В	24

Фотография ксенонового гамма-детектора с рабочим объемом 0,2 литра представлена на рис.6.



Рис.6. Ксеноновый гамма-детектор с рабочим объемом 0,2 литра.

Электрические сигналы, поступающие с выхода ЗЧУ поступают в блок цифровой электроники (БЦЭ), где происходит их усиление, формирование и оцифровка. В БЦЭ также предусмотрена функция амплитудного анализатора импульсов, что, по сути, превращает детектор на основе ксенона в спектрометрическую систему. Цифровые сигналы с БЦЭ поступают на вход компьютера и далее их обработка ведется с помощью специальной программы для набора и обработки спектров «Gamma spectrum processing». Описание этой программы и инструкция для пользователей приведены в приложении к данной лабораторной работе.

Подготовка спектрометра к работе.

Убедиться в том, что кабели питания от БП и от САП отключены от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Проверить правильность и надежность подключения элементов установки друг к другу (имеется в виду надежность закрепления кабелей в разъемах, а также соответствие подключения элементов установки схеме на рис. 4).

Подключить кабели питания БП и САП к сети переменного тока.

Включить персональный компьютер.

Переключить тумблер на торцевой панели БП в положение «ВКЛ». При включении должен начать мигать красный светодиод на противоположном торце БП. После включения БП начинает происходить зарядка высоковольтных конденсаторов ИВП, расположенного внутри корпуса детектора. Процесс зарядки длится порядка 25 минут. Данный промежуток времени необходимо засечь по часам, поскольку отдельной индикации готовности ИВП к работе не предусмотрено.

Одновременно с включением БП перевести тумблер на торцевой панели БЦЭ в положение «ВКЛ». При включении БЦЭ загорится красный светодиод рядом с тумблером включения.

По окончании процесса зарядки конденсаторов ИВП запустить программу набора и обработки спектров «Gamma-spectrum processing» с помощью ярлыка на рабочем столе персонального компьютера.

Для подключения программы к порту, через который осуществляется передача данных с детектора и контроль над ЗЧУ, необходимо совершить следующие действия:

Во вкладке «Файл» выбрать команду «Набрать новый спектр». В открывшемся окне набора спектра найти кнопку «Интерфейс», нажать на неё. Откроется окно выбора интерфейса связи программы с каналом данных. Передача данных от БЦЭ осуществляется с помощью сетевого кабеля, подключенного через переходник к виртуальному СОМ-порту. Соответственно, в окне выбора интерфейса необходимо выбрать вариант «СОМ», и нажать кнопку «Принять и открыть порт».

При правильном подключении программы к устройству в окне набора спектра станут активны дополнительные команды, в частности команды, отвечающие за управление ЗЧУ. Программа позволяет дистанционно включать и выключать ЗЧУ детектора. Для включения ЗЧУ необходимо выбрать команду «Вкл. ЗЧУ» в окне набора спектра. Если все манипуляции по включению элементов гамма-спектрометра выполнены правильно, можно услышать щелчок переключения электрореле в корпусе детектора. Гамма-спектрометр готов к работе.

Набор и обработка спектров осуществляются в соответствии с руководством пользователя программы набора и обработки спектров «Gamma-spectrum processing».

Отключение элементов спектрометра производится в следующей последовательности.

Остановить набор спектра, если набор не был завершен, произвести сохранение необходимых данных.

В окне набора спектра выбрать команду «Выкл. ЗЧУ». Щелчок электрореле со стороны детектора должен сигнализировать о выключении ЗЧУ. Далее закрыть программу набора и обработки, выключить компьютер.

Перевести тумблер БЦЭ в положение «ВЫКЛ»

Перевести тумблер БП в положение «ВЫКЛ»

Отсоединить кабели питания БП и САП от сети переменного тока.

Порядок выполнения работы.

ВНИМАНИЕ!!! Включение установки и размещение источников ионизирующего излучения осуществляются только в присутствии преподавателя

Задание 1. Ознакомление с программой набора и обработки. Калибровка спектрометра.

Произвести подготовку спектрометра гамма-излучения к работе согласно приведенной инструкции.

Произвести калибровку спектрометра программными средствами. Для этого, в отсутствие источников излучения набрать спектр фона в течение 20 минут, сохранить его в папку «ЛР Ксенон» с соответствующим названием, и

в дальнейшем использовать данный спектр как фоновый при каждом измерении.

Далее следует набрать спектр излучения совместно установленных источников Am-241 и Cs-137 в течение 10 минут, с учетом фона. Используя базу данных библиотеки нуклидов, интегрированной в программу «Gamma-spectrum processing», а также руководство оператора данной программы, провести калибровку шкалы спектрометра. Полученную калибровку сохранить в папку «ЛР Ксенон», находящуюся на рабочем столе.

Произвести проверку калибровки, набрав спектры источников Ba-133 или Na-22, также с учетом фона. Спектры данных источников набирать по отдельности, не сохраняя результаты измерения, проверяя лишь правильность проведенной калибровки.

В случае, если проведенная калибровка оказалась удовлетворительной, приступить к дальнейшему выполнению работы. Удовлетворительной считается калибровка, при которой точность совпадения табличного и экспериментального значения энергии гамма-линии нуклида составляет ± 3 кэВ. В противном случае произвести подкалибровку спектрометра с помощью одной линии. Для этого необходимо вызвать команду «Калибровка» с набранным спектром Ba-133, в открывшемся окне калибровке будет видно, что энергия и номер канала второй точки уже установлены (остались после первой калибровки), и дальнейшая подкалибровка производится установкой номера канала и энергии первой точки. Произвести подкалибровку по пику Ba-133 с энергией 81 кэВ, например, и снова набрать спектр для проверки качества калибровки.

Задание 2. Исследование энергетического разрешения спектрометра.

Провести запись спектров гамма-излучения нескольких источников, после чего с помощью возможностей программы обработки спектров или сторонней среды обработки определить энергетическое разрешение зарегистрированных гамма-линий.

Значение времени набора спектров установить в размере 10 минут. Источники размещать на расстоянии 10 см от внешней стенки детектора.

Информацию о интенсивностях и энергиях гамма-линий взять из таблицы нуклидов, встроенной в программу.

Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2. Энергетическое разрешение гамма-спектрометра

Источник ИИ	Энергия линии, кэВ	Выход фотонов k, %	Разрешение, кэВ	Разрешение, %
^{22}Na				
^{133}Ba				
^{137}Cs				

**учесть наличие нескольких линий гамма-квантов для изотопа ^{133}Ba*

На основании данных таблицы 2 построить график зависимости энергетического разрешения гамма-спектрометра от энергии зарегистрированных гамма-линий.

Задание 3. Исследование эффективности регистрации гамма излучения с помощью КГД

Провести запись спектров трёх источников ионизирующего излучения, согласно таблице 3 (каждый источник на трёх расстояниях от внешней стенки детектора: 15, 10 и 5 см). Живое время набора каждого спектра установить величиной 10 минут. Расчет эффективности регистрации произвести с использованием формул (17, 18), причем в качестве числа зарегистрированных импульсов использовать интегральное число импульсов всего набранного спектра.

Таблица 3. Эффективность регистрации гамма-излучения

Источник ИИ	Время набора	$N_{\text{изм, имп}}$	Геометрический фактор G	A, Бк	k, %	η , %
^{241}Am						
^{137}Cs						
^{22}Na (511 кэВ)						
$^{22}\text{Na}^*$ (511 кэВ)						

$^{22}\text{Na}^*$ - измерение источника производится при помещении его в специальный алюминиевый контейнер небольшой толщины.

На основании данных таблицы 3 построить графики следующих зависимостей:

- зависимость эффективности регистрации от расстояния для каждого источника;
- зависимость эффективности регистрации от энергии источника для каждого расстояния.

Задание 4. Исследование фотоэффективности КГД

На основании набранных спектров провести расчет значений фотоэффективности КГД для энергий источников, указанных в таблице 4. Результаты расчета также занести в таблицу 4. Для расчета использовать данные спектров, набранных на расстоянии 10 см от внешней стенки детектора.

Таблица 4. Расчет фотоэффективности КГД

Источник ИИ	Время набора	S, имп	Геометрический фактор G	A, Бк	k_i , %	ϵ , %
^{241}Am						
^{137}Cs						
^{22}Na (511 кэВ)						
$^{22}\text{Na}^*$ (511 кэВ)						
^{133}Ba						

**учесть наличие нескольких линий гамма-квантов для изотопа ^{133}Ba*

Задание 5. Идентификация неизвестного нуклида программными средствами.

Провести набор спектра неизвестного изотопа некоторого химического элемента, и, пользуясь программными средствами обработки и базой данных нуклидов, осуществить его идентификацию. Результат измерений занести в таблицу 5.

Таблица 5. Идентификация неизвестного изотопа

Время набора, с	Энергия гамма-линий, кэВ	Возможный изотоп

Контрольные вопросы.

1. Устройство и принцип работы цилиндрической ионизационной камеры с экранирующей сеткой.

2. Индукционный эффект и его влияние на энергетическое разрешение гамма-спектрометра.

3. Основные требования, предъявляемые к экранирующей сетке.

4. Основные требования, предъявляемые к рабочему веществу спектрометрических ионизационных камер.

5. Виды взаимодействия гамма-излучения с рабочим веществом ксенонового гамма-спектрометра.

6. Основные преимущества и недостатки ксеноновых гамма-спектрометров по сравнению с полупроводниковыми и сцинтилляционными.

Список рекомендуемой литературы.

1. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985
2. А. И. Болоздыня, И. М. Ободовский Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения М.: Интеллект, 2012;
3. Волков Н.Г., Христофоров В.А., Ушакова Н.П. Методы ядерной спектрометрии М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Матвеев В.В., Хазанов Б.И. Приборы для измерения ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1972.
5. Экспериментальные исследования полей гамма-излучения и нейтронов. Под ред. Ю.А. Егорова, М.: Атомиздат, 1974.

Приложение 1. Руководство оператора программы набора и обработки гамма спектров

«Gamma spectrum processing»

АННОТАЦИЯ

В данном руководстве оператора представлены порядок работы и основные функции программного обеспечения «Набор и обработка гамма-спектров» позволяющего набирать, сохранять на диск и считывать с диска набранные гамма-спектры и спектры фона, визуализировать их, проводить энергетическую калибровку и обработку гамма-спектров, задавать необходимые для обработки параметры, формировать рабочий список нуклидов из заданной библиотеки, по которому проводить анализ спектра, визуализировать результаты анализа в виде протокола и графика, сохранять его в файл, проводить полную калибровку гамма-детектора.

СОДЕРЖАНИЕ РУКОВОДСТВА ОПЕРАТОРА

1	ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (ПО) ДЛЯ НАБОРА И ОБРАБОТКИ ГАММА-СПЕКТРОВ.	25
1.1	СТРУКТУРА ПО «НАБОР И ОБРАБОТКА ГАММА-СПЕКТРОВ».	25
1.2	ОПИСАНИЕ И ФУНКЦИИ ПО.	27
1.2.1	Установка программы.	29
1.2.2	Разделы главного меню.	31
1.2.3	Кнопки панели инструментов.	33
1.3	РАБОТА С ОСНОВНЫМ СПЕКТРОМ ОТ РЯМ.	34
1.3.1	Команда «Загрузить спектр».	34
1.3.2	Параметры спектра.	39
1.3.3	Масштабирование спектра.	43
1.3.4	Энергетическая калибровка спектра.	45
1.3.5	Обработка гамма-линий.	48
1.3.6	Работа с теневым спектром.	55
1.3.7	Спектр фона.	59
1.3.7.1	Команда «Загрузить спектр фона».	59
1.3.7.2	Математические операции со спектром фона.	62
1.3.8	Команды «Сохранить спектр» и «Сохранить спектр фона».	64
1.3.9	Команда «Закреть спектр».	65
1.3.10	Команда «Выход».	66
1.3.11	Раздел меню «Настройки».	66
1.3.11.1	Команда «Параметры проекта».	66
1.3.11.2	Команда «Библиотека нуклидов».	67
1.3.12	Раздел меню «Анализ спектра».	71
1.3.12.1	Команда «Параметры анализа».	71
1.3.12.1	Команда «Анализ всего спектра».	77
1.3.13	Вспомогательные функции.	80
1.3.13.1	Раздел меню «Окна».	80
1.3.13.2	Раздел меню «Помощь».	81
1.3.14	Полная калибровка.	82
1.4	НАБОР СПЕКТРА ОТ РЯМ.	84
1.4.1	Команда «Набрать новый спектр».	84
1.4.2	Обработка спектра во время набора.	92
1.4.3	Набор спектра фона.	93
1.4.4	Энергетическая калибровка во время набора.	94
1.5	ПОРЯДОК РАБОТЫ ПО ДЛЯ НАБОРА СПЕКТРОВ В РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ СВЯЗЬ СОКЕТ СЕРВЕР-КЛИЕНТ.	95
1.6	ПОРЯДОК РАБОТЫ ПО ДЛЯ НАБОРА СПЕКТРОВ В РЕЖИМЕ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ.	97
2	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ФОРМАТ ФАЙЛА СПЕКТРА *.SPS.	98
3	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СГЛАЖИВАНИЕ ГАММА-СПЕКТРА.	101
4	ПРИЛОЖЕНИЕ 3. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ.	

1 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (ПО) ДЛЯ НАБОРА И ОБРАБОТКИ ГАММА-СПЕКТРОВ.

1.1 СТРУКТУРА ПО «НАБОР И ОБРАБОТКА ГАММА-СПЕКТРОВ».

ПО разработано в среде CodeGear™ RAD Studio 2007 с использованием языка программирования DELPHI. ПО «Набор и обработка гамма-спектров» представляет собой набор интерактивных окон, позволяющих набирать, сохранять на диск и считывать с диска набранные гамма-спектры и спектры фона, визуализировать их, проводить энергетическую калибровку и обработку гамма-спектров, задавать необходимые для обработки параметры, формировать рабочий список нуклидов из заданной библиотеки, по которому проводить анализ спектра, визуализировать результаты анализа в виде протокола и графика, сохранять его в файл, проводить полную калибровку гамма-детектора (КГД).

Более подробно алгоритм работы ПО состоит из следующих шагов:

1). Получение данных о падающем потоке гамма-излучения и времени набора спектра из файла или в режиме on-line от радиоактивного источника.

2). Получение данных о матрице приборных функций и фоновом излучении из соответствующих файлов.

3). Полная калибровка гамма-детектора с определением зависимостей эффективности регистрации, энергетического разрешения и линейности от энергии гамма-излучения с использованием набора р/а источников с заданными значениями активностей изотопов.

4). Обработка спектра, которая состоит из следующих процедур, подготавливающих массив данных спектра для его дальнейшего использования в процедуре анализа.

- Вычитание фона,
 - Линейная энергетическая калибровка спектра,
 - Сглаживание спектра с использованием процедуры Савицкого-Голея.
- 5). Математический анализ подготовленного спектра.

б). Нуклидный анализ спектра с использованием библиотеки радионуклидов, полученные результаты выводятся на график вместе с измеренным спектром и в таблицу, содержащую основные характеристики выявленных нуклидов.

На Рис. 1.1 представлена блок-схема алгоритма работы ПО по восстановлению спектров, измеренных КГД.



Рис. 1.1. Блок-схема алгоритма работы ПО по восстановлению спектров гамма-излучения, измеренных КГД.

1.2 ОПИСАНИЕ И ФУНКЦИИ ПО.

ПО «Набор и обработка гамма-спектров» состоит из главного окна, окон спектров и вспомогательных окон для ввода параметров обработки и анализа заданного спектра. ПО поддерживает многооконную систему набора, просмотра и обработки спектров, что позволяет в одно и то же время в параллельном режиме набирать один спектр и открывать для просмотра и обработки любое количество других спектров.

Подробнее, ПО обладает следующими функциями и возможностями:

- Независимая работа с несколькими спектрами одновременно: набор одного спектра и просмотр, обработка и анализ нескольких других спектров.

Эмулятор Анализатора:

- Выбор интерфейса передачи данных с КГД - USB или COM;
- Настройка порога детектирования сигнала с детектора;
- Включение и выключение зарядочувствительного усилителя КГД;
- Пуск, остановка, пауза, возобновление набора спектра. Продолжение набора ранее набранного спектра. Автосохранение спектра во время набора через заданные промежутки времени.
- Остановка набора может производиться вручную или автоматически по достижении заранее заданного реального или живого времени;
- Автоматический набор заданного количества спектров, задание временного промежутка между окончанием набора предыдущего и началом набора следующего спектра. Набор каждого спектра из серии осуществляется автоматически по заданному реальному или живому времени;
- Управление работой КГД через связь Socket server-client. Внешняя программа Socket-клиент управляет набором, остановкой, заданием

времени набора и анализом спектра соответствующими командами, передавая их на ПО, работающее в режиме Socket-сервера;

- Отображение на экране процесса набора спектра и его параметров в режиме реального времени;
- Сохранение и загрузка спектра с диска ПК;
- Просмотр спектра с возможностью выбора линейного или логарифмического масштаба, каналов или энергий, отображение заданного участка энергий, масштабирование по обеим осям, одновременно или отдельно;
- Энергетическая калибровка спектров, сохранение и считывание параметров калибровки с диска ПК;
- Полная калибровка КГД, сохранение и считывание параметров полной калибровки с диска ПК;
- Загрузка теневого спектра, отображение одновременно с рабочим спектром, нормировка теневого спектра по различным параметрам, добавление статистики теневого спектра к основному;
- Загрузка фонового спектра, нормировка по времени набора текущего спектра, отображение текущего спектра за вычетом фонового;

Обработка гамма-спектров:

- Установка, удаление и редактирование областей обработки спектра, поиск и нахождение параметров пика в указанной области;
- Обработка одинарного и двойного пика;
- Определение полной ширины на полувысоте пика в каналах и энергетических единицах, вычисление положения, разрешения пика;
- Определение общей интенсивности в области пика, скорости счета фона и пика; определение активности линии;
- Определение общей интенсивности во всем спектре;

- Выбор типа анализируемого радиоактивного источника: точечный источник или контейнер, содержащий объемный источник, ввод параметров контейнера;
- Работа с контейнерами, содержащими объемный радиоактивный источник: считывание и сохранение на диск списка типов контейнеров, редактирование, удаление и создание контейнеров;
- Анализ гамма-спектров для определения состава и активности радиоактивного источника методом Гаусса;
- Анализ итерационным методом гамма-спектров для определения состава и активности радиоактивного источника;
- Экспресс-анализ активности изотопов по рабочему списку нуклидов;
- Подготовка, просмотр и сохранение на диск протокола с информацией о нуклидах, содержащихся в радиоактивном источнике.

Библиотека нуклидов:

- Просмотр полной библиотеки радионуклидов, списка изотопов, их гамма-линий с энергиями и интенсивностями;
- Создание рабочего списка нуклидов. Сохранение и загрузка рабочего списка нуклидов с диска ПК;
- Создание списка р/а изотопов для проведения полной калибровки.

1.2.1 Установка программы.

Программа поставляется в виде комплекта файлов, записанных на магнитном или оптическом носителе. Для установки программы достаточно разместить комплект данных файлов в одном каталоге на жестком диске.

Запуск программы осуществляется с помощью исполняемого файла “Identification.exe”, находящегося в каталоге, куда установлена программа на

ПК. Полный список файлов, которые должны находиться в каталоге запуска ПО:

- Identification.exe - исполняемый файл;
- Container.RAO - список типов контейнеров;
- Calibrovca.cal – параметры калибровки по умолчанию;
- OSGI.eff – данные полной калибровки КГД;
- otklik1000.dat - матрица отклика точностью 2 кэВ/канал;
- otklik2000.dat - матрица отклика точностью 1 кэВ/канал;
- OSGI.lib - рабочий список нуклидов, по которому производится идентификация;
- OSGI.ccc – список радиоактивных изотопов для проведения полной калибровки КГД;
- MAIN_lib.lib - полный список нуклидов для библиотеки радионуклидов;
- SocketData.soc – список адресов хост:порт для связи через сокет.

Если указанные файлы находятся в каталоге запуска ПО, то программа автоматически считывает записанные в них данные. Если какие-то файлы отсутствуют в момент запуска, то пользователь имеет возможность загружать их в нужный ему момент работы с помощью соответствующих форм ввода параметров.

1.2.2 Разделы главного меню.

Главное окно содержит меню и кнопки панели инструментов, предоставляющих быстрый доступ к некоторым функциям меню. Меню состоит из разделов «Файл», «Настройки», «Калибровка», «Анализ спектра», «Окна» и «Помощь».

Раздел меню «Файл» содержит команды «Набрать новый спектр», «Загрузить спектр», «Загрузить спектр фона», «Сохранить спектр», «Сохранить спектр фона», «Заккрыть спектр», «Заккрыть все спектры» (последние четыре функции доступны только при наличии хотя бы одного открытого окна со спектром) и «Выход» (Рис. 1.2).

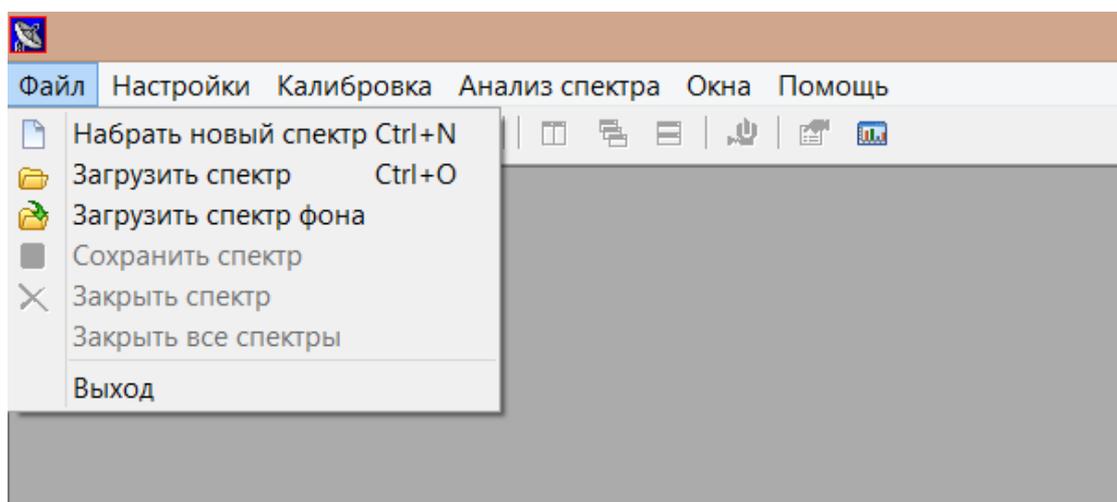


Рис. 1.2. Главное окно. Раздел меню «Файл».

Раздел меню «Настройки» содержит команды «Параметры проекта» и «Библиотека нуклидов» (Рис. 1.3).

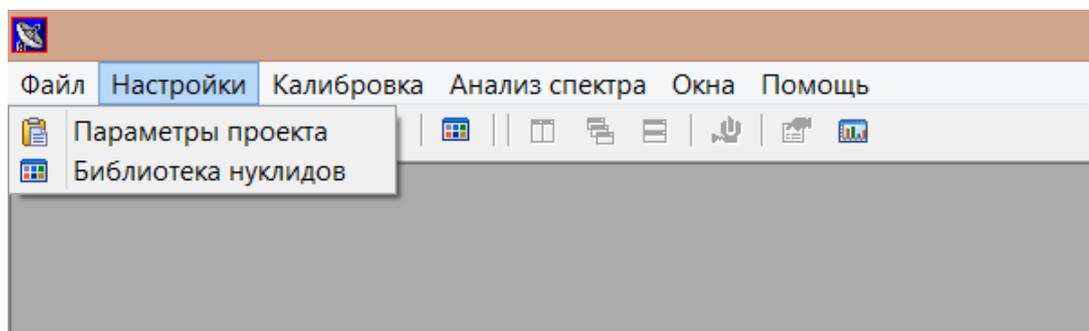


Рис. 1.3. Главное окно. Раздел меню «Настройки».

Раздел меню «Калибровка» содержит команды «Калибровка» и «Полная калибровка» (Рис. 1.4). Команда «Полная калибровка» доступна только при наличии загруженного спектра.

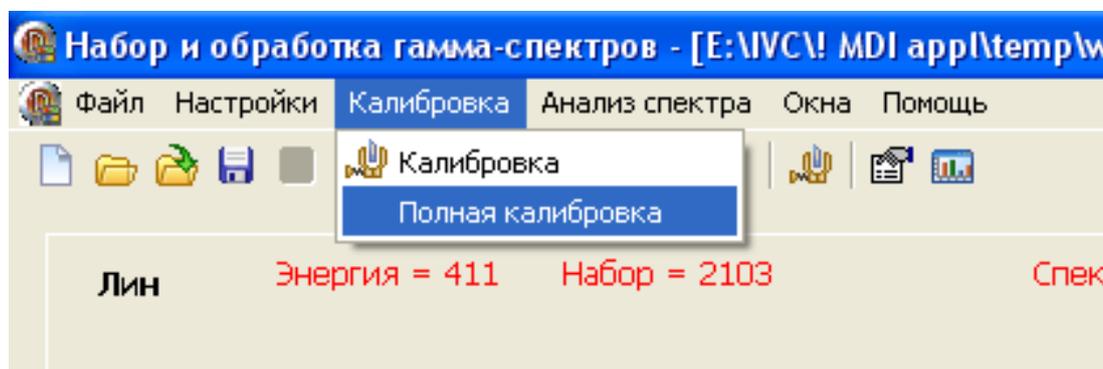


Рис. 1.4. Главное окно. Раздел меню «Калибровка».

Раздел меню «Анализ спектра» содержит команды «Параметры анализа» и «Анализ всего спектра» (Рис. 1.5). Команды доступны только при наличии загруженного спектра.

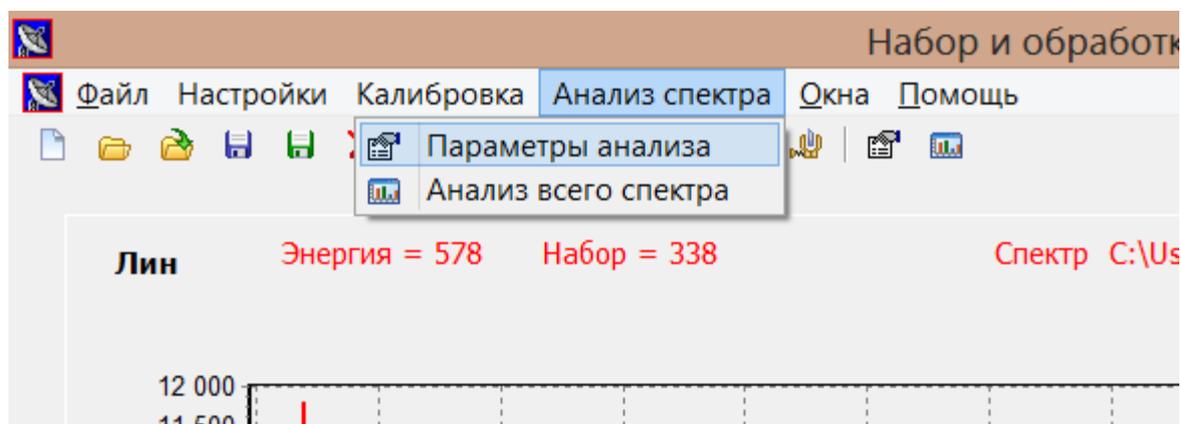


Рис. 1.5. Главное окно. Раздел меню «Анализ спектра».

Раздел меню «Окна» содержит команды выравнивания открытых окон и их список (Рис. 1.6). Команды доступны только при наличии загруженного спектра.

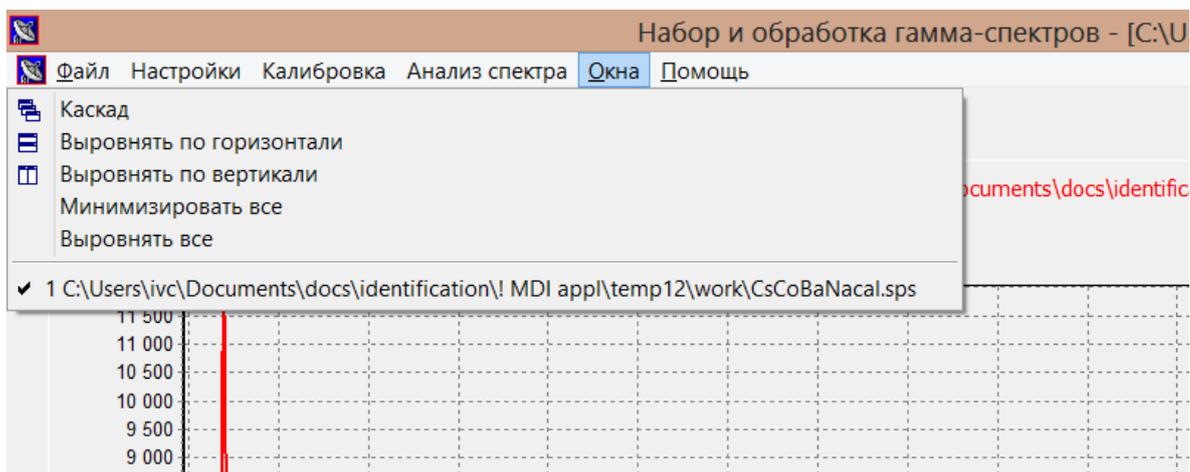


Рис. 1.6. Главное окно. Раздел меню «Окна».

Раздел меню «Помощь» содержит команду «О программе» (Рис. 1.7).

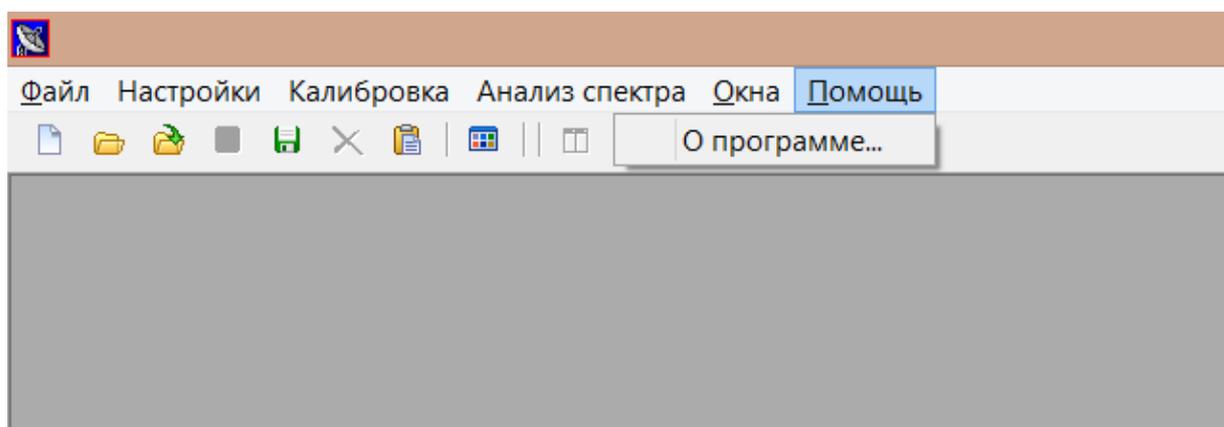


Рис. 1.7. Главное окно. Раздел меню «Помощь».

1.2.3 Кнопки панели инструментов.

Кнопки панели инструментов (Таблица 1.1) предоставляют быстрый доступ к некоторым функциям меню, в частности с первой по шестую кнопки – «Набрать новый спектр», «Загрузить спектр», «Загрузить фоновый спектр», «Сохранить спектр», «Сохранить фоновый спектр», «Закрывать спектр» из раздела меню «Файл», седьмая - «Параметры проекта» и восьмая кнопки - «Рабочий список нуклидов» из раздела меню «Настройки», с девятой по одиннадцатую кнопки – распределить открытые окна по горизонтали, вертикали и каскадом из раздела меню «Окна», двенадцатая -

«Калибровка» из раздела меню «Калибровка», тринадцатая - «Параметры анализа» и последняя - «Полный анализ спектра» из раздела меню «Анализ спектра».

Таблица 1.1. Главное окно ПО «Идентификация гамма-спектров». Кнопки панели инструментов.

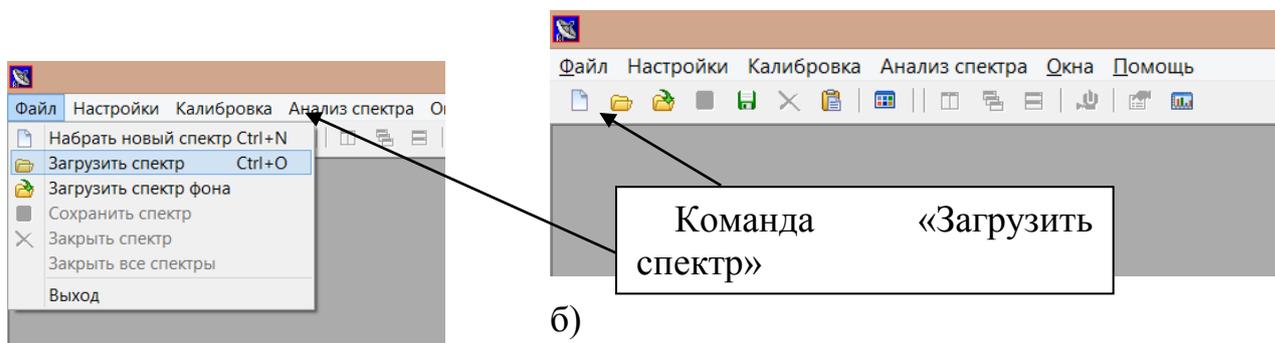
	Набрать спектр
	Загрузить спектр
	Загрузить спектр фона
	Сохранить спектр
	Сохранить спектр фона
	Закрыть спектр
	Параметры проекта
	Рабочий список нуклидов
	Выравнивание окон
	Энергетическая калибровка спектра
	Параметры анализа
	Полный анализ спектра

1.3 РАБОТА С ОСНОВНЫМ СПЕКТРОМ ОТ РЯМ.

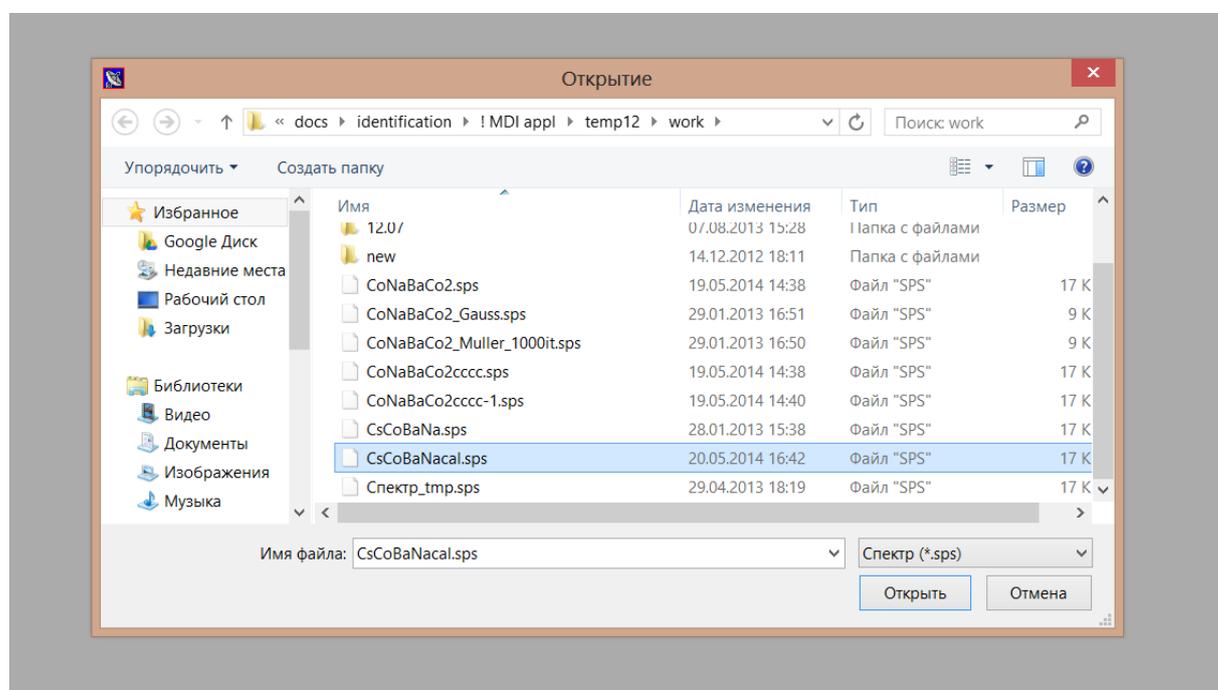
1.3.1 Команда «Загрузить спектр».

Команда «Загрузить спектр» может быть вызвана из раздела меню «Файл» или кнопкой панели инструментов (Рис. 1.8а и Рис. 1.8б) и позволяет с помощью стандартного диалогового окна (Рис. 1.8в) выбрать на диске и

открыть гамма-спектр в формате sps. Структура файла формата sps приведена в приложении 1.



а)



б)

Рис. 1.8. Раздел меню «Файл». Команда «Загрузить спектр».

При подтверждении открытия выбранного спектра создается дочернее окно с прорисованным спектром (Рис. 1.9).

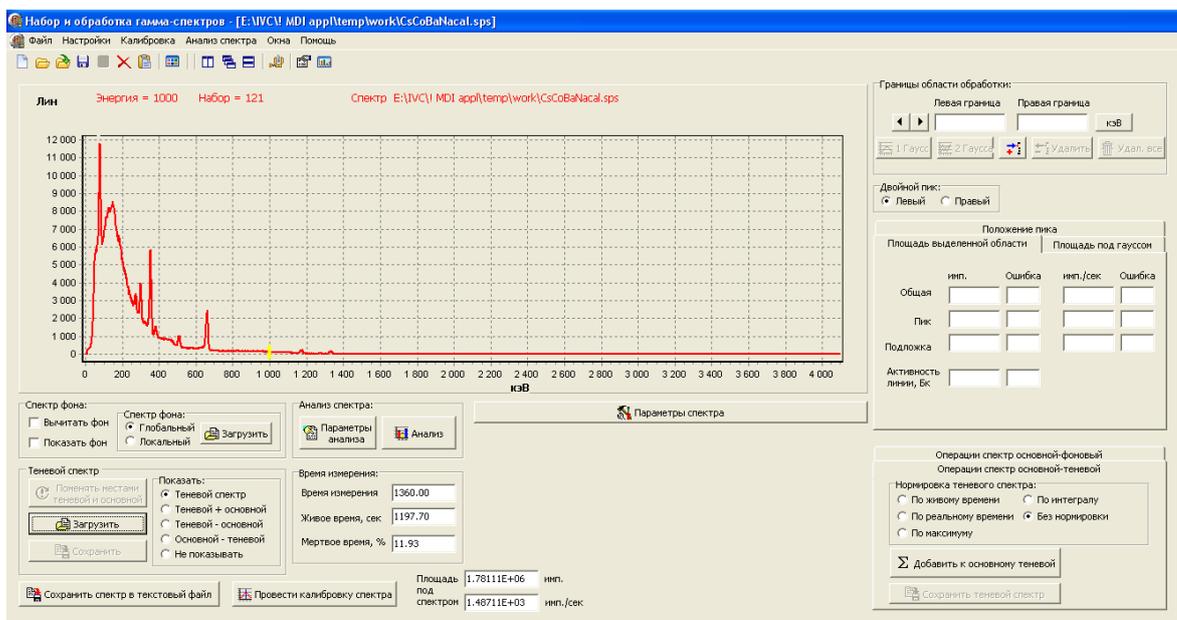


Рис. 1.9. Дочернее окно с открытым спектром.

Спектр изображается в виде графика, у которого вертикальная ось – это набор событий, а горизонтальная ось – энергия гамма-квантов. Оси у графика могут менять единицы по желанию пользователя при нажатии на подписи (являющиеся активными кнопками) «Лин»/«Лог» и «канал»/«кэВ» около осей: у вертикальной оси – «Лин» или «Лог» - линейная или логарифмическая шкала набора событий, у горизонтальной оси – «канал» или «кэВ» (Рис. 1.10). Единицы измерения энергии «кэВ» доступны только при наличии параметров калибровки спектра (т.е. параметров соответствия канал \leftrightarrow энергия), которые считываются из файла спектра в формате sps при его открытии. Если параметры калибровки в файле спектра отличны от нуля, то спектр автоматически калибруется, энергия гамма-квантов по горизонтальной оси откладывается в кэВ и спектр прорисовывается также в кэВ. На Рис. 1.11 представлены варианты прорисовки спектра в разных единицах по горизонтальной (шкала энергий) и вертикальной (шкала набора) осям.

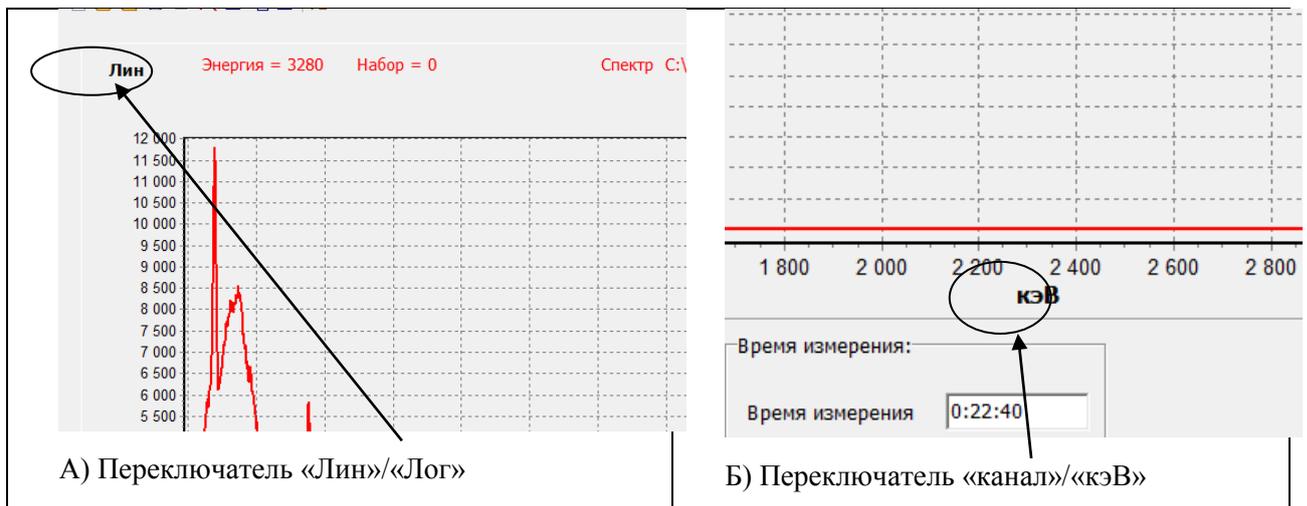


Рис. 1.10. Подписи около осей А) - «Лин»/«Лог» и Б) - «канал»/«кэВ», являющиеся активными кнопками. У вертикальной оси – «Лин» или «Лог» - линейная или логарифмическая шкала набора событий, у горизонтальной оси – «канал» или «кэВ».

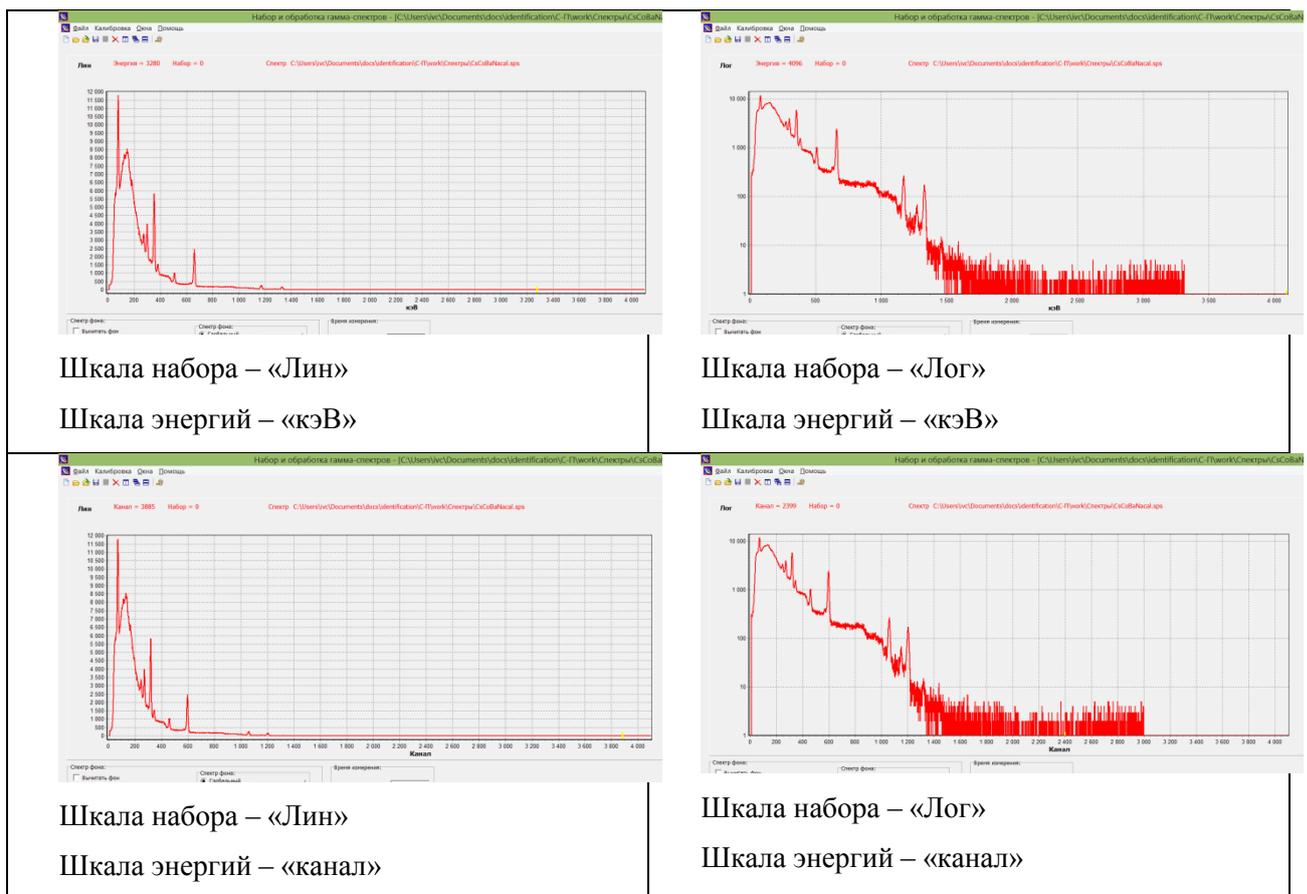


Рис. 1.11. Варианты прорисовки спектра в различных единицах измерения осей.

Окно со спектром также содержит поля с информацией о положении курсора на спектре. Курсор передвигается по спектру движением мыши и представляется в виде небольшой желтой полоски, его координаты на спектре в единицах «набор» (ось Y) и «канал»/«энергия» (ось X) отображаются в соответствующих полях в верхней левой части окна (Рис. 1.12) цветом, соответствующим цвету изображения спектра (в данном случае - красным). Имя и путь к файлу с открытым спектром прописываются тем же цветом, что и изображение спектра (в случае основного спектра - красным) в верхней части окна над графиком. Т.о., сам спектр, информация о полном имени файла и данные о положении курсора на спектре прописываются в окне одним цветом. Окно содержит также информацию о времени набора спектра и площади под спектром.

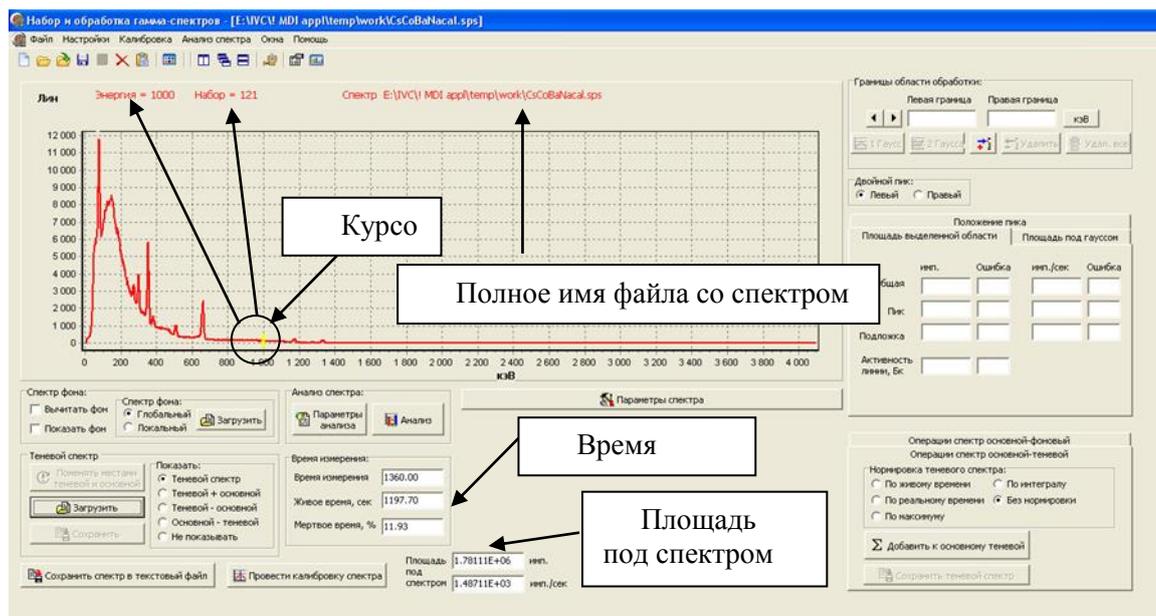


Рис. 1.12. Информация о положении курсора на спектре и имени файла спектра.

В нижней части дочернего окна со спектром в виде полосы отображается служебная информация (Рис. 1.13), содержащая имя файла со спектром, фон загружен/не загружен, фон вычитается/не вычитается, калибровка есть/нет,

расстояние от детектора до источника (которое считывается из файла со спектром, если оно там указано), время и дата набора спектра.



Рис. 1.13. Полоса со служебной информацией в нижней части дочернего окна со спектром.

Дочернее окно со спектром также предоставляет ряд возможностей по работе с ним, таких как – масштабировать спектр, загружать и проводить операции с фоновым и теневым спектрами, проводить энергетическую калибровку спектра и обрабатывать содержащиеся в спектре гамма-линии. Ниже будет сказано подробнее о данных возможностях.

1.3.2 Параметры спектра.

Команда «Параметры спектра» (Рис. 1.14) открывает окно, содержащее информацию о набираемом спектре.

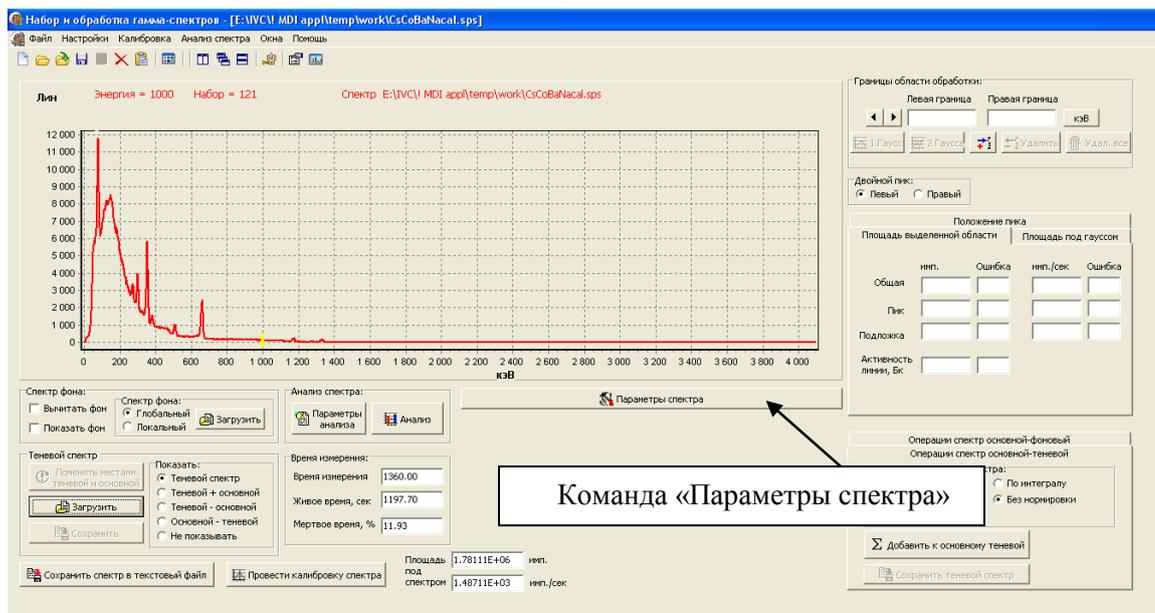


Рис. 1.14. Команда «Параметры спектра».

Окно содержит две вкладки: первая «Заголовок спектра» (Рис. 1.15) позволяет пользователю выбрать путь сохранения спектра, ввести имя спектра и комментарии к набору и отображает значения порогов детектирования и режекции сигнала и времени интегрирования сигнала, вторая «Тип РИ» (Рис. 1.16) - позволяет выбрать тип радиоактивного источника (точечный или объемный в контейнере), определить его параметры и расстояние от источника до КГД.

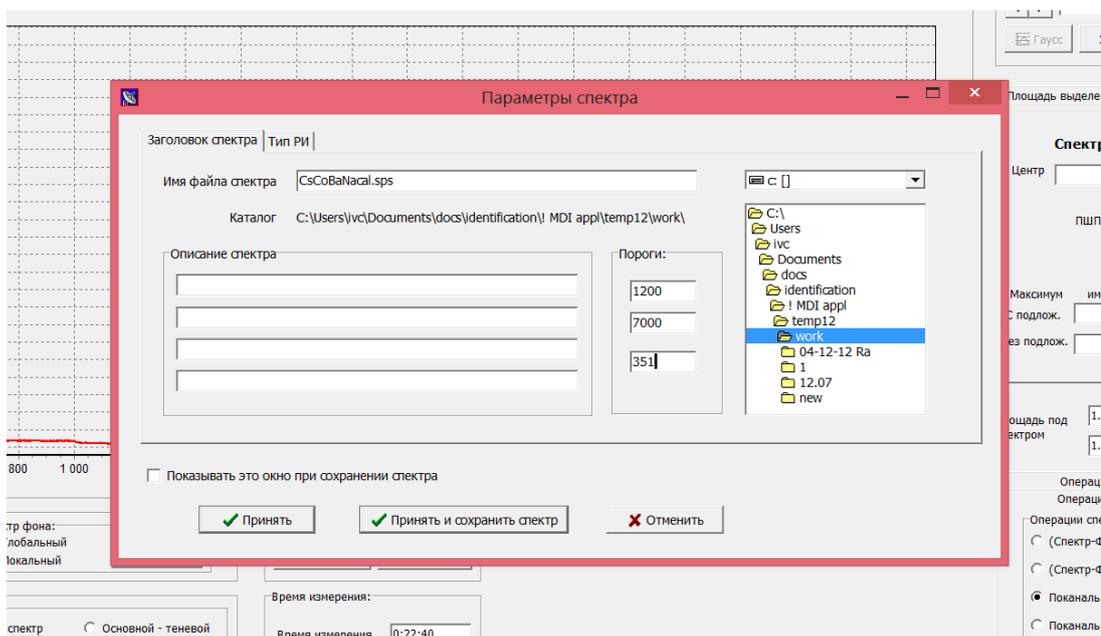


Рис. 1.15. Окно «Параметры спектра». Вкладка «Заголовок спектра».

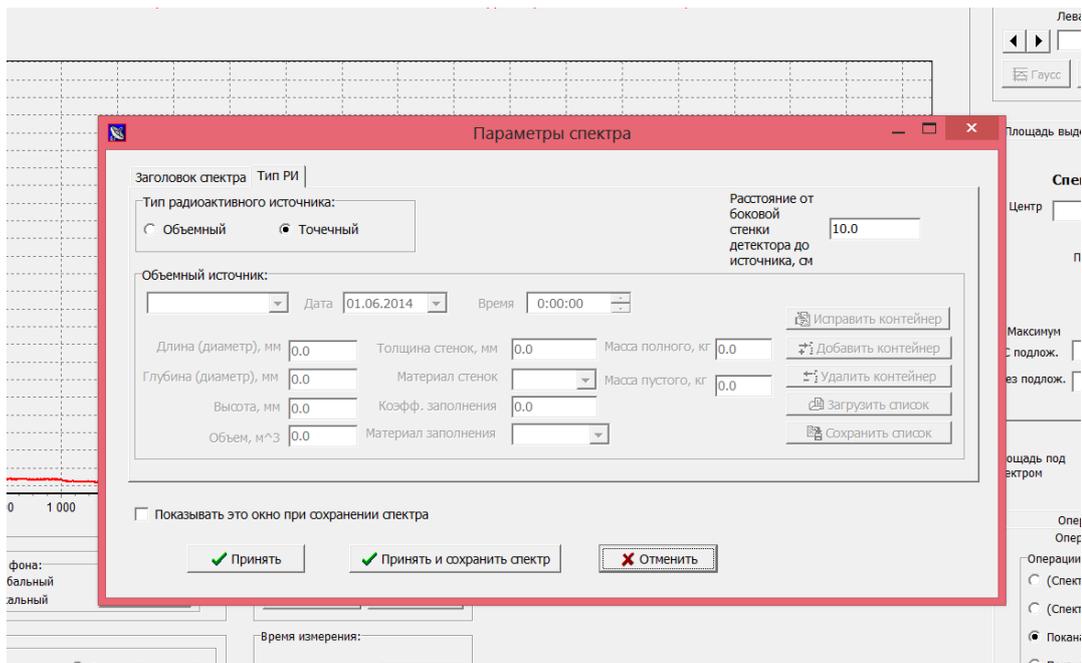


Рис. 1.16. Окно «Параметры спектра». Вкладка «Тип РИ».

Остановимся подробнее на вкладке «Тип РИ». Если источник указан как точечный, то ввод параметров контейнера с объемным источником заблокирован. Если указать тип как объемный, то появляется ряд возможностей для ввода параметров контейнера (Рис. 1.17).

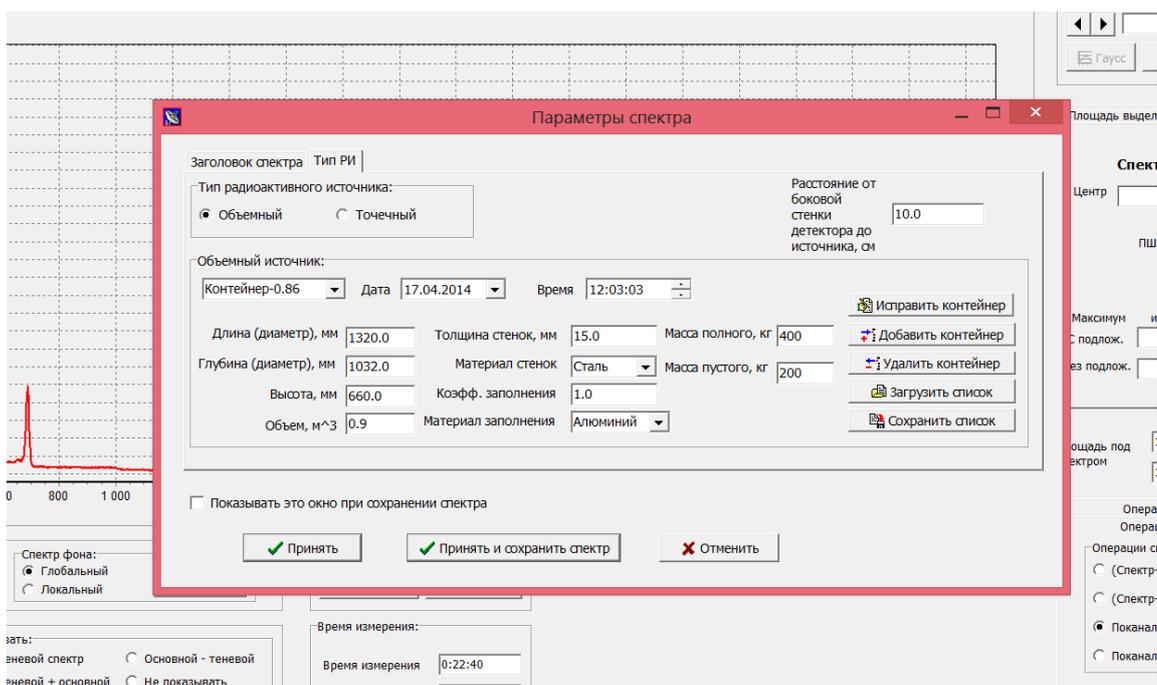


Рис. 1.17. Ввод параметров РИ.

При запуске программа по умолчанию считывает из имеющегося на диске файла Container.RAO набор типов контейнеров и отображает его в выкидном списке (Рис. 1.18).

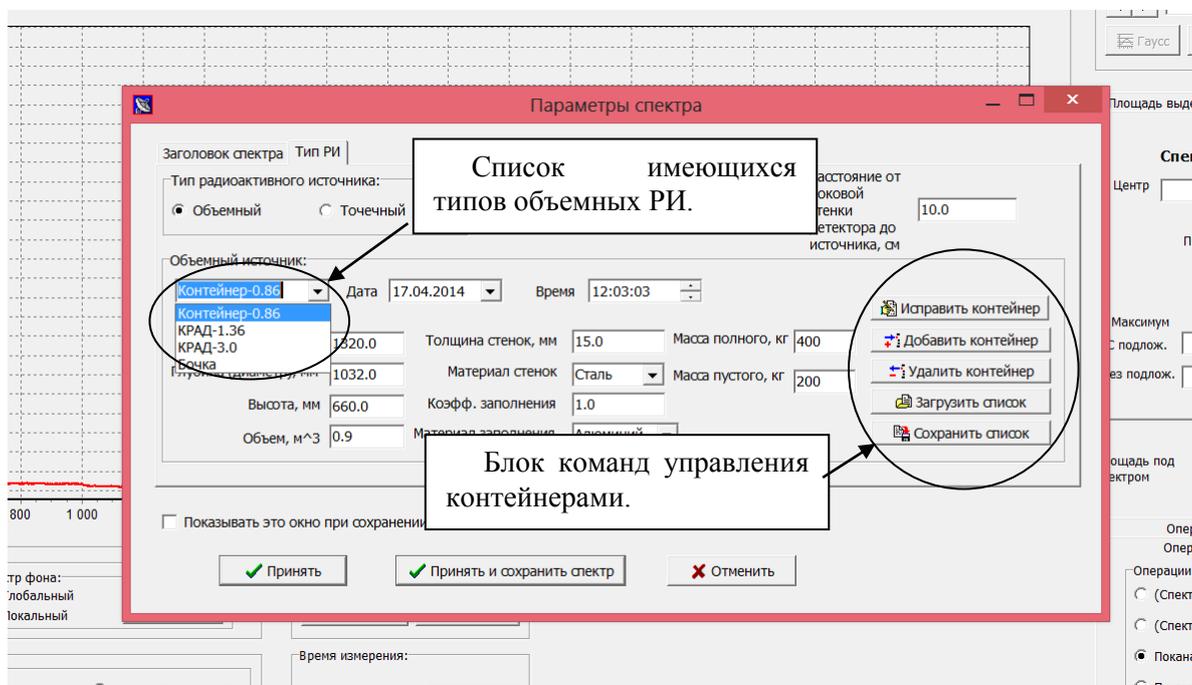


Рис. 1.18. Список имеющихся типов контейнеров и команды по управлению списком.

По умолчанию список контейнеров содержит четыре типа со своими параметрами. Параметры контейнера можно исправлять, можно добавлять или удалять контейнер целиком, считывать с диска и сохранять на диск в файл весь список целиком. Для этого предусмотрен блок команд по управлению контейнерами (Рис. 1.18) – «Исправить контейнер», «Добавить контейнер», «Удалить контейнер», «Загрузить список» и «Сохранить список». Команда «Принять» позволяет запомнить внесенные изменения, команда «Принять и сохранить спектр» - запомнить изменения и сохранить спектр на диск, «Отменить» - отменяет изменения и закрывает окно.

Каждый объемный радиоактивный источник заключен в контейнер, размеры которого (длину, глубину, высоту контейнера, толщину и материал

стенок и массу пустого) задает пользователь, также задается материал и коэффициент заполнения, масса полного контейнера и дата и время заполнения. Размеры контейнера пользователь должен задавать следующим образом: по умолчанию детектор располагается вдоль стороны, определяемой размерами длины и высоты по ее центру (Рис. 1.19).

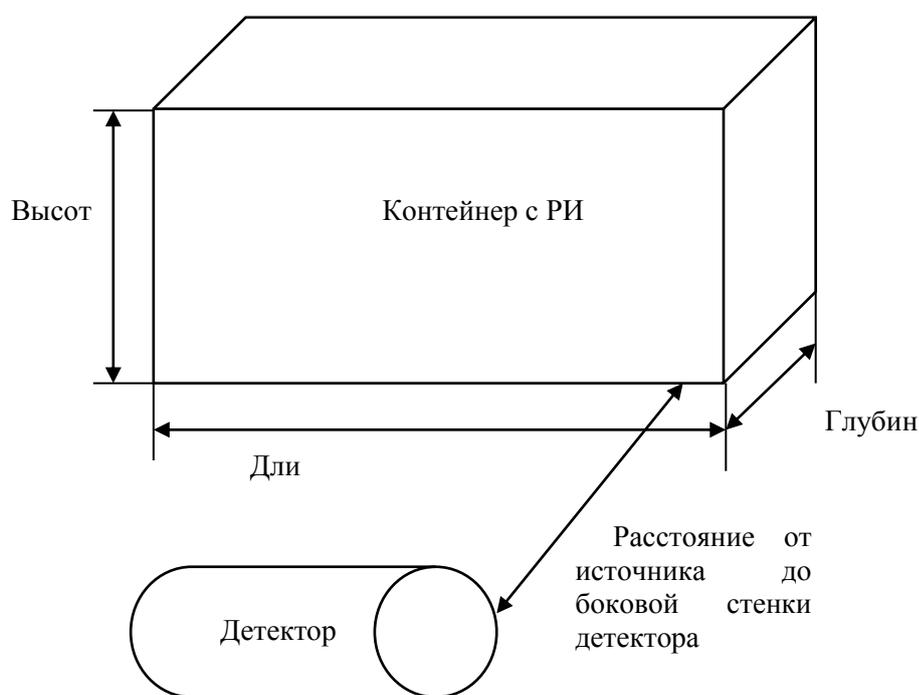


Рис. 1.19. Расположение детектора относительно контейнера и соответствующее обозначение его размеров

1.3.3 Масштабирование спектра.

Существует возможность изменять масштаб оси X Канал/кэВ (Рис. 1.20, Рис. 1.21). По клику левой кнопки мыши непосредственно на ось X вызывается окно, в котором можно ввести значения минимума, максимума или указать автоматическое масштабирование. По умолчанию загруженный спектр изображается в режиме автоматического масштабирования – ось Y в диапазоне количества событий от 0 до максимального значения, ось X в диапазоне канал/кэВ от 0 до максимального значения канал/кэВ.

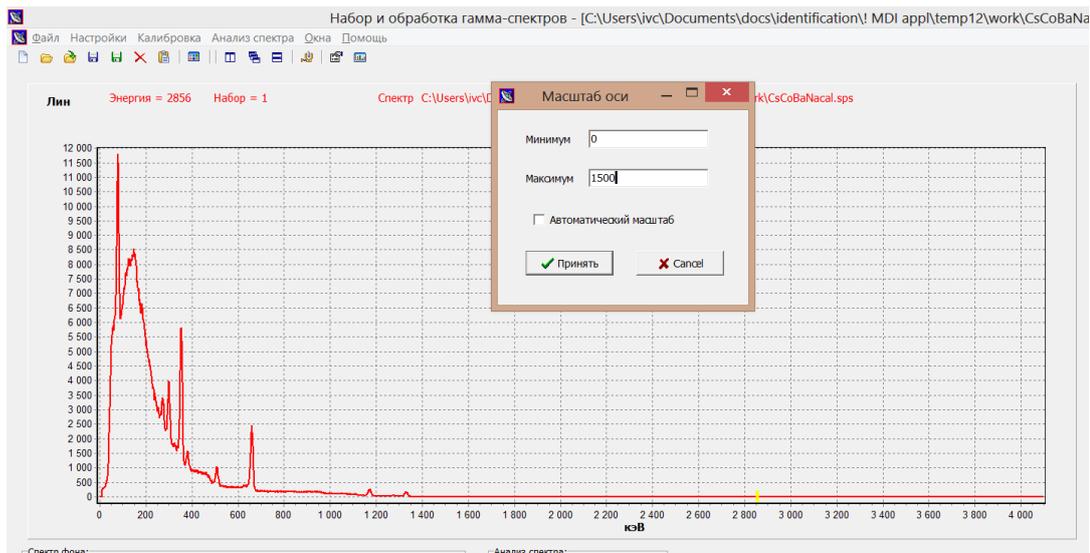


Рис. 1.20. Окно изменения масштаба оси X. Ось X имеет диапазон по умолчанию от 0 до 4096 кэВ.

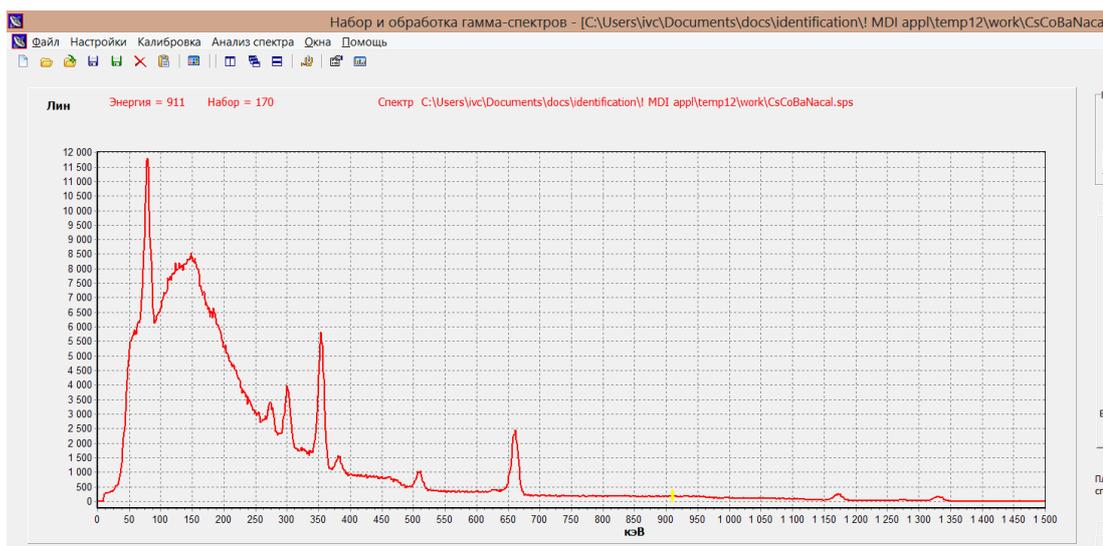


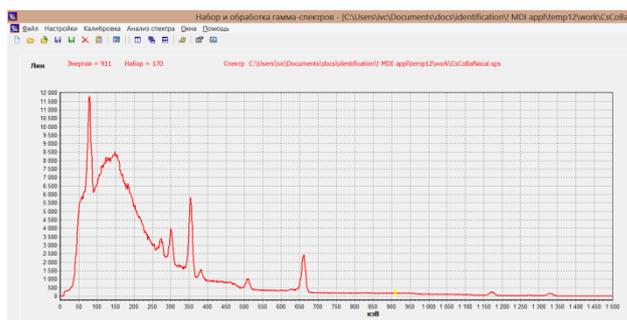
Рис. 1.21. Спектр с измененным масштабом по оси X. Диапазон оси X выставлен вручную от 0 до 1500 кэВ.

Аналогичная процедура масштабирования доступна и для оси Y. По клику левой кнопки мыши непосредственно на ось Y вызывается окно, в котором можно ввести необходимые пользователю значения минимума, максимума или указать автоматическое масштабирование.

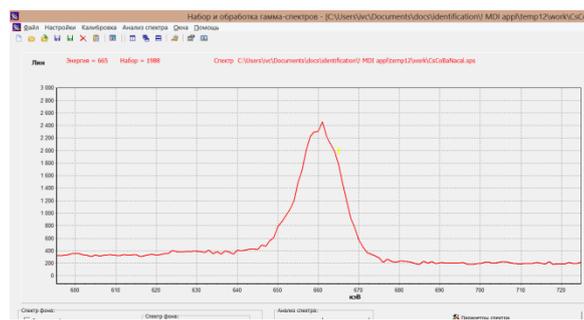
Кроме масштабирования отдельно осей X и Y, возможно изменение масштаба одновременно по оси Y и оси X (функция Zoom). Для этого

необходимо нажать левую кнопку мыши в одном из углов области спектра, которую предстоит увеличить и, не отпуская кнопки, провести курсор мыши в противоположный по диагонали угол области. Затем отпустить кнопку мыши. На графике прорисовывается определенная таким образом область в увеличенном масштабе.

Например, выделяем область вокруг одного из пиков спектра (линия от ^{137}Cs) в диапазоне (0-3000) событий и (600-700) кэВ (Рис. 1.22).



а)



б)

Рис. 1.22. Спектр в полном масштабе (а) и увеличенная выделенная область вокруг линии 662 кэВ, как результат использования функции Zoom (б).

1.3.4 Энергетическая калибровка спектра.

При загрузке спектра из файла, если в файле содержится информация о параметрах калибровки (формат sps, описанный в приложении, имеет поля для записи необходимых параметров), спектр автоматически калибруется и ось X изображается на графике в кэВ. Если файл не содержит информацию о калибровке, то спектр остается в каналах и ось X изображается также в каналах. На Рис. 1.23 показан вызов функции калибровки – командой главного меню «Калибровка», кнопкой панели инструментов «Калибровка» (крайняя кнопка панели) или кнопкой «Провести калибровку спектра» на окне основного спектра.

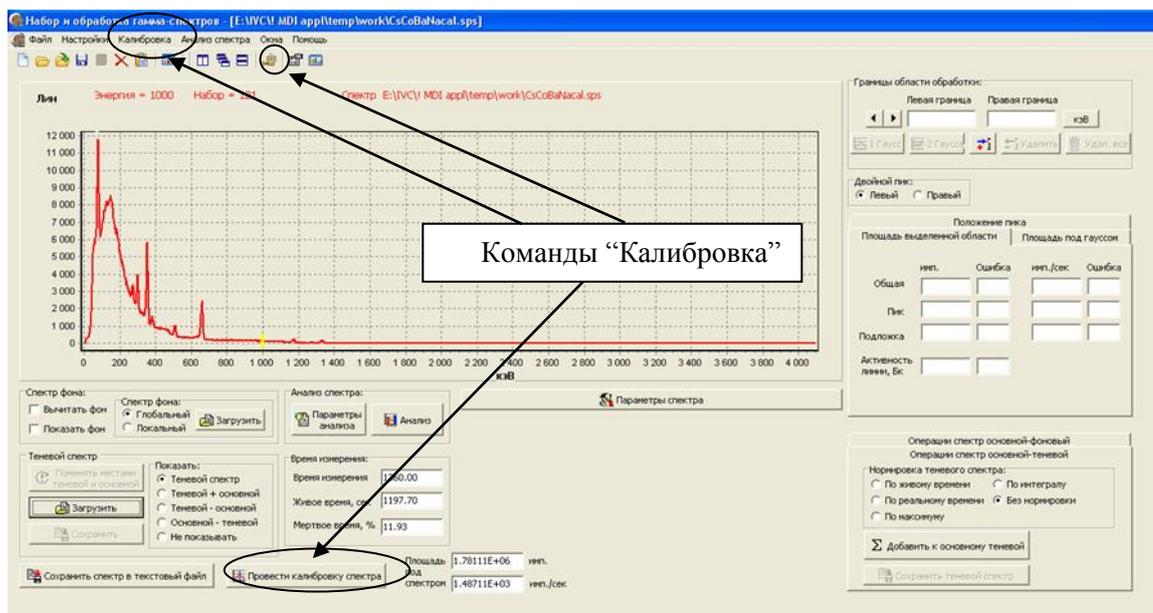


Рис. 1.23. Варианты вызова команды «Калибровка».

При вызове команды открывается окно «Калибровка» (Рис. 1.24). Для этого необходимо ввести значения соответствия канал-энергия для двух пиков, указать спектры, подлежащие калибровке (основной, фоновый и/или теневой) и нажать кнопку «Калибровать». Параметры калибровки можно загрузить из файла или сохранить в файл с помощью стандартного диалогового окна. Калибровку можно использовать как общую для всех загруженных основных спектров для многооконного режима, включив указатель «Использовать данную калибровку как основную». При выключенном указателе калибровка используется только для данного открытого активного спектра. При сохранении откалиброванного спектра в файл записываются и параметры калибровки.

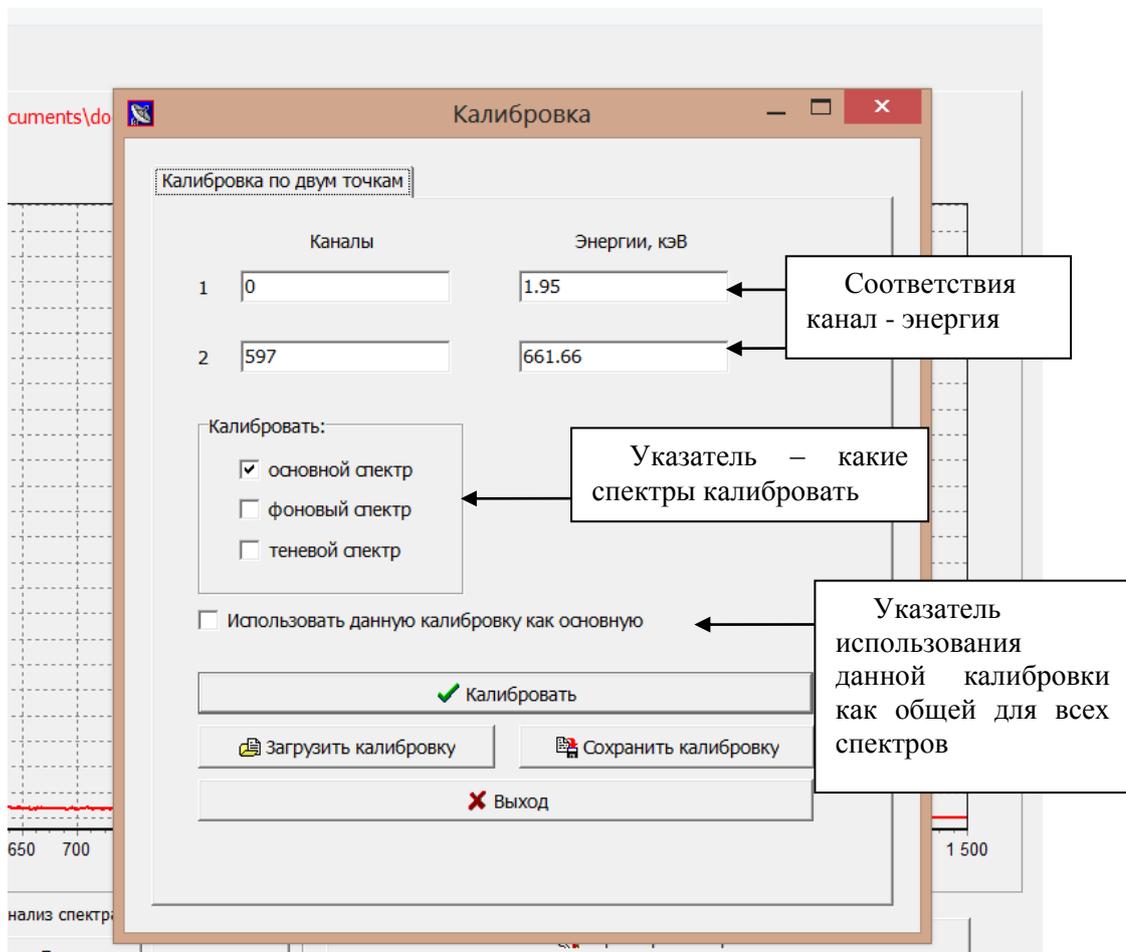


Рис. 1.24. Окно энергетической калибровки спектра.

Рис. 1.24 демонстрирует окно калибровки и калибровочные параметры, которые были загружены из файла со спектром. После калибровки набираемый спектр прорисовывается в кэВ (Рис. 1.25).

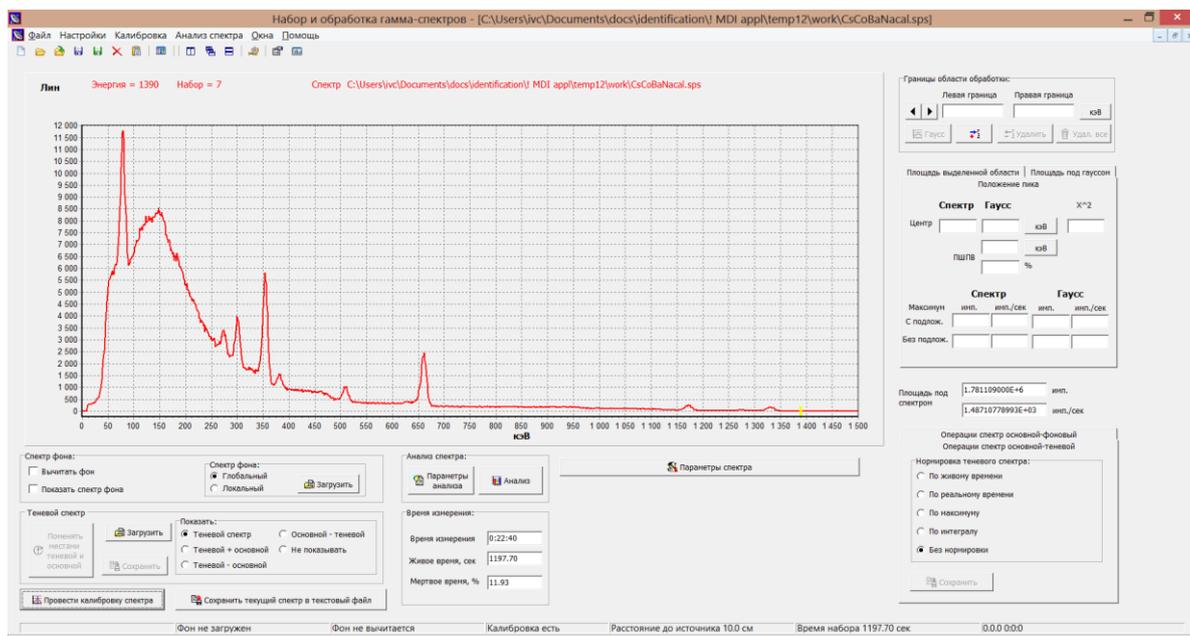


Рис. 1.25. Калиброванный спектр. Шкала X – в кэВ.

При запуске ПО ищет в текущем каталоге файл Calibrovca.cal с параметрами калибровки по умолчанию и если он существует, то считывает их и загружает калибровку как основную. Все открытые впоследствии спектры будут использовать ее по умолчанию, если им не будет указано другое.

1.3.5 Обработка гамма-линий.

Рис. 1.26 показывает расположение панели с характеристиками и параметрами областей обработки, выделенных в спектре. Данная панель состоит из четырех частей:

- границы (левая и правая) областей обработки,
- параметры левого или правого пика, если пик обработан как двойной,
- характеристики области (положение пика, площадь под пиком),
- статистика в максимуме пика.

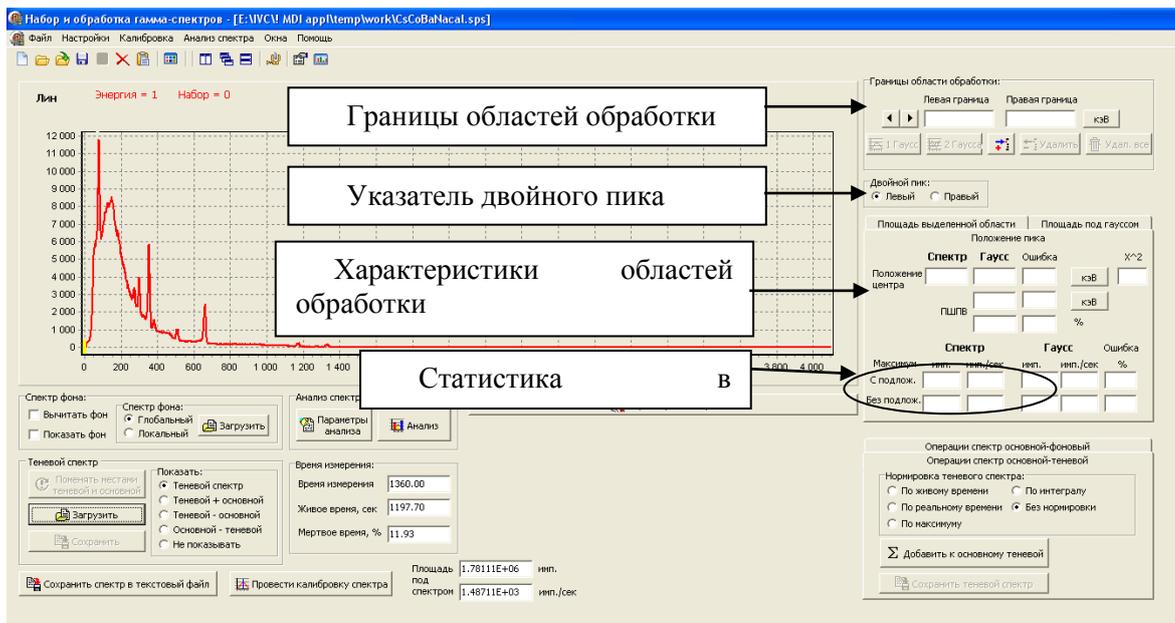


Рис. 1.26. Панель с параметрами областей обработки.

Выбор области обработки и сама обработка проводится следующим образом. Необходимо выставить желтый курсор в то место спектра, которое нужно обработать, нажать правую кнопку мыши и во всплывающем меню выбрать команду – «Установить границы», «Аппроксимировать Гауссом» («Один пик» или «Два пика»), «Удалить все границы» (Рис. 1.27). Установить границы можно также другим альтернативным способом, о котором будет сказано ниже.

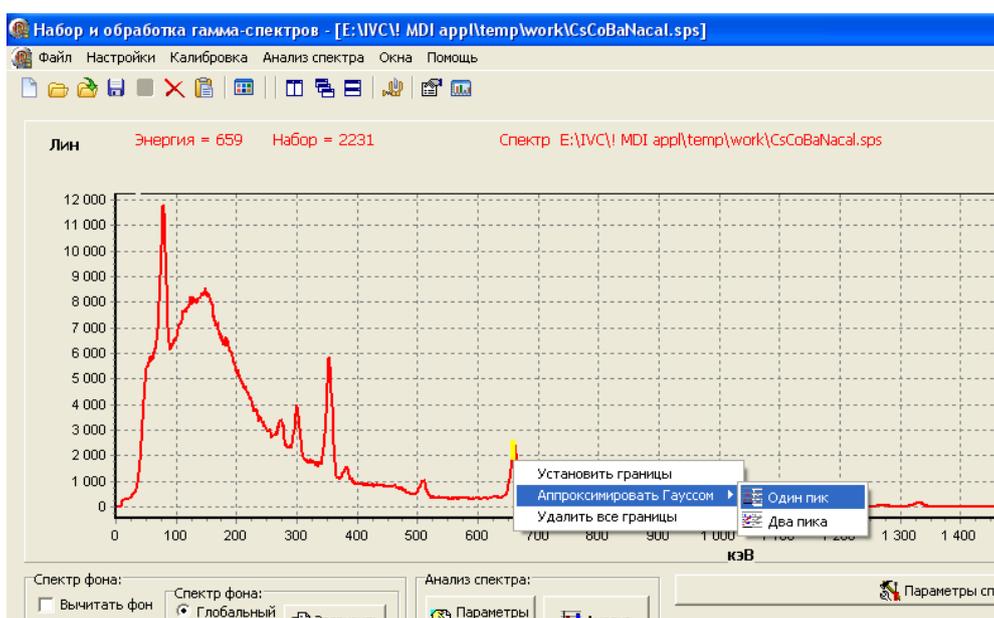


Рис. 1.27. Команды обработки пика. Всплывающее меню при нажатии правой кнопки мыши.

По команде «Установить границы» программа автоматически определяет область фиксированной ширины в каналах (в кэВ), устанавливает ее границы, указывая их на графике зелеными вертикальными прерывистыми линиями слева и справа от курсора и вычисляет полную площадь спектра внутри границ области (Рис. 1.28).

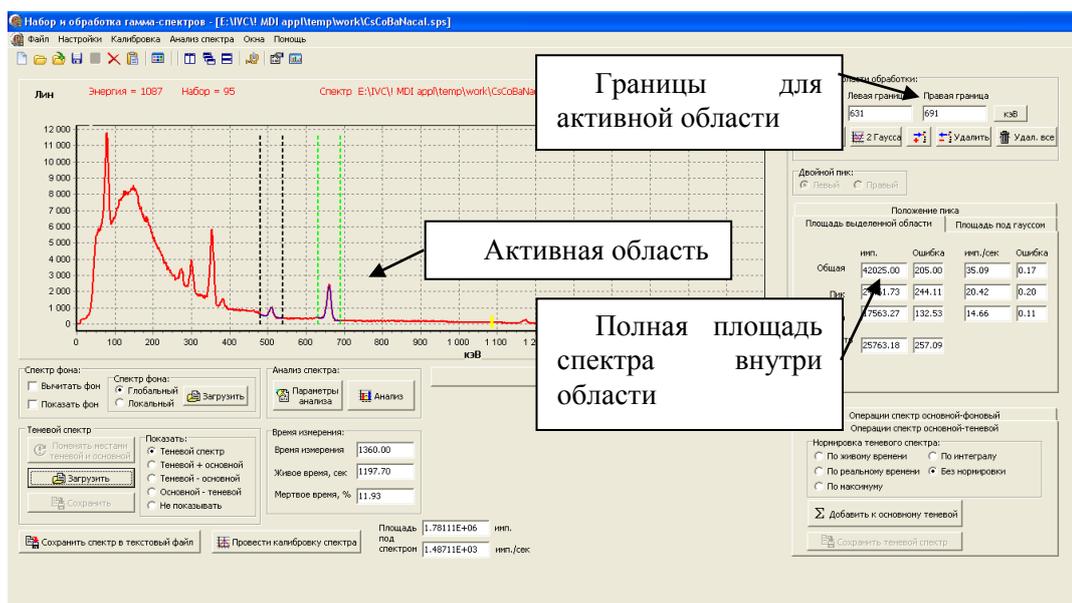


Рис. 1.28. Спектр с двумя установленными областями, предназначенными для дальнейшей обработки. Активная область выделена зелеными границами.

Положения границ можно корректировать, ухватив их курсором и нажав на левую кнопку мыши. Чтобы аппроксимировать указанную область Гауссом и рассчитать характеристики найденного пика, можно использовать кнопки «1 Гаусс» или «2 Гаусс» на информационной панели «Границы области обработки», расположенной справа от графика со спектром. Также доступны команды «Добавить область», «Удалить область», «Удалить все области» (Рис. 1.29). Если областей обработки выставлено больше одной, то переключение между ними возможно нажатием на стрелки «Влево/Вправо»

на информационной панели «Границы области обработки» или нажатием левой кнопки мыши непосредственно на интересующую область на графике. Границы активной области изображаются зеленым цветом, не активных – черным.

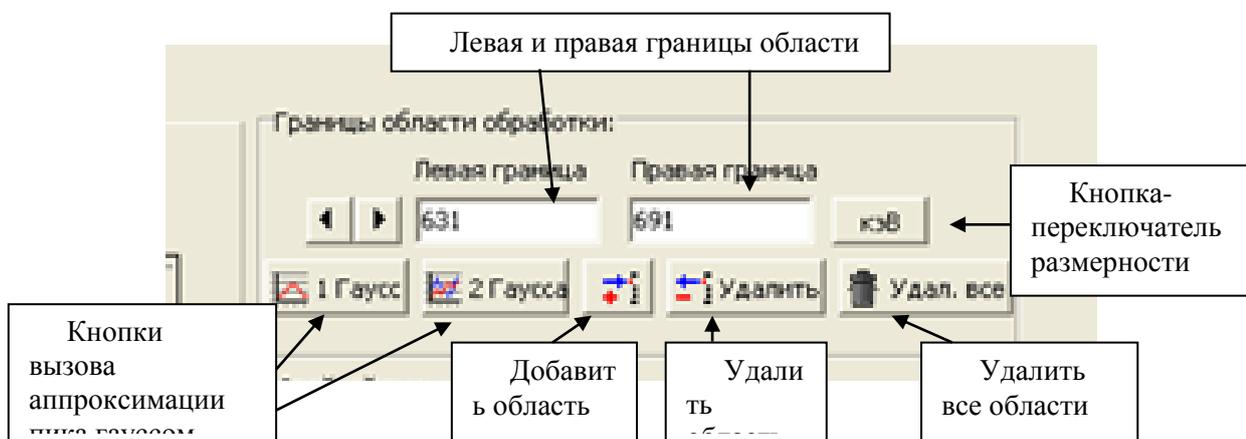


Рис. 1.29. Панель «Границы области обработки». Данные указываются для активной области.

ПО позволяет обрабатывать Гауссом двойные пики. Для этого нужно подвести курсор посередине двух рядом лежащих пиков и во всплывающем меню выбрать пункт «Два пика» (Рис. 1.30). Область аппроксимируется двойным Гауссом, переключатель «Двойной пик» становится доступным и переключением между левым и правым пиками выводит соответствующие характеристики.

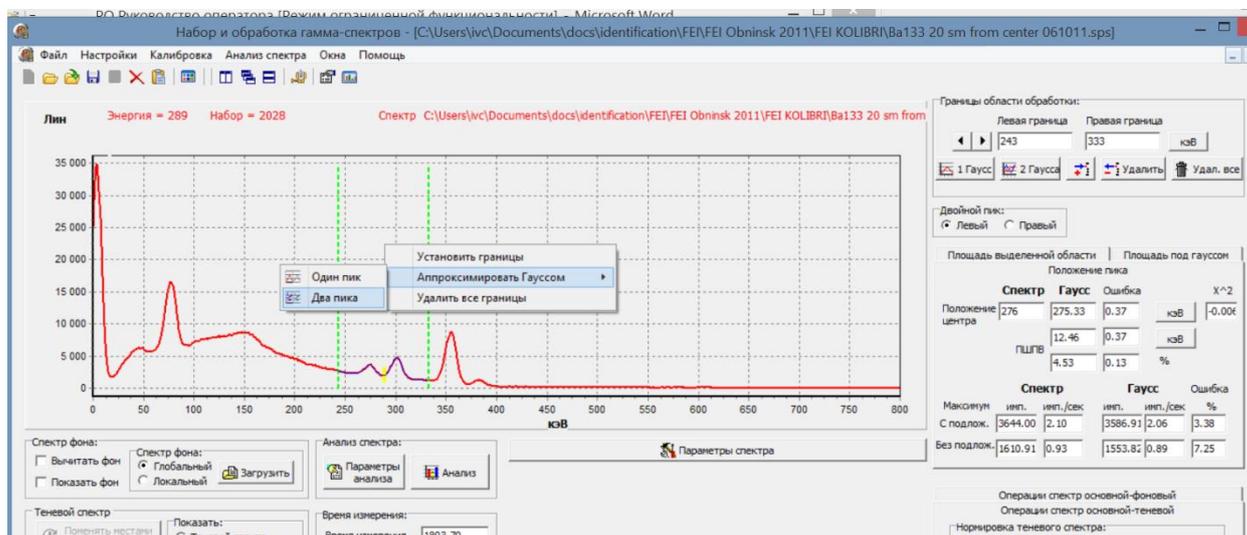
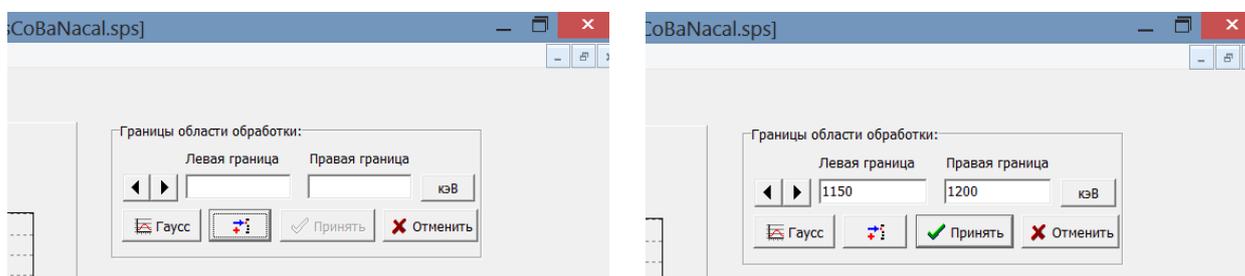


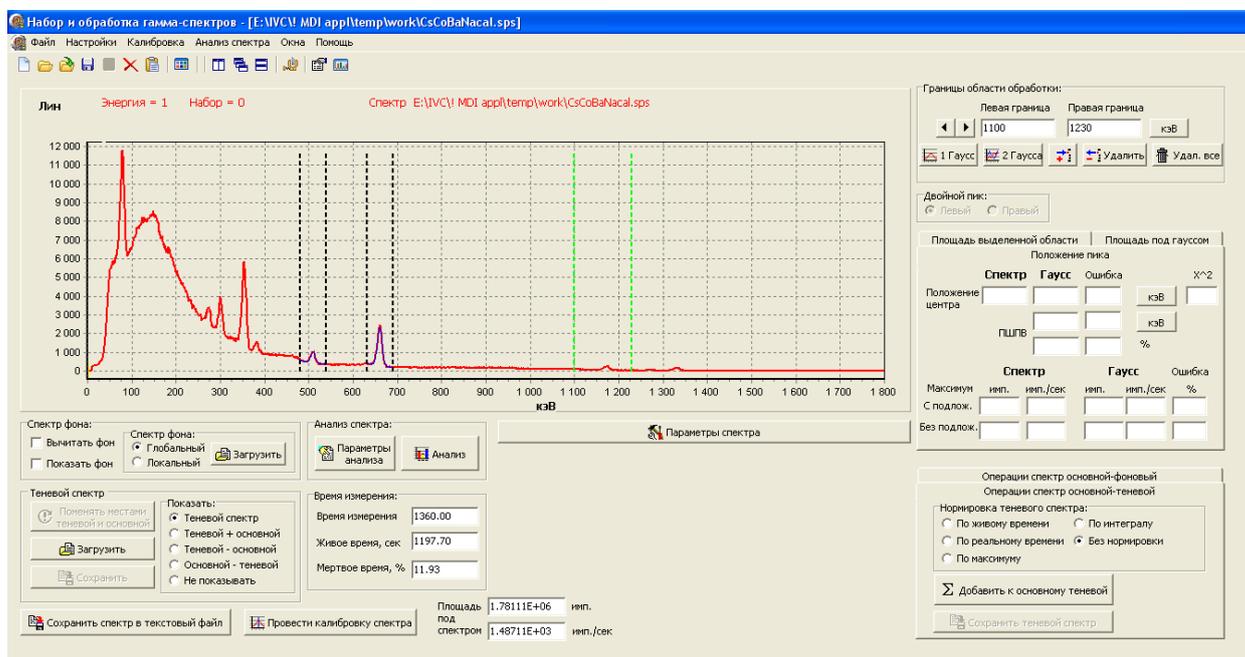
Рис. 1.30. Обработка двойного пика.

Подробнее остановимся на команде «Добавить область». На Рис. 1.31 показана процедура добавления новой области. Нажав на кнопку «Добавить область», пользователь получает свободные поля для ввода левой и правой границ и кнопки «Принять» (не активна при пустых полях) и «Отменить» (Рис. 1.31, а). После корректного ввода границ кнопка «Принять» становится активной (Рис. 1.31, б) и при ее нажатии на спектр добавляется еще одна область для обработки (Рис. 1.31, в).



а) Команда «Добавить область».

б) Ввод границ области.



в) По команде «Принять» на график добавляется новая область (зеленый цвет).

Рис. 1.31. Команда «Добавить область».

По команде «Аппроксимировать Гауссом» (Рис. 1.27) программа автоматически определяет область обработки фиксированной ширины в каналах (в кэВ) и устанавливает ее границы, указывая их на графике зелеными вертикальными прерывистыми линиями слева и справа от курсора (Рис. 1.32), затем происходит поиск пика и аппроксимация его по Гауссу с выделением подложки под пиком. Данная обработка позволяет наиболее точно определить полную ширину на полувысоте (ПШПВ) пика, его положение и высоту, рассчитать подложку и площадь (т.е. количество событий) под пиком. Рассчитанная аппроксимация пика по Гауссу изображается на спектре синим цветом (Рис. 1.32). Полученные значения характеристик пика заносятся в соответствующие информационные поля на панели справа от графика (Рис. 1.33). Информационная панель показывает границы областей обработки, положение пика, площадь под пиком и площадь выделенной области.

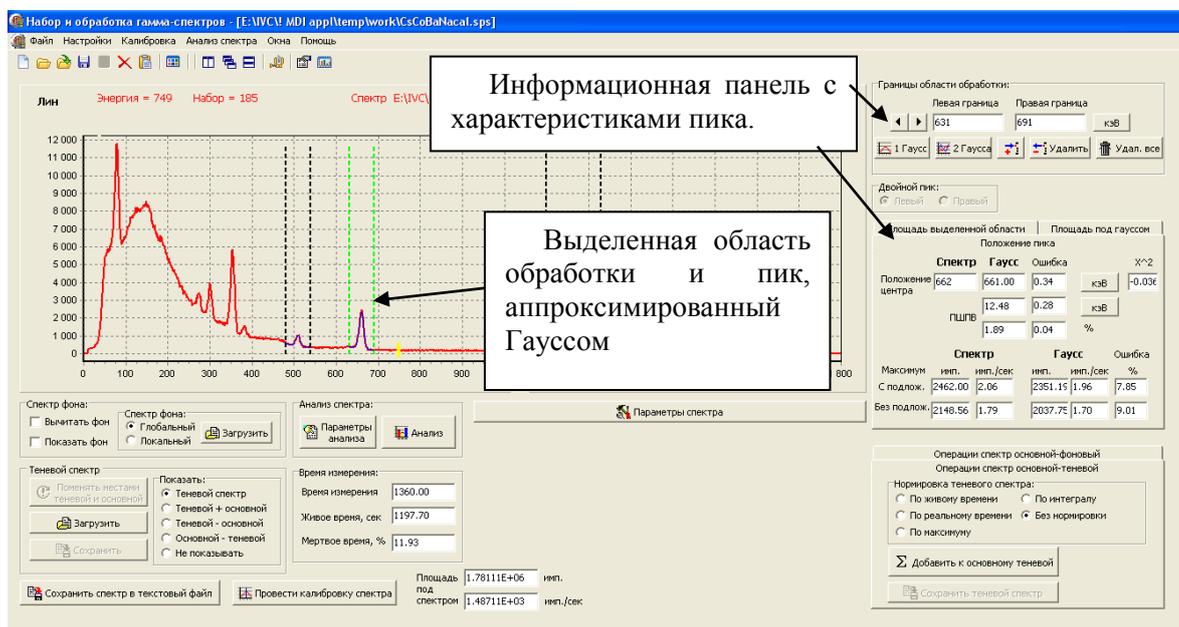


Рис. 1.32. Аппроксимация пика по Гауссу внутри указанной области обработки.

Рис. 1.33 демонстрирует три вкладки на панели с характеристиками области обработки. а) - «Положение пика», б) - «Площадь выделенной

области», в) - «Площадь под гауссом». В поля вкладок заносятся характеристики указанной области обработки, рассчитанные при аппроксимации гауссом.

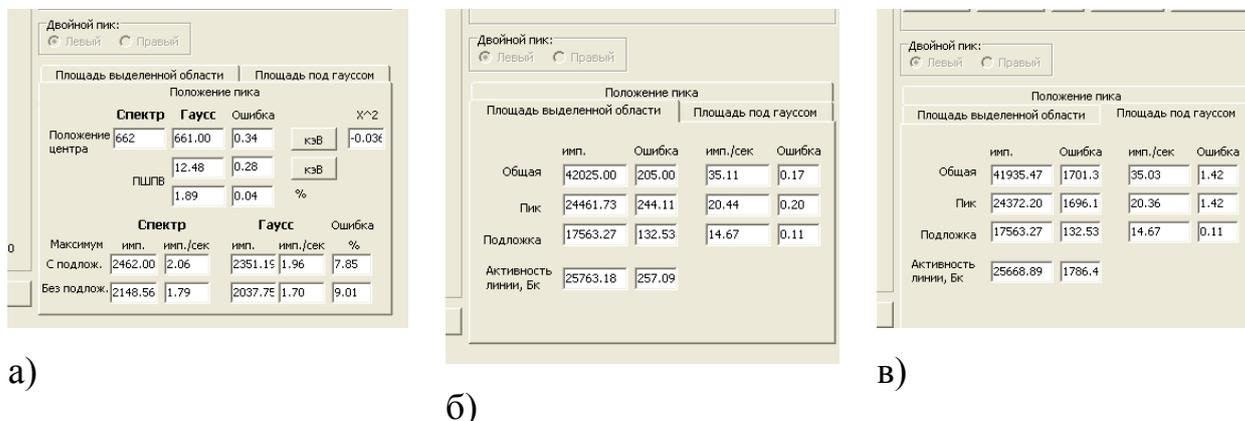


Рис. 1.33. Три вкладки на панели с характеристиками области обработки. а) - «Положение пика», б) - «Площадь выделенной области», в) - «Площадь под гауссом».

Вкладка «Положение пика» (Рис. 1.33, а) содержит следующие поля – положение центра пика и его полную ширину на полувысоте (ПШПВ) по данным спектра и по данным аппроксимации гаусса, значение χ^2 , количество событий и скорость счета в максимуме пика полное и за вычетом подложки, а также погрешности величин. Размерности величин положения центра пика и ПШПВ можно переключать канал↔кэВ, если спектр откалиброван. Если калибровки нет, то значения величин приводятся в каналах.

Вкладки «Площадь выделенной области» и «Площадь под гауссом» показывают рассчитанные полную площадь (общее количество событий) области, площадь пика за вычетом подложки, подложки под пиком и оценки активности линии в Бк для всей выделенной области между границ и для аппроксимации гаусса, соответственно.

Можно устанавливать до двадцати областей обработки. Переключение между ними возможно нажатием на стрелки «Влево/Вправо» на информационной панели «Границы области обработки» или нажатием левой

кнопки мыши непосредственно на интересующую область на графике. Границы активной области изображаются зеленым цветом, не активных – черным. По команде «Удалить все границы» (Рис. 1.27, Рис. 1.29) все выставленные области обработки удаляются.

1.3.6 Работа с теневым спектром.

При работе со спектрами иногда возникает необходимость сравнения двух спектров на одном графике и проведения некоторых операций с ними. Для реализации этого сравнения вводится понятие теневого спектра. Программа позволяет пользователю загружать в окно с основным спектром дополнительный спектр для сравнения - теневой спектр. Для загрузки и типа прорисовки теневого спектра выделен специальный блок команд «Теневой спектр», для нормировки относительно основного – «Операции спектр основной-теневой» (Рис. 1.34).



Рис. 1.34. Блоки команд для работы с теневым спектром.

На Рис. 1.35 показан блок команд «Теневой спектр». Кнопка «Загрузить» вызывает стандартное диалоговое окно открытия теневого спектра в формате

sps. Кнопка «Поменять местами теневой и основной» становится активной только после загрузки теневого спектра и позволяет пользователю поменять местами друг с другом (переназначить) основной спектр и теневой. Также на графике можно показать истинный теневой спектр, по-канальную сумму теневого и основного, по-канальную разность теневого и основного или вовсе не показывать теневой спектр. Теневой спектр можно сохранить в файл.

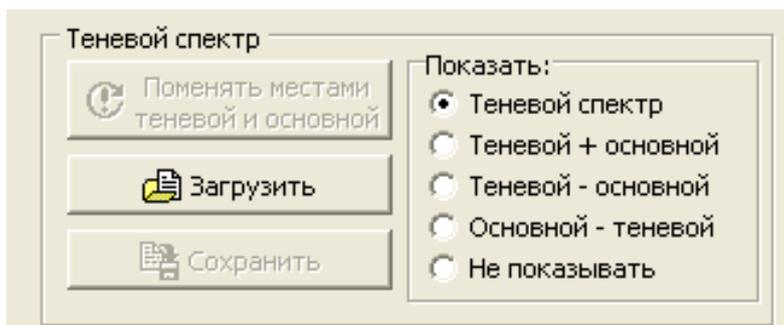


Рис. 1.35. Блок команд «Теневой спектр» по загрузке и прорисовке теневого спектра.

Теневой спектр загружается и прорисовывается на графике бордовым цветом (Рис. 1.36). Если файл с теневым спектром содержит параметры калибровки, то он калибруется соответственно этим параметрам. Если собственной калибровки у теневого спектра нет, но основной спектр откалиброван, то теневой спектр калибруется с использованием параметров основного. Теневой спектр можно калибровать отдельно от основного или вместе с ним вызовом команды «Провести калибровку спектра», как было описано выше.

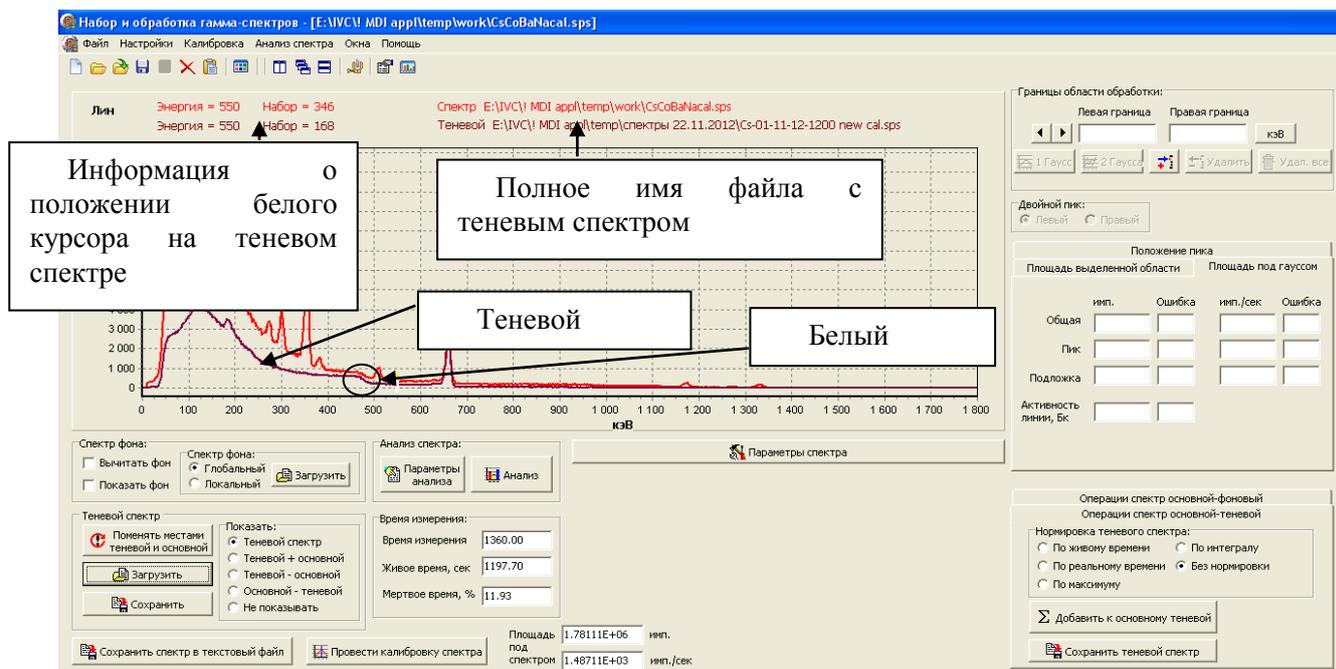
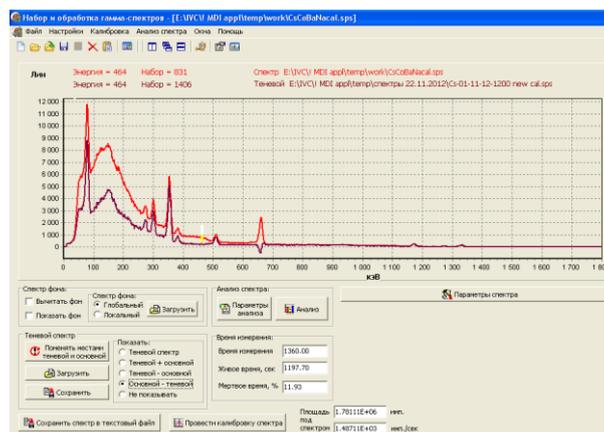
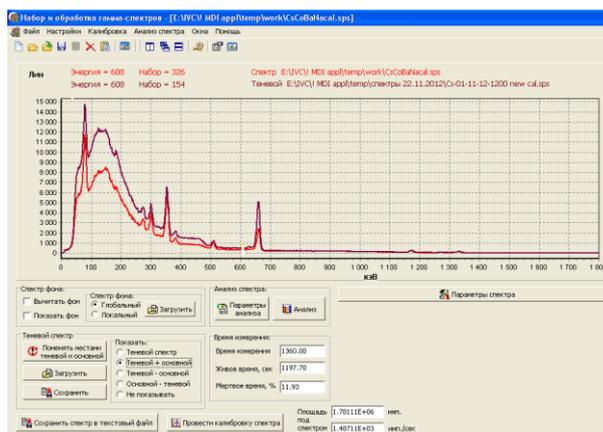


Рис. 1.36. Теневого спектр загружен и прорисован бордовым цветом.

Курсор на теновом спектр изображается белой полоской, его положение прописывается в соответственных информационных полях Набор/Канал(Энергия) под информацией о курсоре основного спектра. Полное имя файла с теновым спектром прописывается под именем файла с основным спектром. Имя файла со спектром и информация о положении курсора имеют соответственный теновому спектру бордовый цвет.

На Рис. 1.37 показаны примеры суммирования основного и теневого спектров (а) и вычитание теневого из основного (б).



а) Переключатель «Показать:» в положении «Теневой+основной».

б) Переключатель «Показать:» в положении «Основной-теневой».

Рис. 1.37. Операции суммирования (а) и вычитания (б) основного и теневого спектров.

Дополнительно пользователю предоставлена возможность нормировки теневого спектра относительно основного (Рис. 1.38). Нормировать теневой спектр можно по живому или реальному времени набора основного спектра, по максимуму или по интегралу основного спектра, или не нормировать вовсе. По умолчанию переключатель «Нормировка теневого спектра» установлен в положение «Без нормировки». Нормированный спектр можно сохранить в файл в формате srs с помощью кнопки «Сохранить». Теневой спектр можно добавить к основному нажатием на кнопку «Добавить к основному теневой», при этом складываются статистика в каналах и времена набора.



Рис. 1.38. Операции нормировки теневого спектра относительно основного.

1.3.7 Спектр фона.

1.3.7.1 Команда «Загрузить спектр фона».

Команда «Загрузить спектр фона» позволяет с помощью стандартного диалогового окна выбрать на диске и открыть гамма-спектр фона в формате sps. Команда может быть вызвана несколькими способами (Рис. 1.39) – через раздел «Файл» главного меню (а), соответствующей кнопкой на панели инструментов (б) и из дочернего окна со спектром кнопкой «Загрузить» (в), находящейся в группе операций «Спектр фона» под графиком со спектром.

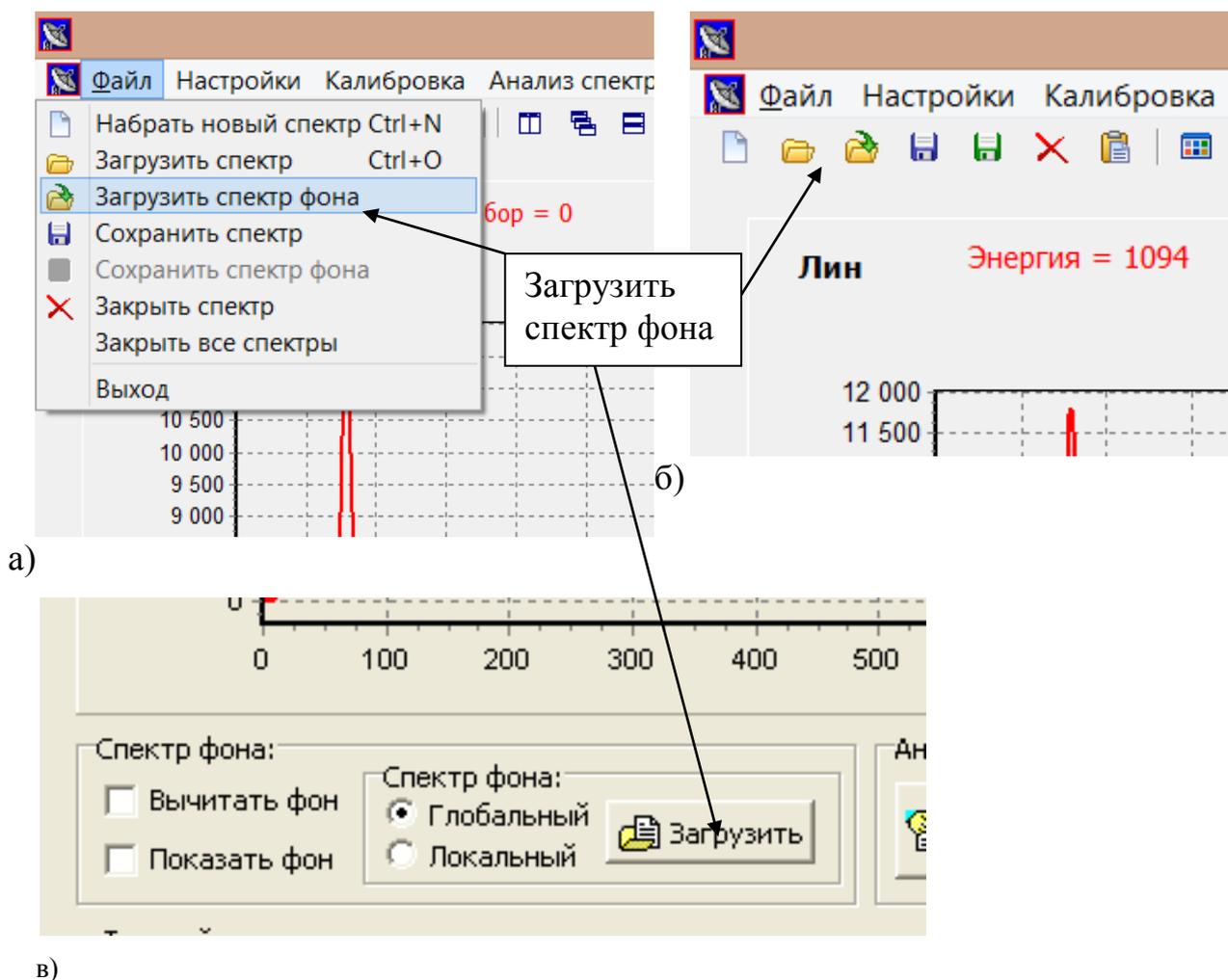


Рис. 1.39. Варианты выполнения команды «Загрузить спектр фона».

При вызове команды «Загрузить спектр фона» открывается стандартное диалоговое окно открытия файла (Рис. 1.40).

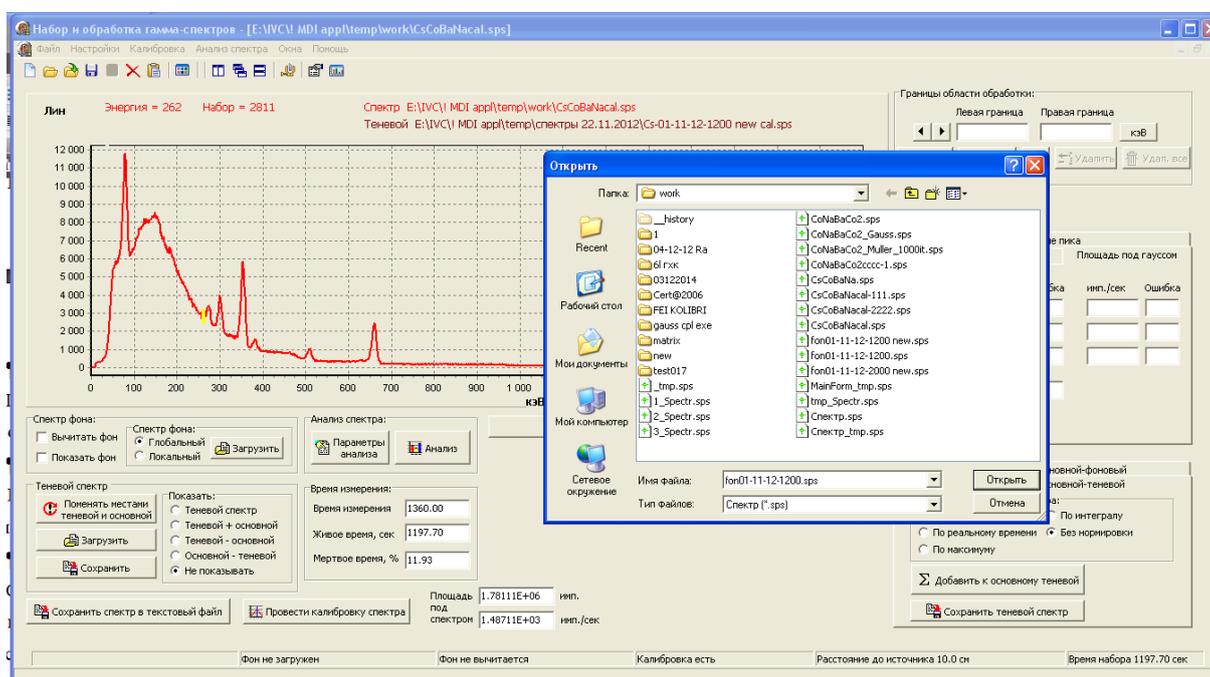


Рис. 1.40. Команда «Загрузить спектр фона». Диалоговое окно выбора файла гамма-спектра фона.

Спектр фона можно выбрать и загрузить как при наличии открытого основного гамма-спектра, так и без него. В последнем случае информация о спектре фона заносится в память и может быть отображена на графике только после открытия и загрузки основного гамма-спектра. Учитывая, что допускается одновременная работа с несколькими гамма-спектрами, спектр фона может быть загружен как глобальный, т.е. доступный всем открытым спектрам, или как локальный, т.е. доступный только данному активному окну со спектром (Рис. 1.41). Если спектр фона загружается в отсутствие открытых окон со спектрами, то он используется как глобальный по умолчанию. Допускается загрузка и одновременное существование в программе нескольких спектров фона, одного определенного как глобальный, а остальных, определенных как локальные для каждого конкретного открытого спектра. Переключателем «Глобальный/Локальный»

можно указывать, какой спектр фона из имеющихся загруженных использовать в данном активном окне.

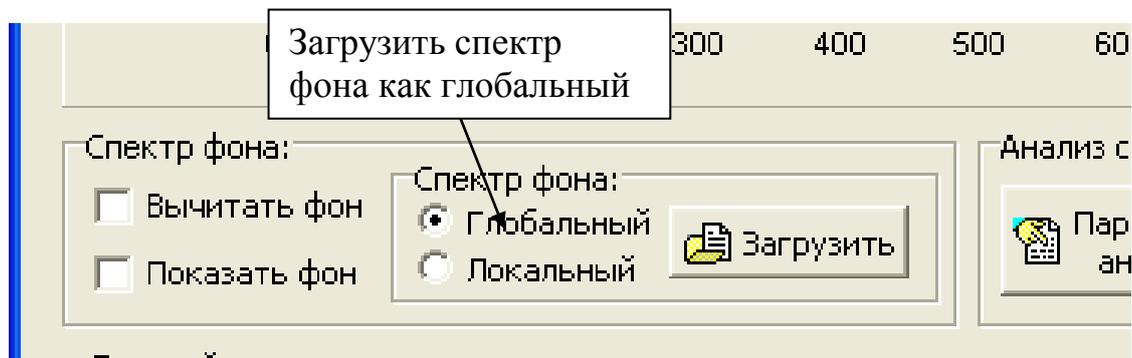


Рис. 1.41. Выбор варианта загрузки спектра фона как глобального (доступного всем открытым спектрам) или локального (доступного данному активному спектру).

На Рис. 1.42 представлено окно с прорисованными гамма-спектром (красный цвет) и фоновым спектром (зеленый цвет). Фоновый спектр прорисовывается на графике включением кнопки «Показать фоновый спектр» и вычитается из гамма-спектра нажатием на кнопку «Вычитание фона». Если кнопка «Вычитание фона» включена, то спектр прорисовывается за вычетом фона. Полное имя файла со спектром фона прописывается в верхней части окна над графиком со спектрами зеленым цветом, соответствующим цвету изображенного спектра фона.

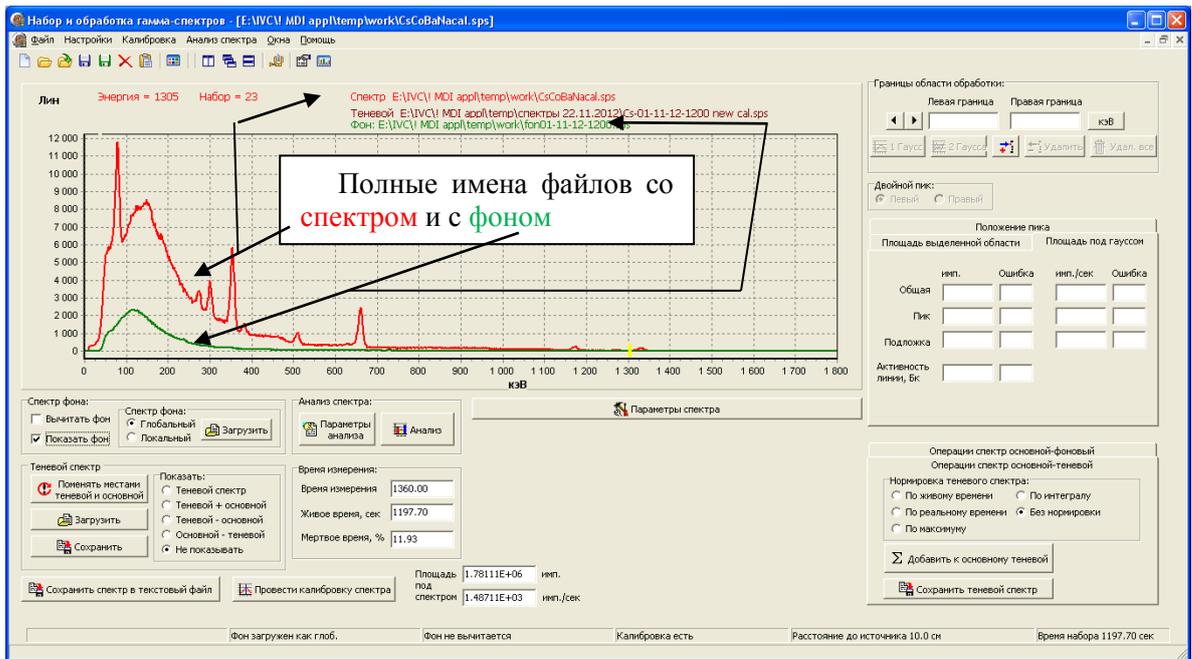


Рис. 1.42. Дочернее окно с гамма-спектром (красный цвет) и спектром фона (зеленый цвет).

1.3.7.2 Математические операции со спектром фона.

Программа предоставляет пользователю возможность проводить ряд математических операций с использованием основного спектра и спектра фона (Рис. 1.43).

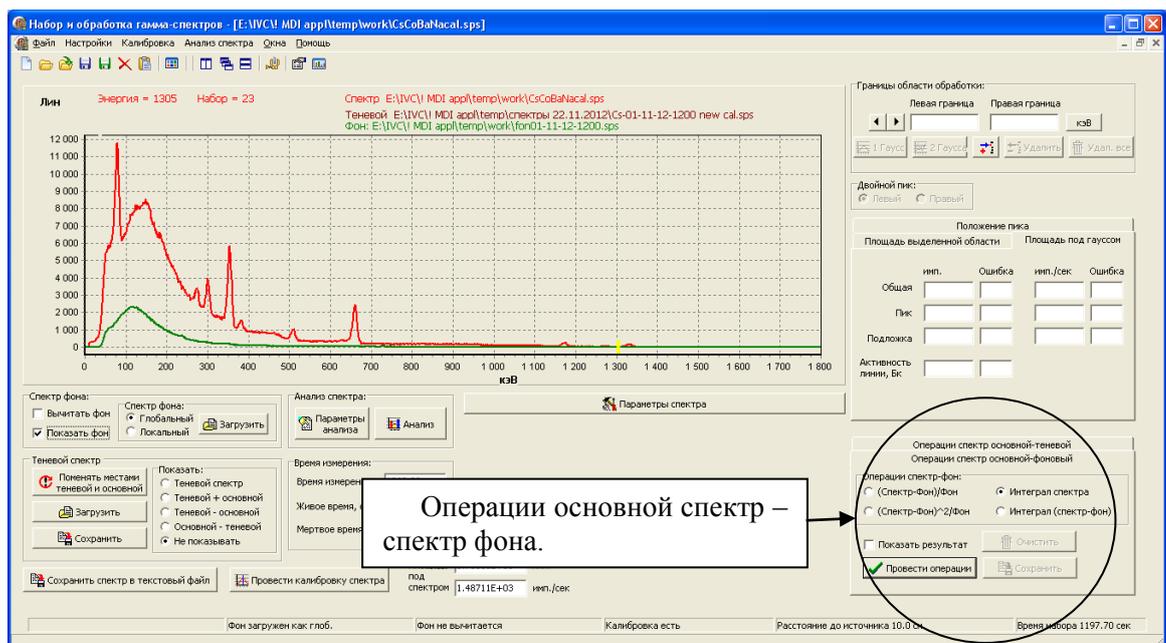


Рис. 1.43. Блок математических операций между основным спектром и спектром фона.

Подробно блок математических операций показан на Рис. 1.44. Используя переключатель «Операции спектр основной-фоновый», можно рассчитать и построить на графике вместе с основным спектром:

- Разность между основным спектром и спектром фона, деленную на спектр фона,
- Квадрат разности между основным спектром и спектром фона, деленный на спектр фона,
- По-канальный интеграл спектра,
- По-канальный интеграл спектра за вычетом фона.



Рис. 1.44. Блок операций между основным спектром и спектром фона.

Выбрав нужную операцию с помощью переключателя «Операции спектр-фон», далее для ее совершения нужно нажать кнопку «Провести операцию». Результат можно отобразить на графике, включив указатель «Показать результат». Кривая результата отображается вместе с основным спектром и имеет голубой цвет. На Рис. 1.45 продемонстрирован результат операции «По-канальный интеграл спектра». Курсор на кривой результата имеет синий цвет, а его положение отображается в соответствующих информационных полях Набор/Канал(Энергия) голубым цветом.

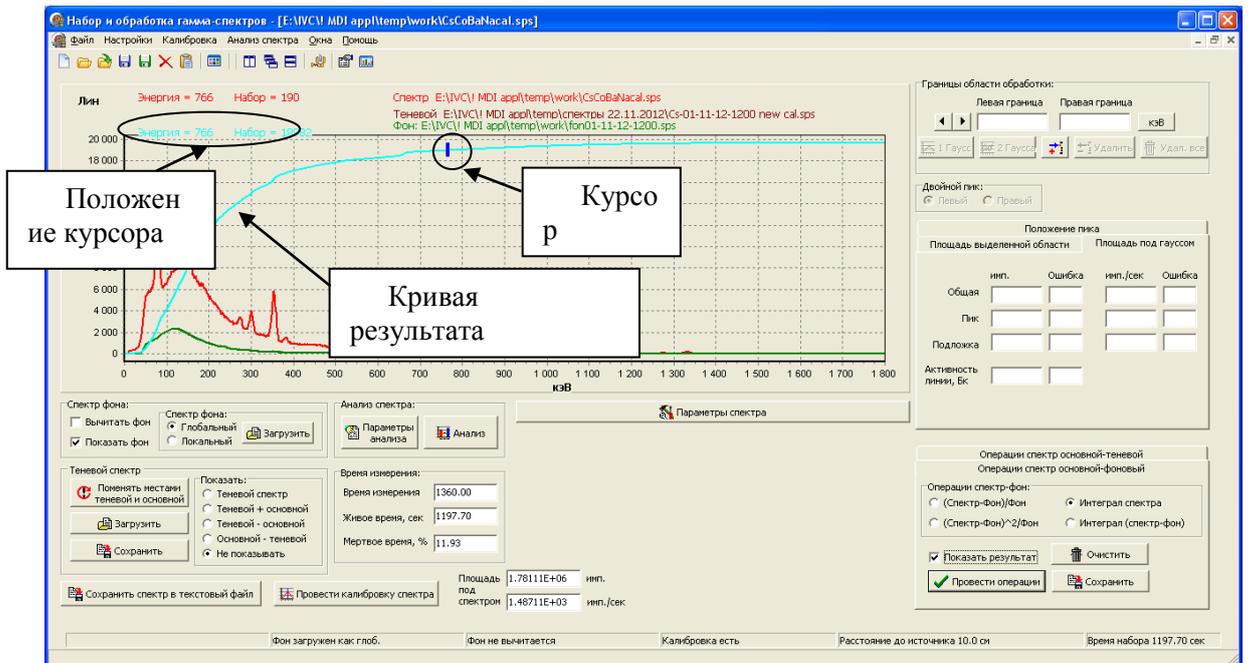


Рис. 1.45. Результат операции «Покалальный интеграл спектра» (кривая голубого цвета), синий курсор и его положение на кривой.

1.3.8 Команды «Сохранить спектр» и «Сохранить спектр фона».

Команды «Сохранить спектр» и «Сохранить спектр фона» могут быть вызваны через раздел «Файл» главного меню или кнопки панели инструментов и доступны только при наличии одного или более открытого дочернего окна с гамма-спектром и загруженного спектра фона, соответственно (Рис. 1.46).

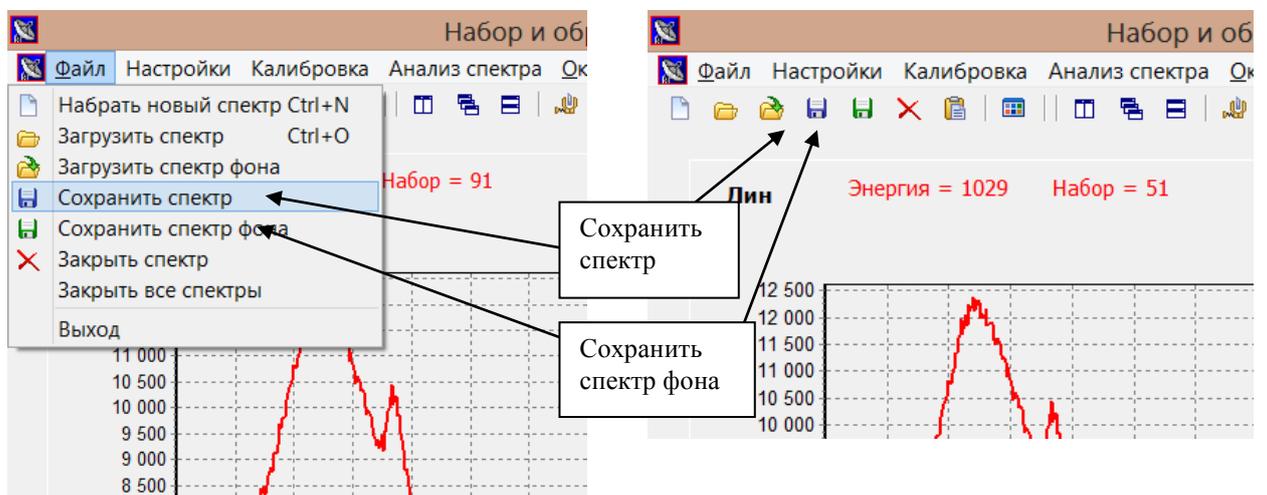


Рис. 1.46. Варианты вызова команд «Сохранить спектр» и «Сохранить спектр фона».

При вызове команд открывается стандартное диалоговое окно сохранения файла, где можно ввести имя и путь для сохранения спектров (Рис. 1.47).

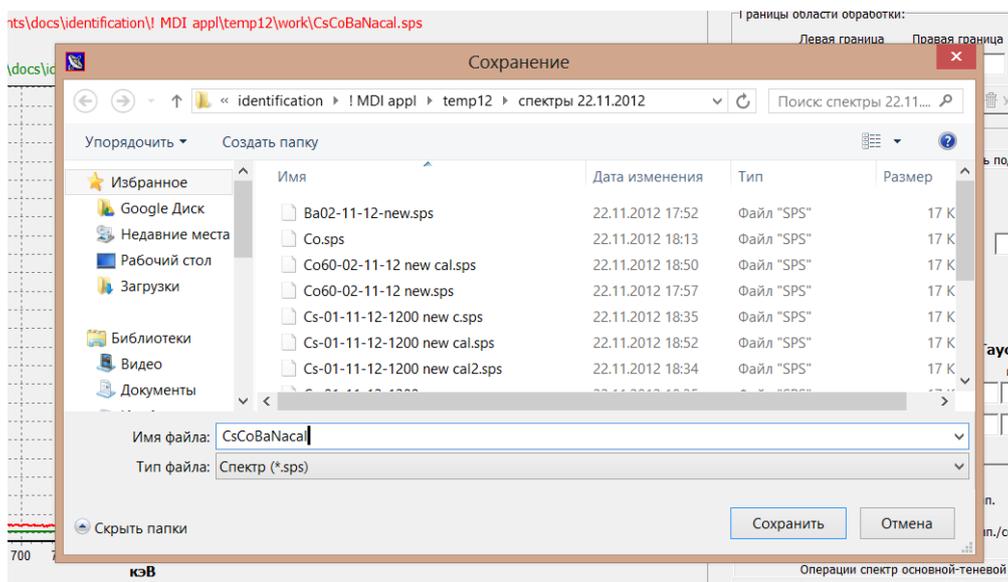


Рис. 1.47. Диалоговое окно сохранения спектра.

1.3.9 Команда «Закреть спектр».

Команды «Закреть спектр» и «Закреть все спектры» могут быть вызваны через раздел «Файл» главного меню или кнопки панели инструментов, доступны только при наличии одного или более открытого дочернего окна с гамма-спектром и закрывают соответственно одно активное или все дочерние окна (Рис. 1.48).

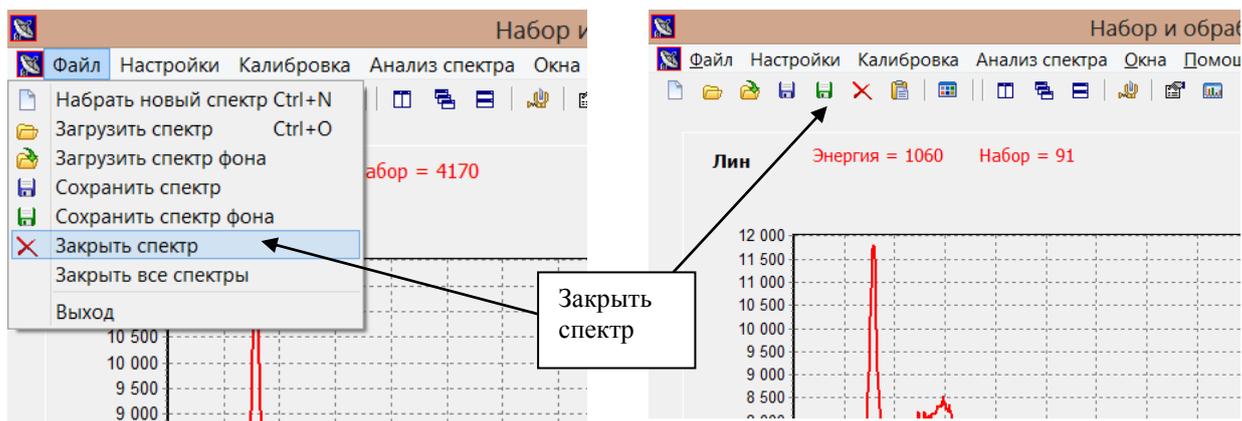


Рис. 1.48. Варианты вызова команды «Закрыть спектр».

1.3.10 Команда «Выход».

Команда «Выход» раздела «Файл» главного меню закрывает работу ПО «Набор и обработка гамма-спектров».

1.3.11 Раздел меню «Настройки».

1.3.11.1 Команда «Параметры проекта».

Раздел меню «Настройки» содержит команды «Параметры проекта» и «Библиотека нуклидов» (Рис. 1.49).

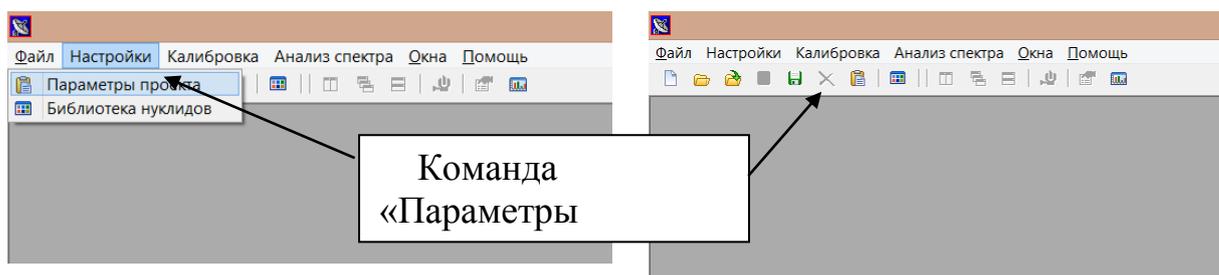


Рис. 1.49. Раздел «Настройки» главного меню. Варианты вызова команды «Параметры проекта».

Команда «Параметры проекта» может быть вызвана через раздел «Настройки» главного меню или соответствующую кнопку панели инструментов (Рис. 1.49) и открывает окно «Параметры проекта»,

содержащее возможность пользователю загружать файл с библиотекой нуклидов, загружать и редактировать рабочий список нуклидов, используемый при идентификации спектров, загружать файл со спектром фона и указывать автоматическое вычитание его из гамма-спектра (Рис. 1.50). Также загружать следующие файлы: со списком изотопов для проведения полной калибровки, с данными по полной калибровке, с данными линейной энергетической калибровки и с данными по адресам Socket-связи.

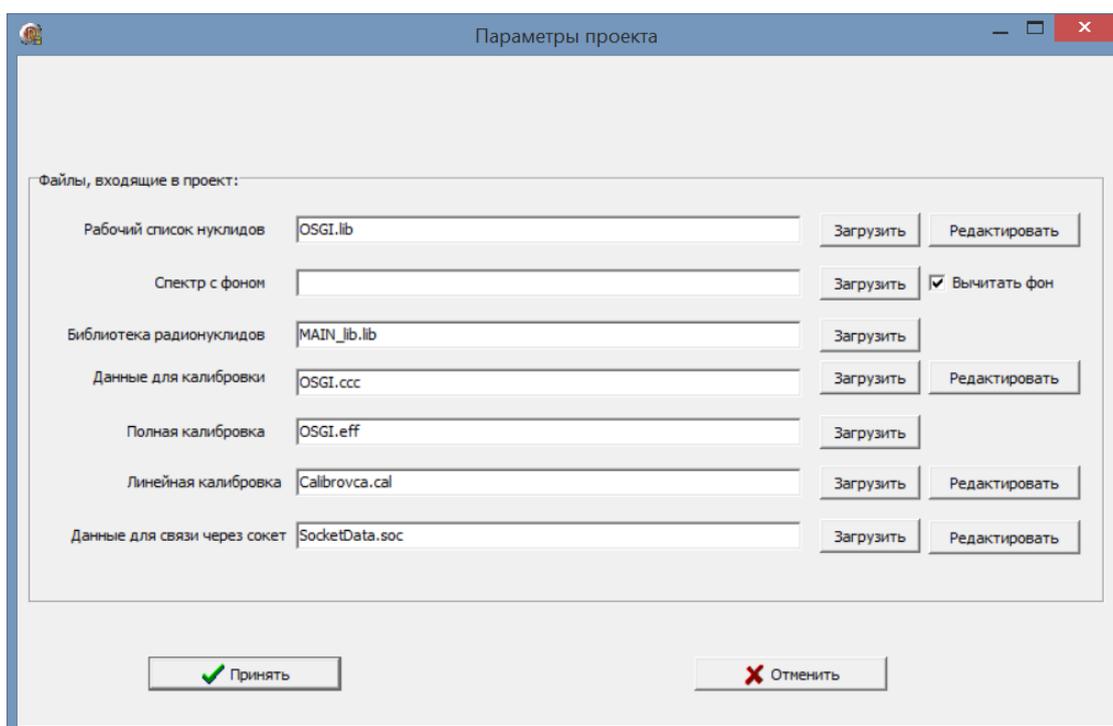


Рис. 1.50. Окно «Параметры проекта».

После выбора необходимых файлов с рабочим списком и спектром фона пользователь может принять нажатием кнопки «Принять» или отменить нажатием кнопки «Отменить» сделанные им действия. При нажатии на кнопку «Принять» программа открывает и считывает указанные пользователем файлы, вычитает фон (если указано), заносит в память программы параметры анализа.

1.3.11.2 Команда «Библиотека нуклидов».

Команда «Библиотека нуклидов» может быть вызвана из раздела «Настройки» главного меню или соответствующей кнопкой панели инструментов (Рис. 1.51) и открывает окно «Рабочий список радионуклидов», содержащее возможность пользователю формировать, редактировать, удалять, сохранять и считывать рабочий список нуклидов и список изотопов для полной калибровки, используя встроенную библиотеку, который будет использован при идентификации гамма-спектра (Рис. 1.52).

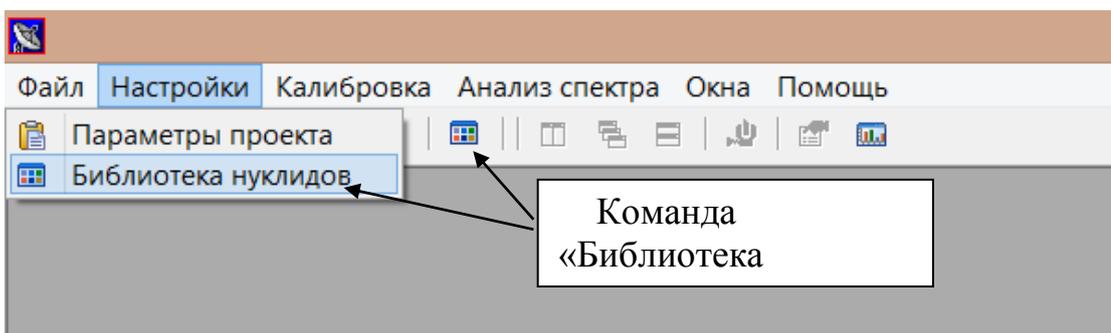


Рис. 1.51. Команда «Библиотека нуклидов» раздела «Настройки» главного меню.

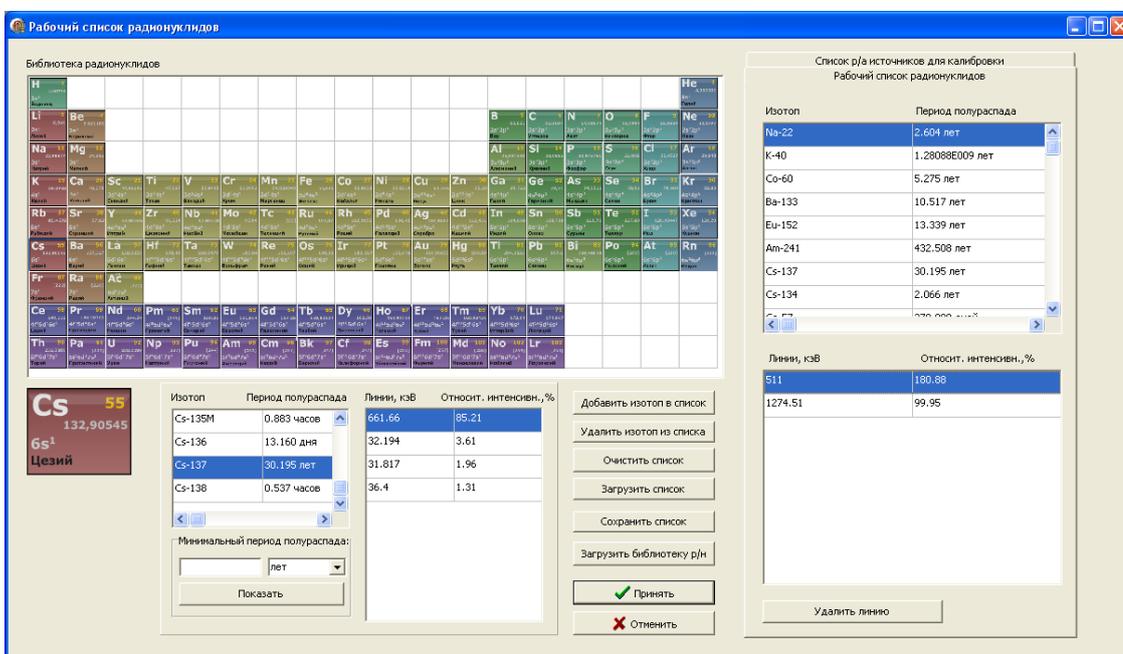


Рис. 1.52. Окно «Рабочий список радионуклидов».

Встроенная библиотека радионуклидов доступна пользователю для просмотра и представлена в виде таблицы химических элементов, имеющих гамма-излучающие изотопы. При нажатии левой кнопкой мыши на элемент, его название, атомный номер, заряд и строение электронной оболочки отображается в виде картинки под таблицей элементов (Рис. 1.53).

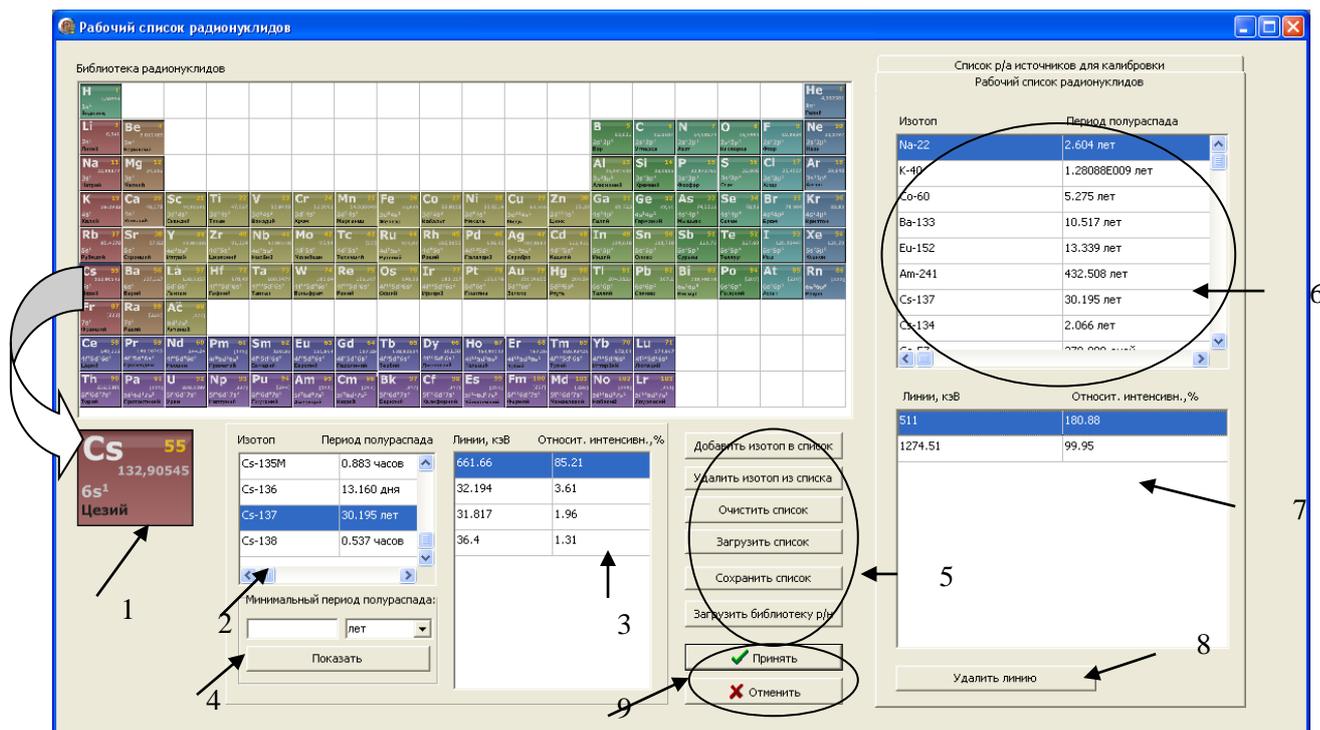


Рис. 1.53. Просмотр содержимого библиотеки радионуклидов. 1 – изображение выбранного элемента, 2 – список изотопов у выбранного элемента, 3 – список линий у выбранного изотопа данного элемента, 4 – управление фильтрацией изотопов по времени полураспада, 5 – кнопки формирования и управления рабочим списком нуклидов или списком р/а источников для калибровки, 6 – сформированный рабочий список нуклидов (или список изотопов для полной калибровки в зависимости от открытой закладки), 7 – список линий у выбранного нуклида из рабочего списка, 8 – кнопка «Удалить линию», 9 – кнопки выхода из окна «Принять» и «Отменить».

При этом для выбранного элемента в соответствующей таблице (Рис. 1.53, 2) отображается список изотопов с указанием периодов полураспада. При нажатии левой кнопкой мыши на выбранный изотоп, информация по существующим у него гамма-линиям и их относительным интенсивностям (% на один распад) отображается в таблице (Рис. 1.53, 3), расположенной справа от таблицы со списком изотопов. Изотопы можно отфильтровать по времени полураспада (Рис. 1.53, 4), записав величину в поле «Минимальный период полураспада», выбрав единицу измерения (лет, мин или др.) и нажав на кнопку «Показать». В результате будут показаны только изотопы, имеющие период полураспада выше указанного в фильтре.

Для формирования рабочего списка нуклидов, который пользователем планируется использовать при анализа обрабатываемого гамма-спектра, существует набор кнопок (Рис. 1.53, 5), обладающих следующими функциями: «Добавить изотоп в рабочий список» - добавляет выбранный в списке изотопов (Рис. 1.53, 2) изотоп с имеющимися у него линиями в рабочий список, «Удалить изотоп из рабочего списка» - удаляет выбранный в таблице (Рис. 1.53, 6) изотоп из рабочего списка, «Очистить рабочий список» - удаляет все изотопы из рабочего списка, «Загрузить рабочий список» - с помощью стандартного диалогового окна выбора и открытия файлов загружает выбранный пользователем рабочий список, «Сохранить рабочий список» - с помощью стандартного диалогового окна сохраняет рабочий список в виде файла на диск.

Рабочий список нуклидов отображается в верхней таблице (Рис. 1.53, 6) в разделе «Рабочий список нуклидов», выделяя нуклид левой кнопкой мыши, существующие у выбранного нуклида линии становятся доступными для просмотра в таблице (Рис. 1.53, 7), расположенной под таблицей с рабочим списком. Линии (например, с низкой относительной интенсивностью и не нужные пользователю для анализа) можно удалять нажатием на кнопку «Удалить линию».

Аналогично рабочему списку нуклидов может формироваться и список изотопов для полной калибровки. Для этого необходимо открыть закладку «Список р/а источников для калибровки» (Рис.1.54). Заполнять, редактировать, сохранять в файл и загружать из файла – аналогично как описано выше для рабочего списка нуклидов. Дополнительно необходимо для каждого источника ввести данные по активности, дате измерения активности и погрешности активности.

The screenshot shows the 'Рабочий список радионуклидов' (Working list of radionuclides) software interface. It features a periodic table on the left, a detailed view of the Cesium-137 isotope in the bottom-left, and a table of radioisotope sources for calibration on the right. The table includes columns for the radioisotope (P/a источник), date of measurement (Дата дд.мм.гггг), activity (Активность, Бк), and relative error (Погрешность активности, %).

P/a источник	Дата дд.мм.гггг	Активность, Бк	Погрешность активности, %
Cs-137	01.11.2009	9,94000E+04	1,60
Cs-137	01.11.2009	9,94000E+04	1,60
Am-241	01.11.2009	1,03000E+05	1,50
Ba-133	01.11.2009	5,28000E+04	1,90
Co-57	01.11.2009	9,85000E+04	1,80
Co-60	01.11.2009	9,88000E+04	1,70
Mn-54	01.11.2009	1,00200E+05	1,70
Y-88	01.11.2009	1,72300E+05	1,70

The detailed view of Cesium-137 shows its half-life (30.195 лет) and a table of its isotopes with their respective half-lives, decay constants (Лямбда, кзВ), and relative intensities (Относит. интенсивн., %).

Изотоп	Период полураспада	Лямбда, кзВ	Относит. интенсивн., %
Cs-135M	0,883 часов	661,66	85,21
Cs-136	13,160 дня	32,194	3,61
Cs-137	30,195 лет	31,817	1,96
Cs-138	0,537 часов	36,4	1,31

Рис.1.54. Список р/а источников для калибровки.

После формирования нужного списка пользователь может принять нажатием кнопки «Принять» или отменить нажатием кнопки «Отменить» сделанные им действия.

1.3.12 Раздел меню «Анализ спектра».

1.3.12.1 Команда «Параметры анализа».

Команда «Параметры анализа» может быть вызвана из раздела «Анализ спектра» главного меню или соответствующей кнопкой панели инструментов (Рис. 1.56) и открывает окно «Параметры анализа», содержащее возможность пользователю управлять настройкой параметров, необходимыми для успешной обработки и анализа гамма-спектра (Рис. 1.56).

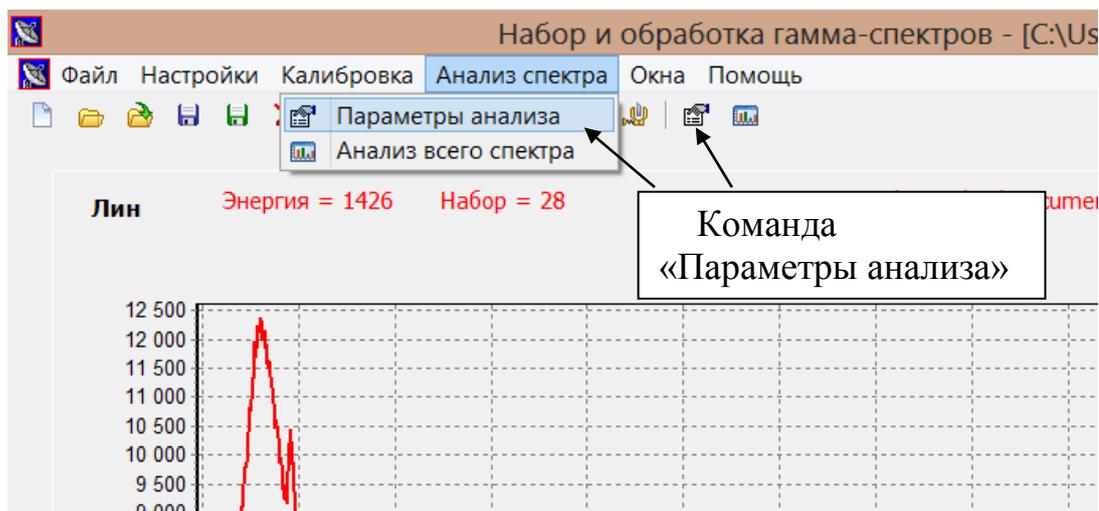


Рис. 1.55. Команда «Параметры анализа» раздела «Анализ спектра» главного меню.

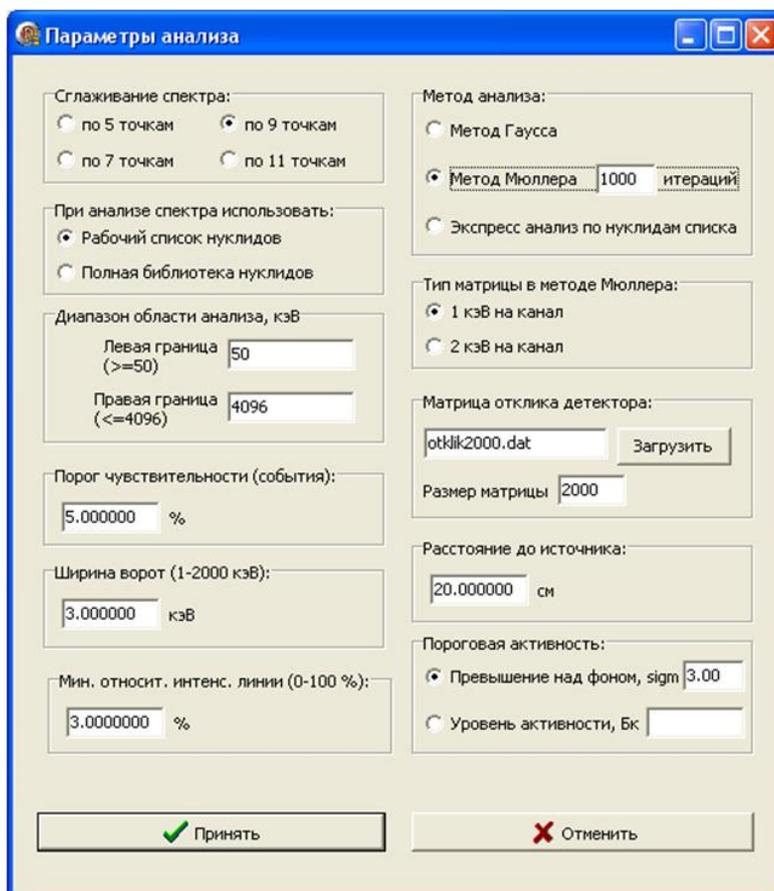


Рис. 1.56. Окно «Параметры анализа».

Окно «Параметры анализа» содержит следующие возможности пользователю управлять настройками процесса обработки и анализа спектра.

1). Процесс сглаживания спектра методом Савицкого-Голея может производиться по 5, 7, 9 и 11-ти точкам (Рис. 1.57). По умолчанию сглаживание происходит по 9-ти точкам. Подробно процедура сглаживания описана в Приложении 2.

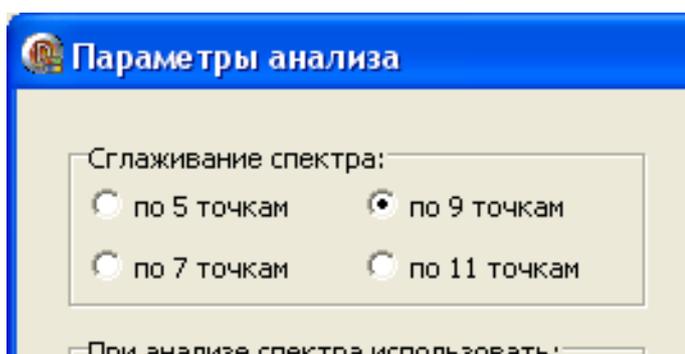


Рис. 1.57. Параметры сглаживания спектра методом Савицкого-Голея.

2). Для анализа гамма-спектра можно использовать или сформированный пользователем рабочий список нуклидов или полную библиотеку радионуклидов (Рис. 1.58). По умолчанию указан рабочий список нуклидов.

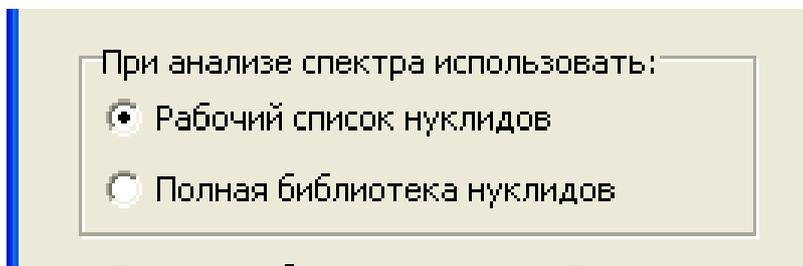


Рис. 1.58. Указание списка нуклидов, который необходимо использовать при анализе.

3). Процедуру анализа можно проводить тремя разными методами – методом Гаусса, методом Мюллера и экспресс-анализом по нуклидам списка. Подробно два первых метода описаны в Приложении 3.

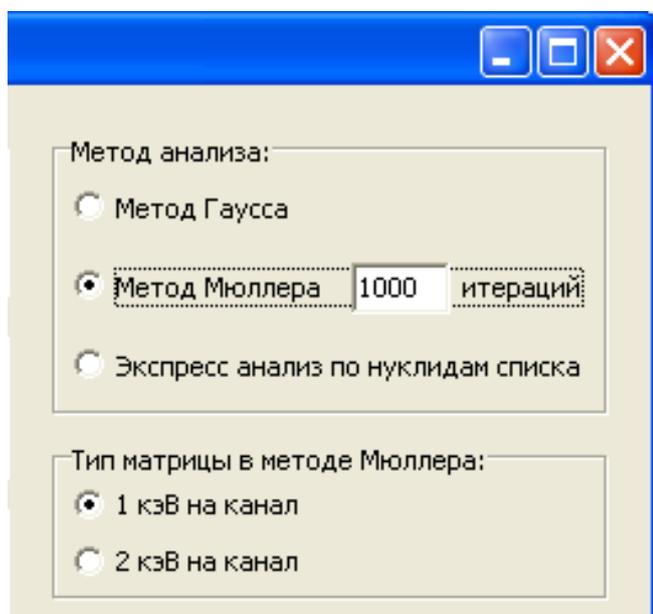


Рис. 1.59. Указание метода анализа гамма-спектра.

Метод Гаусса представляет собой метод численного решения системы алгебраических уравнений, использующий особенности матрицы отклика, которая имеет треугольную форму.

Метод Мюллера – итерационный метод решения системы уравнений, требующий большего времени для восстановления спектра, чем метод Гаусса. Для метода Мюллера необходимо указать количество итераций и тип матрицы отклика (матрица размером 1 кэВ на канал более точная, но процесс решения будет занимать большее время).

Экспресс-анализ по нуклидам списка оценивает форму спектра в окрестности каждой линии нуклида, обрабатывает и выдает результаты обработки, не проводя математический анализ спектра. Экспресс-анализ требует установку только следующих параметров – сглаживание, диапазон области анализа, пороговая активность и минимальная относительная чувствительность линии.

4). Для обработки гамма-спектра и поиска гамма-линий необходимо указать файл с матрицей отклика КГД (Рис. 1.60). Размер матрицы указывается автоматически при выборе тип матрицы для метода Мюллера.

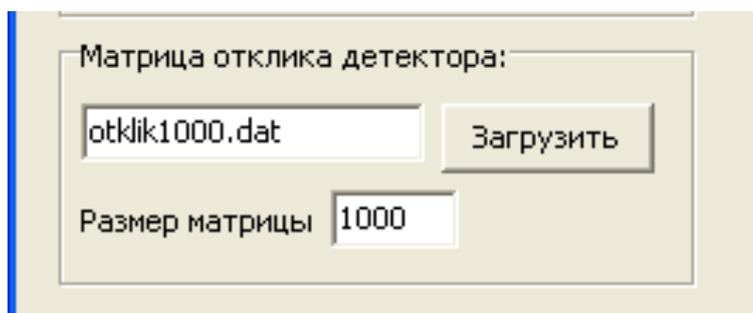


Рис. 1.60. Выбор файла с матрицей отклика.

Нажатием на кнопку «Загрузить» открывается стандартное диалоговое окно выбора и открытия файлов, в котором пользователь может выбрать необходимый ему файл с матрицей отклика.

4). Диапазон области анализа позволяет указать левую и правую границы области по энергиям, внутри которой будет проходить анализ спектра (Рис. 1.61). Левая граница не может быть меньше 50 кэВ, правая – не больше 4096 кэВ, что определяется рабочим диапазоном КГД и его спектрометрического тракта.

Диапазон области анализа, кэВ

Левая граница (>=50) 50

Правая граница (<=4096) 4096

Рис. 1.61. Диапазон области анализа.

5). Следующие пять параметров – порог чувствительности, ширина ворот, расстояние до источника, минимальная относительная интенсивность линии и пороговая активность необходимы для анализа спектра, расчета активностей формирующих этот спектр нуклидов и общей оценки активности полученного спектра относительно указанного порога (Рис. 1.62).

Порог чувствительности (события): 5.000000 %

Ширина ворот (1-2000 кэВ): 3.000000 кэВ

Мин. относит. интенс. линии (0-100 %): 3.0000000 %

Размер матрицы 2000

Расстояние до источника: 20.000000 см

Пороговая активность:

Превышение над фоном, sigma 3.00

Уровень активности, Бк

Рис. 1.62. Параметры «порог чувствительности», «ширина ворот», «расстояние до источника», «минимальная относительная интенсивность линии» и «пороговая активность».

Параметр «Порог чувствительности» указывает программе уровень набора событий (в %) от линии с максимальной найденной интенсивностью, ниже которого линии отбрасываются. По умолчанию порог чувствительности равен 10% от уровня линии с максимальной найденной интенсивностью.

Параметр «Ширина ворот» указывает допустимый полу-интервал совпадения положения максимума расчетного пика с положением максимума

пика изотопа из библиотеки. По умолчанию ширина ворот равна 3 кэВ, что означает полный интервал совпадения пиков 6 кэВ.

Параметр «Расстояние до источника» используется при расчете активностей выявленных изотопов. Если в файле в формате srs с открытым обрабатываемым спектром указано расстояние до источника, то его значение заносится в поле «Расстояние до источника» и используется в расчетах.

Параметр «Минимальная относительная интенсивность линии» указывает программе минимальный уровень относительной интенсивности линий изотопов в рабочем списке (в %), ниже которого линии участия в анализе не принимают. По умолчанию минимальная относительная интенсивность линии равна 1%.

Параметр «Пороговая активность» указывает уровень активности для оценки измеряемого образца как радиоактивного или чистого. Оценка происходит по превышению площади под спектром на указанное количество сигм над фоном или над указанным значением активности в Бк. Если выбрано превышение над фоном, то фоновый спектр должен быть загружен, иначе сравнение проводиться не будет. Сравнение по превышению над уровнем активности в Бк может проводиться и в отсутствии фонового спектра.

После выбора необходимых параметров анализа и файла с матрицей отклика пользователь может принять нажатием кнопки «Принять» или отменить нажатием кнопки «Отменить» сделанные им действия. При нажатии на кнопку «Принять» программа считывает указанные пользователем параметры и заносит их в память.

1.3.12.1 Команда «Анализ всего спектра».

Команду «Анализ всего спектра» может быть вызвана из раздела «Анализ спектра» главного меню или соответствующей кнопкой панели инструментов (Рис. 1.63) и открывает окно, с помощью которого

пользователь имеет возможность проводить анализ выбранного гамма-спектра (Рис. 1.64).

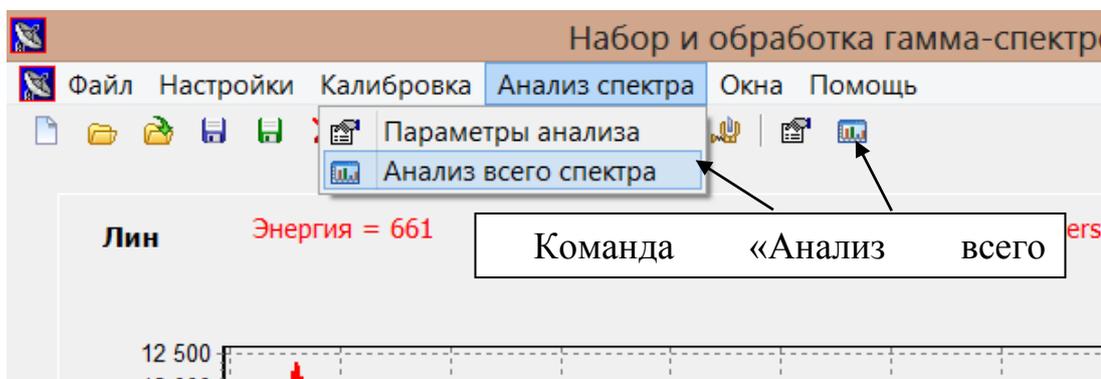


Рис. 1.63. Команда «Анализ всего спектра» раздела «Анализ спектра» главного меню.

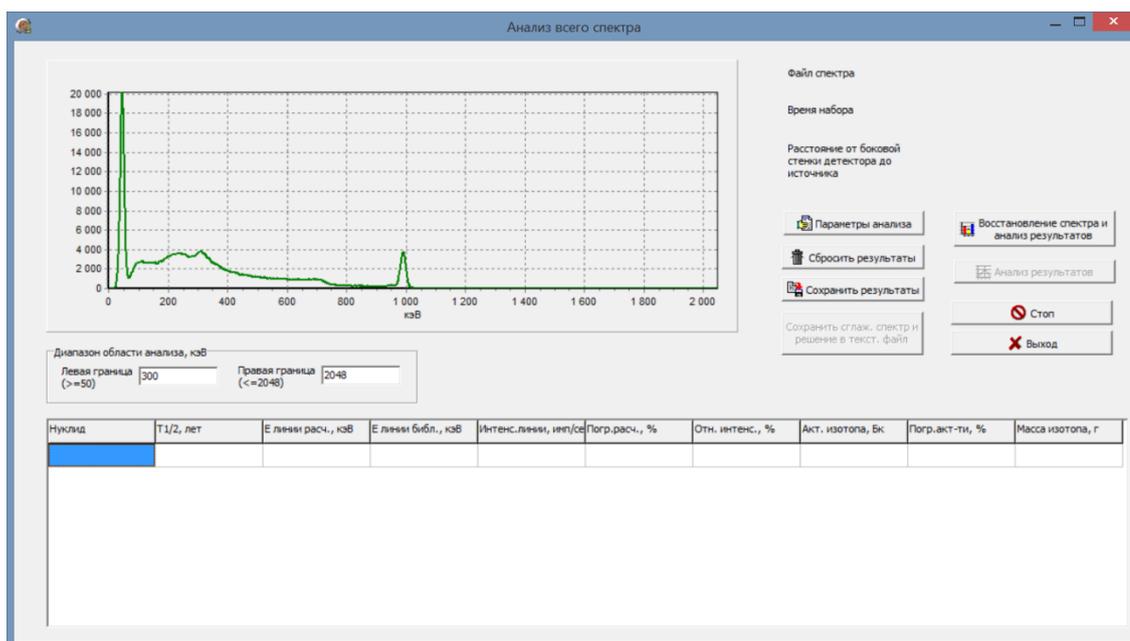


Рис. 1.64. Окно «Анализ всего спектра»

Имея загруженный откалиброванный гамма-спектр с вычтенным фоном, нажатие на кнопку «Восстановление спектра и анализ результатов» запускает процедуру математической обработки и анализа линий спектра. Рис. 1.65 представляет окно с заполненными результатами анализа спектра, набранного от источника гамма-линий ^{137}Cs .

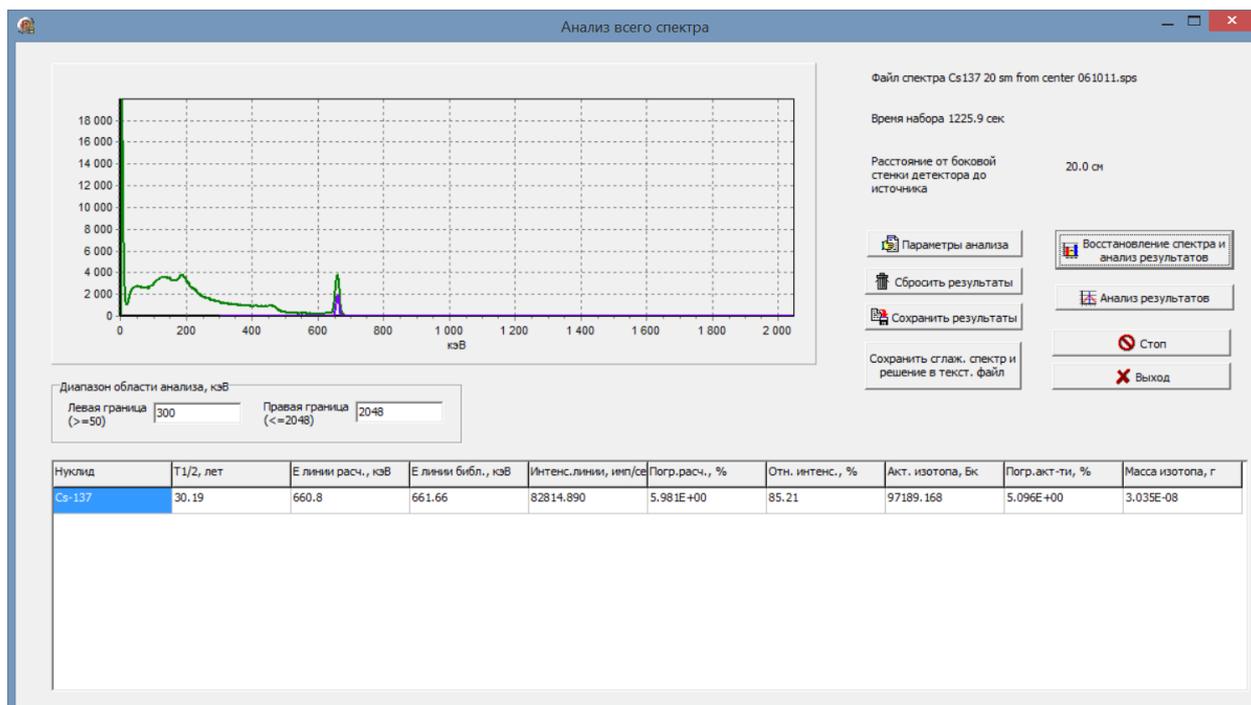


Рис. 1.65. Окно «Анализ всего спектра» с результатами анализа гамма-спектра, набранного от источника гамма-линий ^{137}Cs .

Функция «Анализ результатов» позволяет без дополнительной математической обработки спектра провести анализ полученных ранее решений при изменении ряда параметров анализа (кроме изменения метода анализа). При изменении метода анализа необходимо снова провести восстановление спектра и анализ результатов.

Поля «Файл спектра», «Время набора», «Расстояние до источника» и диапазон области анализа отображают соответственно имя обрабатываемого гамма-спектра, время набора спектра, расстояние от детектора до источника и область анализа которые были указано в окне «Параметры анализа» и использовались в процессе анализа.

График в левой части окна отображает сглаженный исходный спектр (зеленый цвет) и результат поиска гамма-линий с помощью матрицы отклика детектора в обрабатываемом спектре (фиолетовый цвет).

В таблицу в нижней части окна заносится следующая информация о найденных линиях: Имя нуклида, Период полураспада, Энергия найденной линии расчетная, Энергия соответствующей линии из библиотеки, Интенсивность линии расчетная, Погрешность интенсивности,

Раздел «Окна» главного меню (Рис. 1.67) дает возможность пользователю управлять расположением открытых окон на экране компьютера, выравнивать, минимизировать их. Команды данного раздела меню доступны только при хотя бы одном открытом окне.

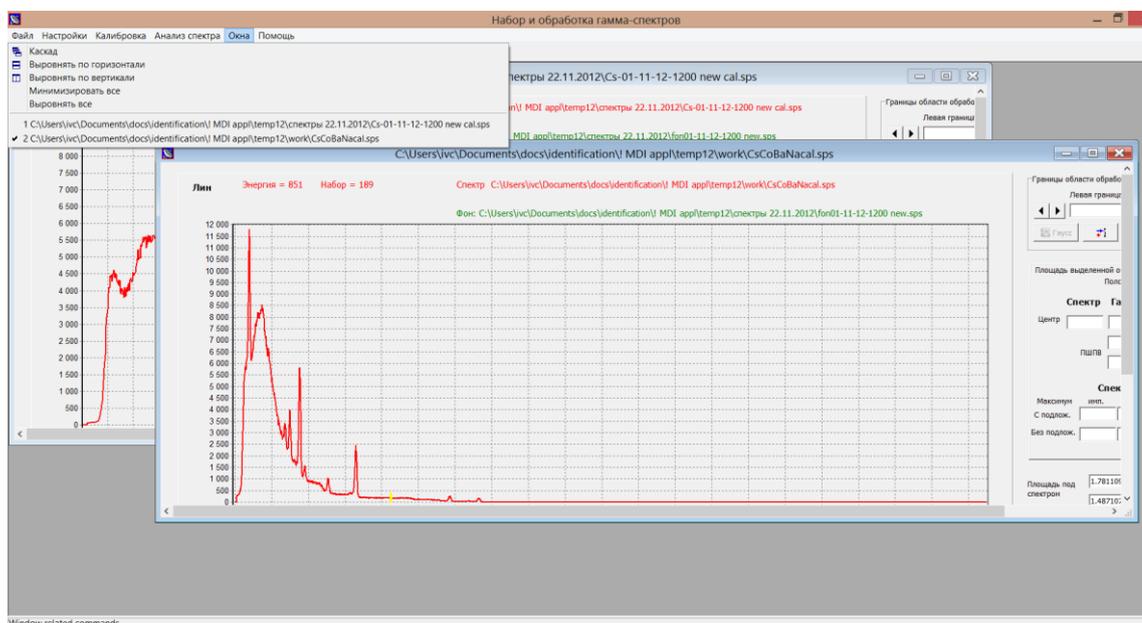


Рис. 1.67. Раздел «Окна» главного меню.

1.3.13.2 Раздел меню «Помощь».

На данный момент раздел «Помощь» главного меню имеет в своем составе одну команду «О программе», которая открывает окно с информацией о названии и версии ПО (Рис. 1.68).

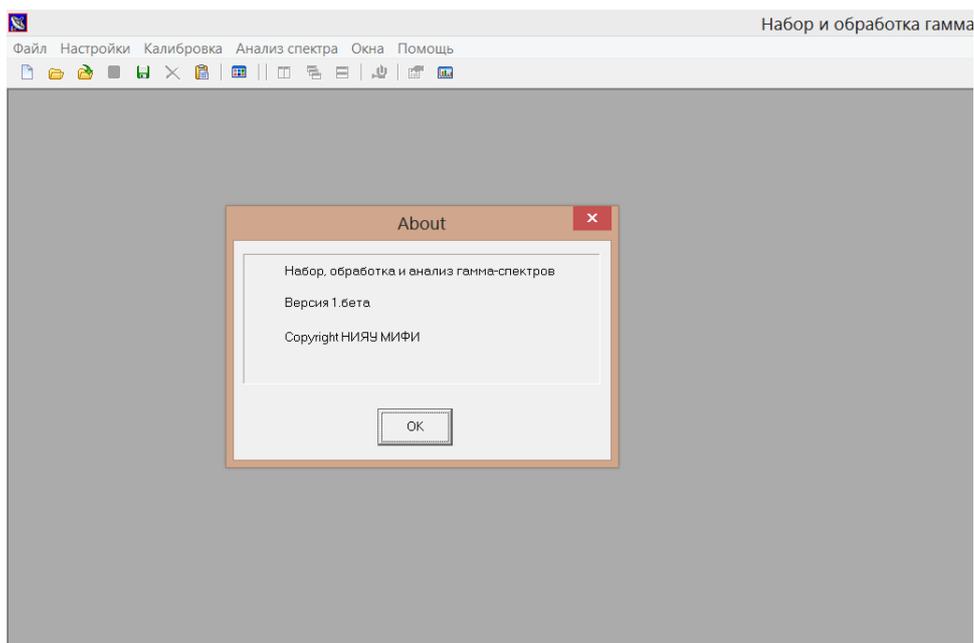


Рис. 1.68. Раздел «Помощь» главного меню.

1.3.14 Полная калибровка.

Полная калибровка КГД означает вычисление зависимостей эффективности регистрации, энергетического разрешения и линейности детектора от энергии гамма-квантов. Данный процесс доступен в окне «Полная калибровка» из раздела меню «Калибровка» (Рис. 1.69). Окно содержит список р/а источников с характеристиками (как он был задан в файле OSGI.ссс), возможность изменять список (кнопка «Список р/а ист. для калибровки»), кнопка «добавить линию в список калибровочных», изображение линии, аппроксимированной по Гауссу, закладки с рассчитанными значениями эффективности (%), разрешения (кэВ) и линейности (кэВ) для выбранных энергий в виде таблицы и графика.

Процедура полной калибровки выглядит следующим образом. Для калибровки необходимо иметь загруженными один или несколько спектров (откалиброванных по энергиям) и содержащих набор линий в полном рабочем диапазоне КГД от р/а источников, список которых с данными по активностям имеется и загружен в программу для полной калибровки. Далее

из списка источников выделяется изотоп и его линия, которая имеется в открытом активном спектре, например Cs^{137} и его линия 661.66 кэВ, нажимается кнопка «добавить линию в список калибровочных», линия автоматически определяется на спектре, аппроксимируется Гауссом, рассчитываются параметры аппроксимации, которые сравниваются с имеющимися характеристиками данного источника. Не закрывая окна полной калибровки можно загрузить другой спектр с нужными линиями и продолжить процесс калибровки, дополняя список точек.

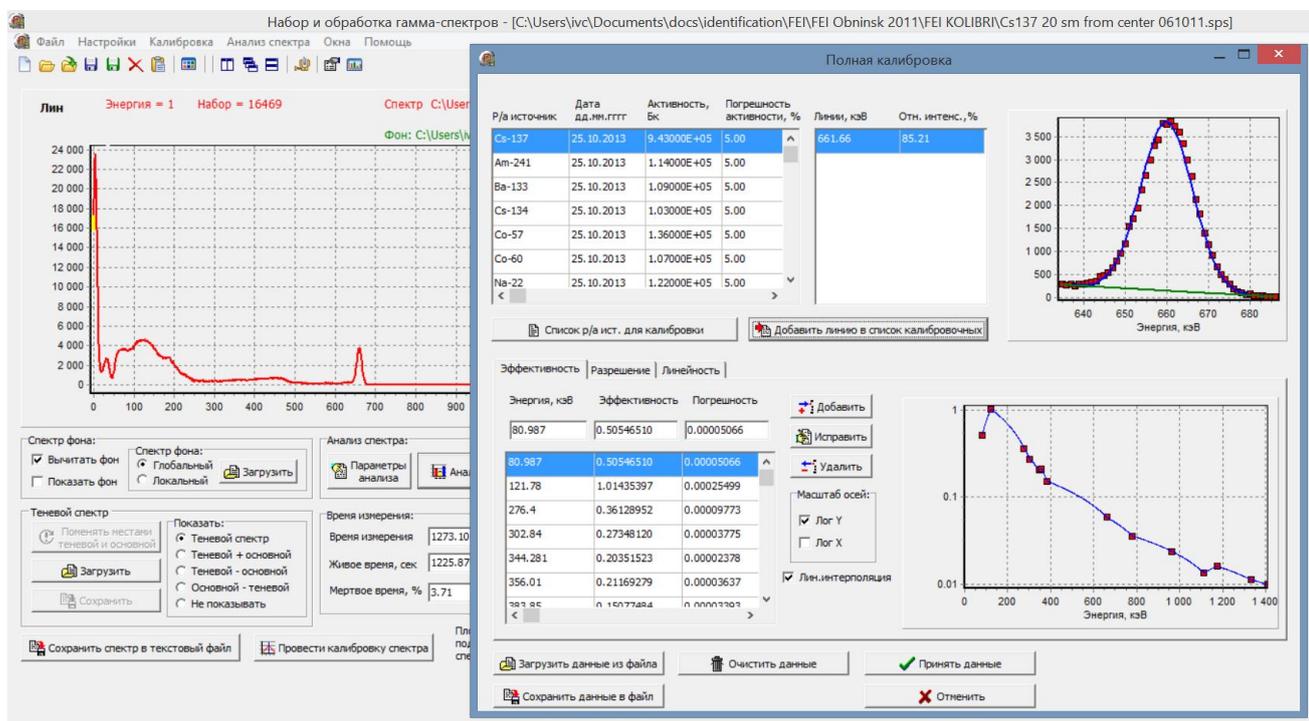


Рис. 1.69. Полная калибровка детектора.

Рассчитанные значения величин можно исправлять, добавлять или удалять из списка соответствующими кнопками. Графики можно прорисовывать как в линейных, так и в логарифмических осях, а также линейно интерполировать. Полученные данные можно сохранять в файл (по умолчанию OSGI.eff), загружать из файла, удалять списком. По окончании калибровки нажатием на кнопку «Принять данные» полученные кривые передаются в ПО для дальнейшего использования в анализе спектров.

1.4 НАБОР СПЕКТРА ОТ РЯМ.

1.4.1 Команда «Набрать новый спектр».

Для активизации функции набора спектра необходимо вызвать команду «Набрать новый спектр» через раздел «Файл» главного меню или соответствующую кнопку панели инструментов (Рис. 1.70).

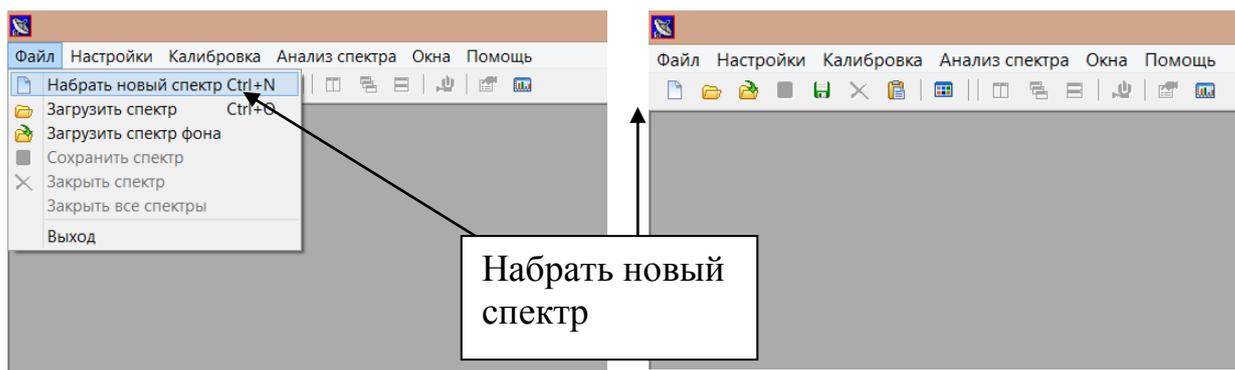


Рис. 1.70. Варианты вызова команды «Набрать новый спектр».

Открывается дочернее окно, предназначенное для набора гамма-спектра от РЯМ (Рис. 1.71) с помощью КГД. Перед началом набора необходимо выбрать интерфейс передачи данных с детектора в компьютер.

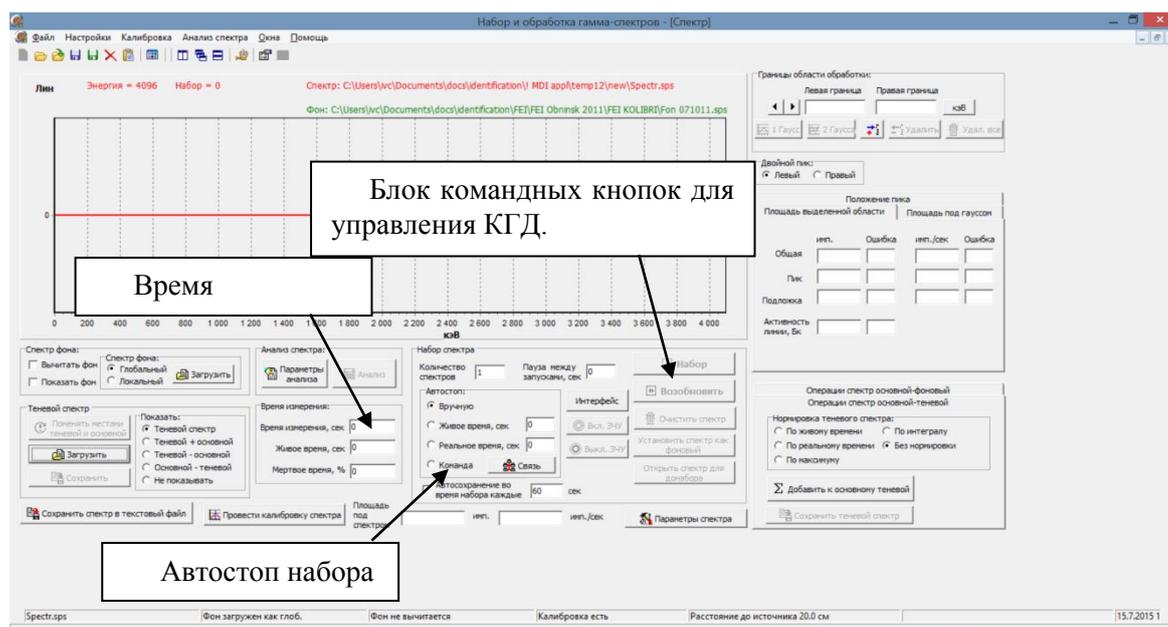


Рис. 1.71. Окно для набора гамма-спектра.

Нажатием на кнопку «Интерфейс» вызывается окно «Выбор порта для передачи данных» (Рис. 1.72), которое позволяет выбрать USB или COM-порт для подключения детектора.

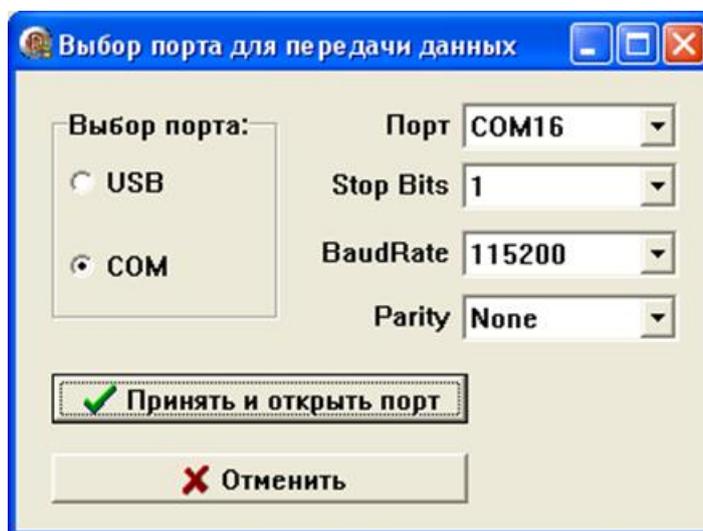


Рис. 1.72. Окно выбора порта для передачи данных.

Если соединение доступно, то порт открывается для обмена информацией с КГД. Если соединение не установлено, то выдается соответствующее сообщение о его отсутствии. В случае успешного соединения с КГД кнопка «Набор» становится активной для нажатия (Рис. 1.73).

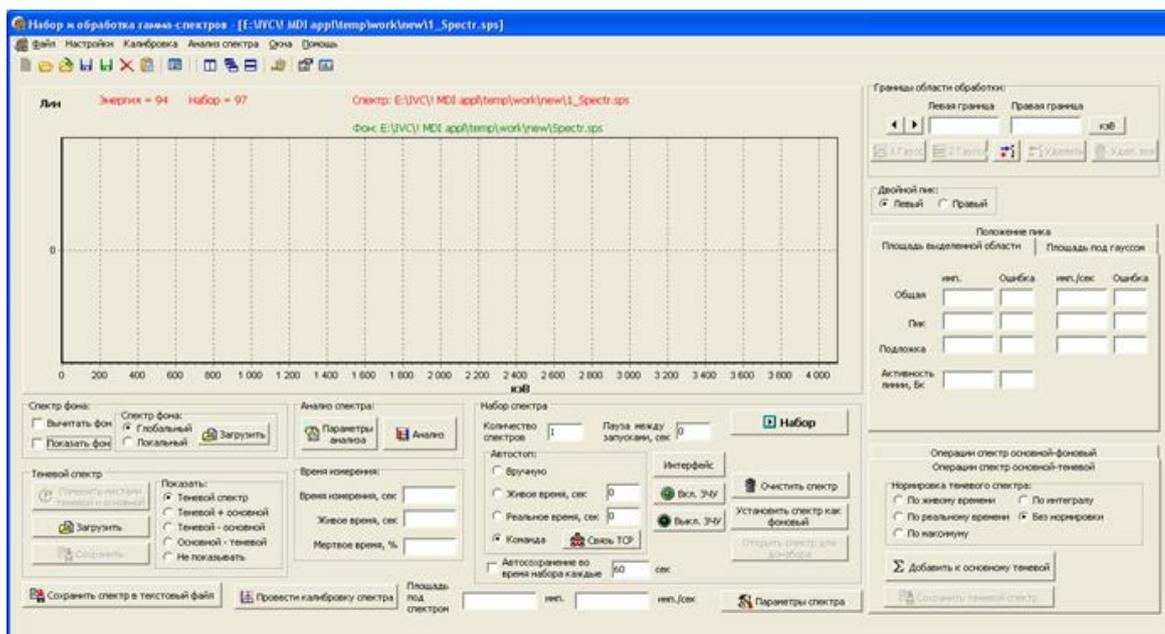


Рис. 1.73. Окно набора спектра с подключенным интерфейсом передачи данных.

Для управления набором спектра с КГД используются следующие команды (блок команд на Рис. 1.71):

«Набор» – начать набор нового спектра с очисткой всех данных от предыдущего набранного спектра,

«Стоп» – остановить набора,

«Пауза – приостановить набор,

«Возобновить» – возобновить (продолжить) набор после приостановки,

«Очистить спектр» – обнулить набираемый спектр и все связанные с ним данные (время измерения, площадь под спектром),

«Открыть спектр для донатора» – позволяет загрузить имеющийся спектр из файла с помощью стандартного диалогового окна и продолжить его набор,

«Установить спектр как фоновый» – команда активна только при остановленном наборе и позволяет объявить набранный спектр как спектр фона и при дальнейшей работе использовать его как фоновый. Все операции, существующие для фоновых спектров, будут к нему применимы. Спектр автоматически устанавливается как фоновый глобальный или фоновый

локальный в зависимости от положения переключателя «Глобальный/Локальный».

Переключатель «Автосохранение во время набора» позволяет автоматически сохранять набираемый спектр в файл в формате srs через каждый указанный пользователем промежуток времени в секундах. Файл сохраняется в текущую директорию и перезаписывается.

Время набора спектра – полное время измерения, живое (в секундах) и мертвое (в %) - указывается в соответствующем информационном блоке (Рис. 1.71).

Переключатель «Автостоп» позволяет выбирать варианты останова набора: вручную, по заданному реальному или живому времени и по командам, передаваемым от внешнего Socket-клиента. В последнем варианте ПО работает в режиме Socket-сервер. Также можно задавать время ожидания перед началом набора следующего в серии спектра. Количество спектров в автоматически набираемой серии указывается в соответствующем поле.

В режиме работы по командам необходимо установить связь Socket сервер-клиент. Для этого нажатием на кнопку «Связь» вызывается окно «Сервер-клиент» (Рис. 1.74), где можно выбрать адрес хоста и порт, через которые будет происходить связь сервер-клиент и передача команд. Соответственно должен быть запущен внешний клиент по тому же адресу. Список использованных адресов сохраняется в файле SocketData.soc и загружается при запуске ПО.

Рис. 1.75 демонстрирует установленное подключение сервер-клиент по адресу 127.0.0.1, порт 49519. Доступны следующие команды управления КГД:

- kgd01 – начало набора,
- kgd02 – остановка набора,
- kgd03 – запрос результата анализа набранного спектра по превышению полной активности заранее заданной пороговой величины (значение порога

задается в окне «Параметры анализа» Рис. 1.56). Ответ посылается автоматически.

- kgd04:xxx – задание времени набора, где xxx - время набора в миллисекундах.

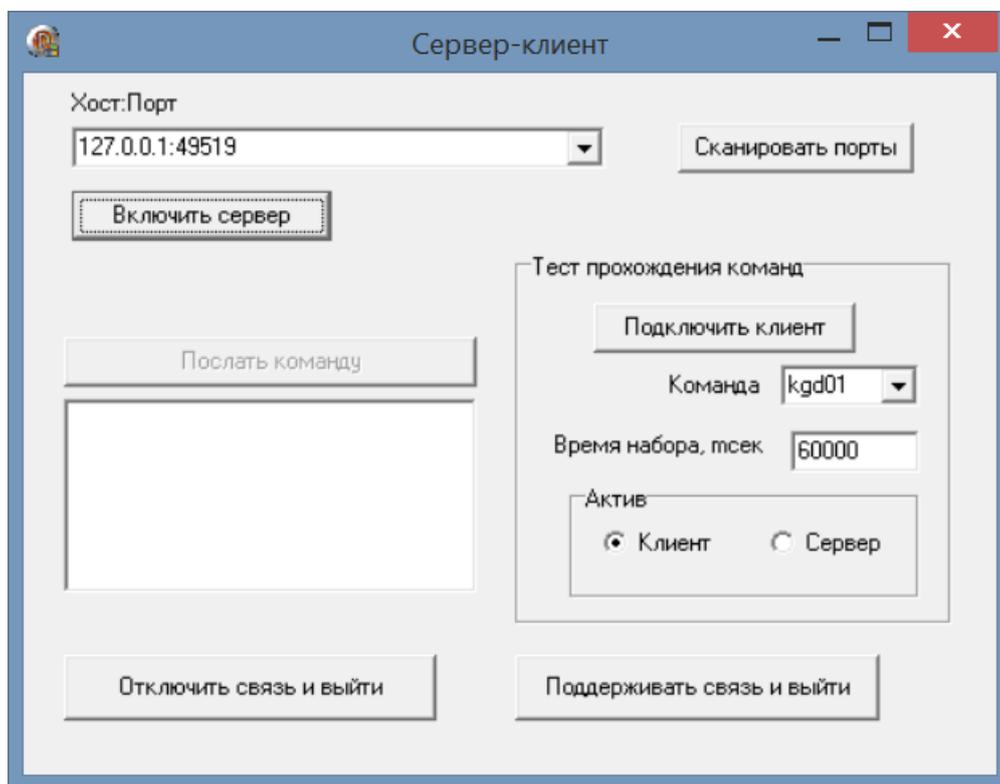


Рис. 1.74. Окно связи через Socket сервер-клиент. Ожидание подключения.

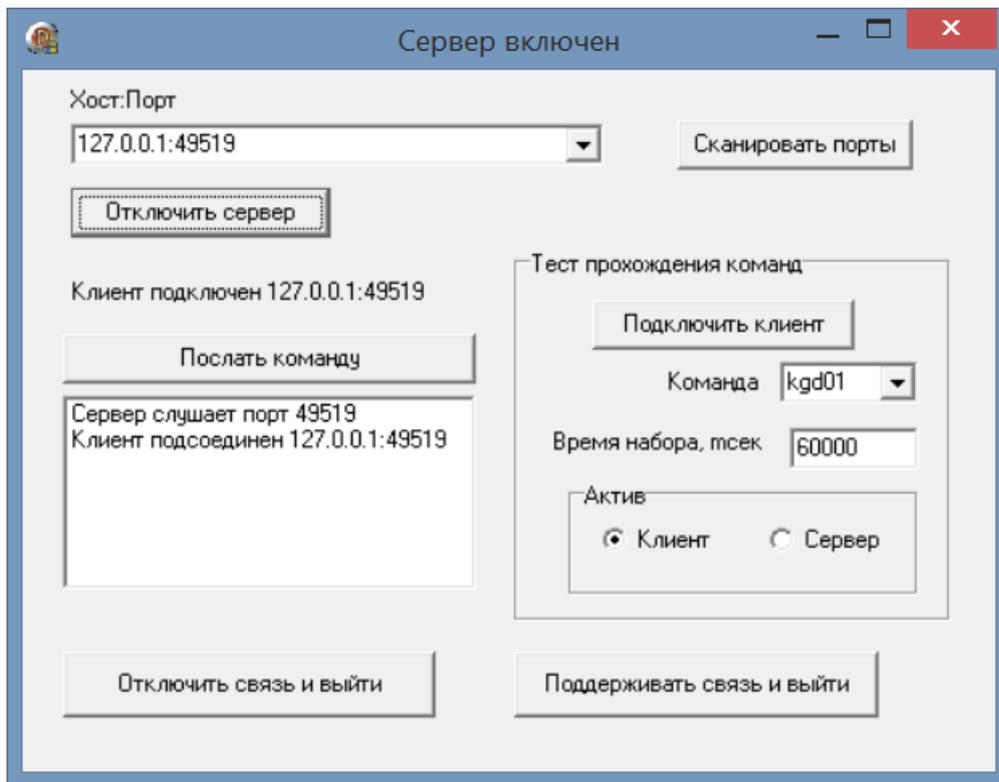


Рис. 1.75. Окно связи через Socket сервер-клиент. Сервер включен, клиент подсоединен к серверу.

Команда «Параметры спектра» открывает окно, содержащее информацию о набираемом спектре. Окно содержит три вкладки: первая «Заголовок спектра» (Рис. 1.76) позволяет пользователю ввести имя спектра и комментарии к набору, вторая «Тип РИ» - позволяет вводить данные о типе радиоактивного источника (подробнее см. п.1.3.2) (Рис. 1.77), третья «Настройки набора» (Рис. 1.78) дает возможность послать в блок цифровой электроники КГД команды на запись порогов детектирования и режекции и времени интегрирования сигнала (данные команды позволяют оптимизировать набор в условиях различных загрузок КГД), а также включить и выключить зарядочувствительный усилитель детектора.

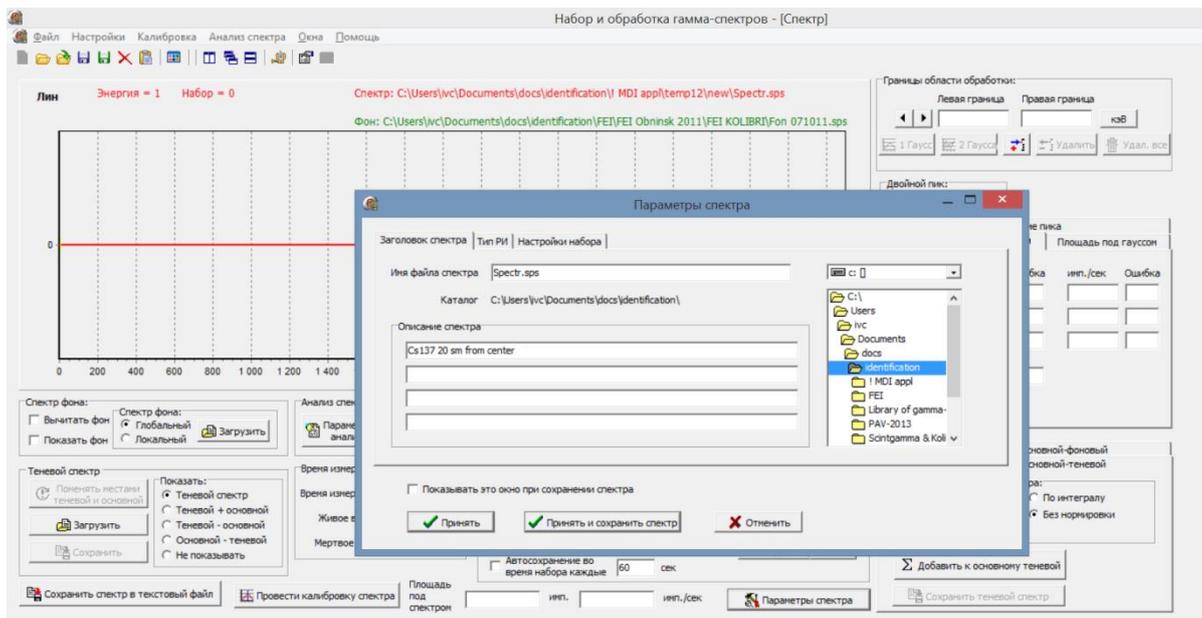


Рис. 1.76. Окно «Параметры спектра». Вкладка «Заголовок спектра».

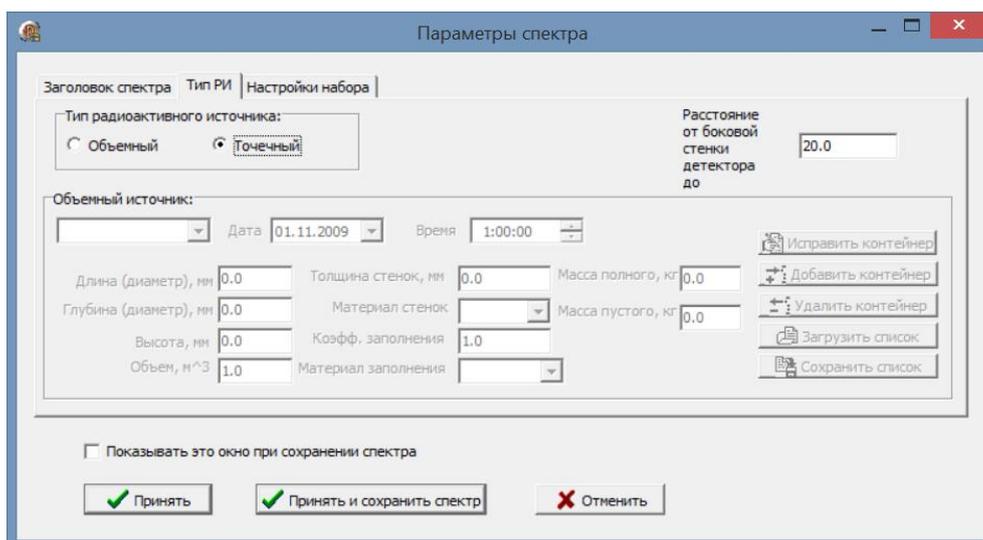


Рис. 1.77. Окно «Параметры спектра». Вкладка «Тип РИ».

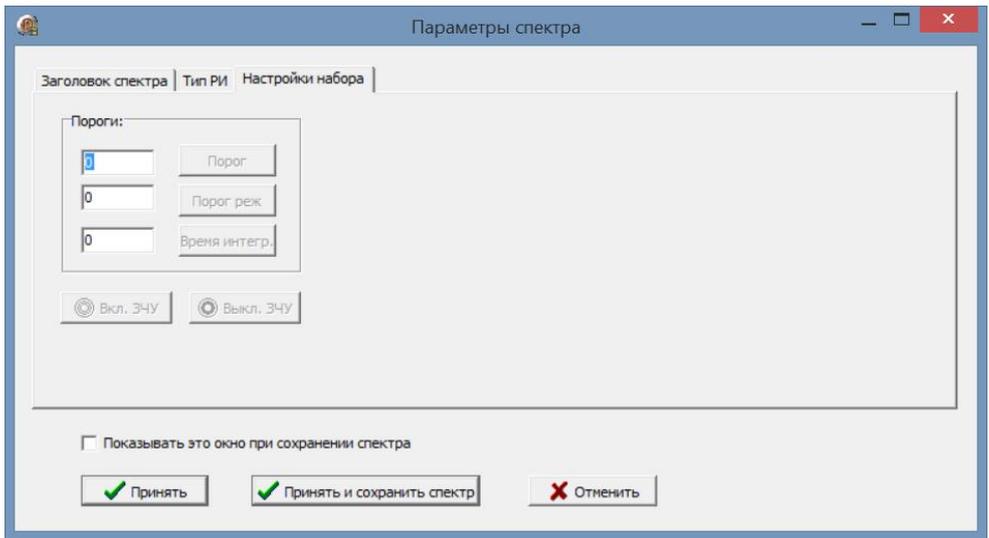


Рис. 1.78. Окно «Параметры спектра». Вкладка «Настройки набора».

Рис. 1.79 демонстрирует процесс набора спектра. Активны кнопки команд «Стоп» и «Пауза». Спектр может автоматически сохраняться в файл через промежутки времени, указанные пользователем в опции «Автосохранение во время набора». Время набора в режиме on-line прописывается в соответствующем информационном блоке.

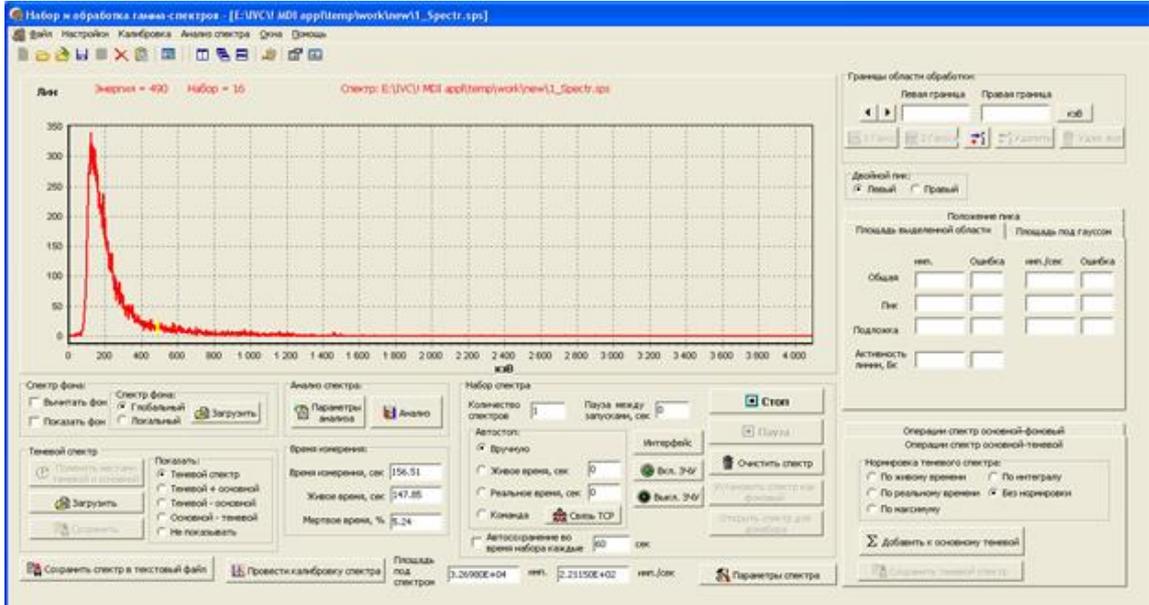


Рис. 1.79. Процесс набора спектра. Спектр набирается по команде «Набор».

В процессе набора существует возможность изменять масштаб оси X или Y. По клику левой кнопки мыши непосредственно на ось X или Y вызывается окно, в котором можно ввести значения минимума, максимума или указать автоматическое масштабирование.

1.4.2 Обработка спектра во время набора.

В процессе набора спектра существует возможность проводить on-line обработку имеющихся пиков для контроля за их характеристиками, такими как энергетическое разрешение, положение и высота пика, площадь под пиком. Обработка проводится следующим образом. Необходимо подвести курсор в то место спектра, которое нужно обработать, нажать правую кнопку мыши и во всплывающем меню выбрать команду – «Установить границы», «Аппроксимировать Гауссом», «Удалить границы». Аппроксимировать Гауссом можно один пик или два сразу.

По команде «Установить границы» программа автоматически определяет область обработки фиксированной ширины в каналах (в кэВ) и устанавливает ее границы, указывая их на графике зелеными вертикальными прерывистыми линиями слева и справа от курсора. Положения границ можно корректировать, ухватив их курсором и нажав на левую кнопку мыши. Чтобы аппроксимировать указанную область Гауссом и рассчитать характеристики пика, можно использовать кнопки «1 Гаусс» или «2 Гаусс» на информационной панели «Границы области обработки», расположенной справа от графика со спектром. Также доступны команды «Вставить область», «Удалить область», «Удалить все области». Если областей обработки выставлено больше одной, то переключение между ними возможно нажатием на стрелки «Влево/Вправо» на информационной панели «Границы области обработки» или нажатием левой кнопки мыши непосредственно на интересующую область на графике. Границы активной области изображаются зеленым цветом, неактивных – черным.

По команде «Аппроксимировать Гауссом» программа автоматически определяет область обработки фиксированной ширины в каналах (в кэВ) и устанавливает ее границы, указывая их на графике зелеными вертикальными прерывистыми линиями слева и справа от курсора, затем происходит поиск пика и аппроксимация его по Гауссу. Данная обработка позволяет наиболее точно определить полную ширину на полувысоте (ПШПВ) пика, его положение и высоту, рассчитать подложку и площадь (т.е. количество событий) под пиком. Рассчитанная аппроксимация пика по Гауссу изображается на спектре синим цветом. Полученные значения характеристик пика заносятся в соответствующие информационные поля на панели справа от графика. Информационная панель показывает границы областей обработки, положение пика, площадь под пиком и площадь выделенной области.

В процессе набора обработка и перерасчет характеристик пика происходят в on-line режиме по мере накопления спектра.

По команде «Удалить все границы» все выставленные области обработки удаляются.

1.4.3 Набор спектра фона.

Процедура набора спектра фона заключается в следующем. Сначала в течение необходимого времени производим набор спектра. Набираемый спектр прорисовывается красным цветом. Время набора контролируется в информационном блоке «Время измерения».

Когда спектр набран, останавливаем набор, при этом кнопка «Указать спектр как фоновый» становится активна для нажатия. Нажимаем кнопку «Указать спектр как фоновый». Спектр автоматически переводится в разряд фоновых (в данном случае он становится глобальным в соответствии с переключателем Глобальный/Локальный на панели «Спектр фона») и

прорисовывается зеленым цветом. Спектр фона может быть сохранен как фон в файл.

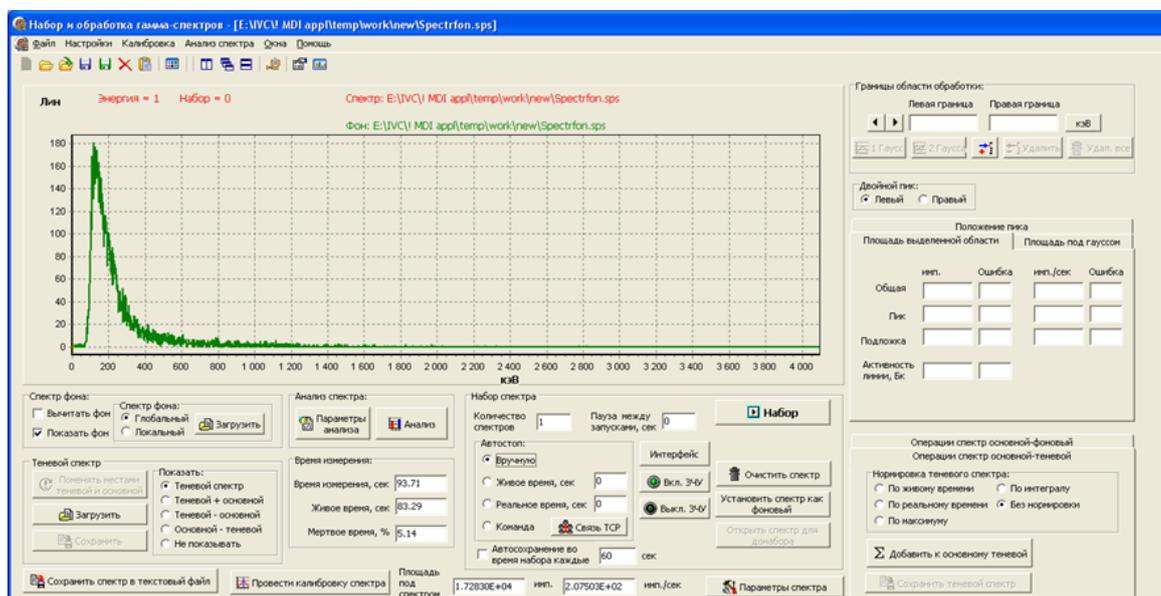


Рис. 1.80. Набранный спектр указан как спектр фона и изображен зеленым цветом.

Далее можно продолжить набор спектров.

1.4.4 Энергетическая калибровка во время набора.

Во время набора можно провести энергетическую калибровку спектров. Нажатие на кнопку «Провести калибровку спектра» открывает окно «Калибровка». Для этого необходимо ввести значения соответствия канал-энергия для двух пиков, указать спектры, подлежащие калибровке (основной, фоновый и/или теневой) и нажать кнопку «Калибровать». Параметры калибровки можно загрузить из файла или сохранить в файл.

После калибровки набираемый спектр можно прорисовывать в кэВ, нажав на активную подпись Канал/кэВ на оси X.

Если во время набора после калибровки указана область обработки, то спектр внутри области будет автоматически обрабатываться, а рассчитанные характеристики пика выводиться в энергетических единицах.

Набранный спектр можно сохранять в файл в формате sps.

1.5 ПОРЯДОК РАБОТЫ ПО ДЛН НАБОРА СПЕКТРОВ В РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ СВЯЗЬ SOCKET СЕРВЕР-КЛИЕНТ.

1. Загрузить ПО.
2. Открыть окно «Набор нового спектра».
3. Выбрать интерфейс передачи данных кнопкой «Интерфейс».
4. Включить ЗЧУ.

5. Убедиться, что параметры линейной калибровки по энергиям имеют нужные значения и в окне калибровки включен указатель основной калибровки. Если в рабочей директории есть необходимый файл Calibrovca.cal, то параметры загружаются автоматически. Если его нет, то необходимо в ручном режиме набрать спектр, откалибровать его по энергиям, установить готовую калибровку как основную и сохранить ее в файл Calibrovca.cal. Без калибровки анализ спектров проводиться не будет.

6. В окне «Параметры спектра» выставить необходимые параметры, такие как имя спектра, комментарии, тип источника, расстояние от детектора до источника.

7. В окне «Библиотека нуклидов» составить необходимый рабочий список нуклидов, по которому будет проводиться анализ спектра, и список изотопов для полной калибровки.

8. В окне «Полная калибровка» убедиться, что присутствуют кривые эффективности и разрешения в полном диапазоне энергий детектора. Если полной калибровки нет, то провести ее, сохранить результаты в файл OSGI.eff и принять данные.

9. В окне «Параметры анализа» выставить необходимый диапазон анализа в кэВ, выбрать метод анализа, указать порог активности, по которому будет оцениваться состояние измеряемого образца (если выбрано превышение над фоном, то фоновый спектр должен быть загружен, иначе сравнение будет проводиться по уровню активности, которое по-умолчанию

равно 0. Сравнение по превышению над уровнем активности в Бк может проводиться и в отсутствии фонового спектра).

10. Набрать спектр фона (или загрузить готовый) и установить его как глобальный. Убедиться, что он откалиброван.

11. В окне набора выставить указатель автостопа «Команда».

12. Нажатием на кнопку «Связь» вызвать окно «Сервер-клиент», выбрать нужный адрес хоста и порт, включить сервер. На внешней программе управления включить клиент по такому же адресу и порту. Убедиться, что связь установлена, что будет показано в соответствующих полях окна «Сервер-клиент».

13. С внешнего клиента послать команду набора kgd01. Можно заранее установить время набора, по которому будет автоматически происходить остановка набора и анализ спектра, посыл командой kgd04:xxx, где xxx – время в миллисекундах. По умолчанию время набора установлено 60 сек.

14. По достижению желаемого результата набора остановить набор, посыл с внешнего клиента команду остановки kgd02. Набор остановится и будет автоматически проведен анализ спектра на изотопный состав по рабочему списку нуклидов. Спектр будет сохранен в файл с указанным заранее именем (по умолчанию имя спектра x_Spectr.sps, где x – номер по порядку спектра, набираемого по команде набор).

15. Результаты анализа будут записаны в файл формата html с именем спектра и расширением *.html.

16. Команда с внешнего клиента kgd03 запрашивает результаты анализа. Если полная активность по спектру превышает указанный порог активности, то ПО посылает ответ “bad”, если не превышает - “good”, если ответ не готов - “work”.

17. Набор спектра можно остановить вручную кнопкой «Стоп», не дожидаясь прихода команды остановки.

1.6 ПОРЯДОК РАБОТЫ ПО ДЛЯ НАБОРА СПЕКТРОВ В РЕЖИМЕ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ.

Подготовка к работе и порядок работы ПО в режиме ручного управления аналогичен, как и в режиме работы по командам, только набор, остановка и анализ производятся соответствующими кнопками, расположенными на блоке команд набора спектра.

2 ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

ФОРМАТ ФАЙЛА СПЕКТРА *.SPS.

Двоичный формат файла спектра sps состоит из заголовка размером 1024 байта и данных каналов (Таблица 2.1).

Условные обозначения чисел:

INTEGER1 - однобайтовое целое;

INTEGER2 - двухбайтовое целое;

INTEGER4 - четырехбайтовое целое;

FLOAT4- четырехбайтовое вещественное.

FLOAT8- восьмибайтовое вещественное.

STRPAS – строка Паскалевского тапа, первый байт – количество символов в строке, затем сами символы строки.

Таблица 2.1. Формат файла спектра *.SPS:

Адрес	Размер	Данные
0	2	количество каналов в спектре (INTEGER2)
2	65	1-ая строка описания спектра (STRPAS)
67	65	2-ая строка описания спектра (STRPAS)
132	65	3-я строка описания спектра (STRPAS)
197	65	4-ая строка описания спектра (STRPAS)
262	12	дата отбора пробы (контейнера): год, месяц, день, час, минута, секунда (INTEGER2)
274	12	дата начала набора спектра: год, месяц, день, час, минута, секунда (INTEGER2)
286	4	вес пробы (контейнера) (FLOAT4)

290	4	объем пробы (контейнера) (FLOAT4)
294	4	зарезервировано (FLOAT4)
298	1	единица измерения веса (INTEGER1): 0 – мкг, 1 - мг, 2 - г, 3 – кг (используется только 3)
299	1	единица измерения объема (INTEGER1): 1 - мм ³ , 2 - см ³ , 3 - л (литр), 4 - м ³ (используется только 4)
300	1	зарезервировано (INTEGER1)
301	4	живое время в секундах (INTEGER4)
305	4	реальное время в секундах (INTEGER4)
309	4	зарезервировано (INTEGER4)
313	4	зарезервировано (INTEGER4)
317	4	зарезервировано (FLOAT4)
321	4	коэффициент заполнения контейнера (FLOAT4)
325	4	зарезервировано (FLOAT4)
329	1	зарезервировано (INTEGER1)
330	4	зарезервировано (FLOAT4)
334	4	зарезервировано (INTEGER4)
338	4	зарезервировано (INTEGER4)
342	4	расстояние от пробы до края детектора [см] (FLOAT4)
346	2	зарезервировано (INTEGER2)
348	4	зарезервировано (FLOAT4)
352	4	зарезервировано (FLOAT4)
356	4	коэффициент А энергетической калибровки (FLOAT4), энергия =An+B

360	4	коэффициент В энергетической калибровки (FLOAT4), энергия = A_n+B
364	22	наименование контейнера (STRPAS)
386	1	зарезервировано (INTEGER1)
387	1	зарезервировано (INTEGER1)
388	26	материал стенок контейнера (STRPAS)
414	25	материал наполнения контейнера (STRPAS)
439	1	зарезервировано (INTEGER1)
440	4	коэффициент А энергетической калибровки (FLOAT4), энергия = A_n+B
444	4	коэффициент В энергетической калибровки (FLOAT4), энергия = A_n+B
448	8	живое время, с (FLOAT8)
456	8	реальное время с, погрешность не более 0.001 с (FLOAT8)
464	4	длина контейнера, мм (FLOAT4)
468	4	ширина контейнера, мм (FLOAT4)
472	4	высота контейнера, мм (FLOAT4)
476	4	толщина стенок контейнера, мм (FLOAT4)
480	4	масса полного контейнера, кг (FLOAT4)
484	4	масса пустого контейнера, кг (FLOAT4)
488	4	порог детектирования сигнала (INTEGER4)
492	4	порог режекции сигнала (INTEGER4)
496	4	время интегрирования сигнала (INTEGER4)
499	1	тип радиоактивного источника

		(INTEGER1): 0 – объемный источник, 1 – точечный источник.
500	523	зарезервировано
1024	4	данные каналов (INTEGER4)
...
4092	4	данные каналов (INTEGER4)

3 ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

СГЛАЖИВАНИЕ ГАММА-СПЕКТРА.

Важнейшей операцией, необходимой при обработке гамма-спектров является их сглаживание, чтобы уменьшить влияние случайных выбросов в спектре и более четкого выделения реальных гамма-линий.

Эффективное сглаживание данных можно осуществить при помощи фильтров, использующих взвешенное среднее. Веса можно выбрать так, чтобы аппроксимировать данные многочленом второй степени. Этот метод сглаживания называется фильтрацией по Савицкому-Голею.

При ширине фильтра (число данных, используемых для усреднения) $2m+1$ точек средние значения равны:

$$y'_k = \frac{1}{NORM} \sum_{j=-m}^{j=m} c_j y_k + j \quad (3.1)$$

Весовые коэффициенты C_j для фильтров различной ширины табулированы. Значение NORM равно сумме всех величин $C_j \cdot [i]$

Фильтр Савицкого-Голея относится к числу стандартных методов цифровой обработки сигналов. При фильтрации новые значения вычисляются путём полиномиальной аппроксимации значений сигнала по скользящему симметричному окну.

Эффективность сглаживания этого метода представлена на Рис. 3.1.

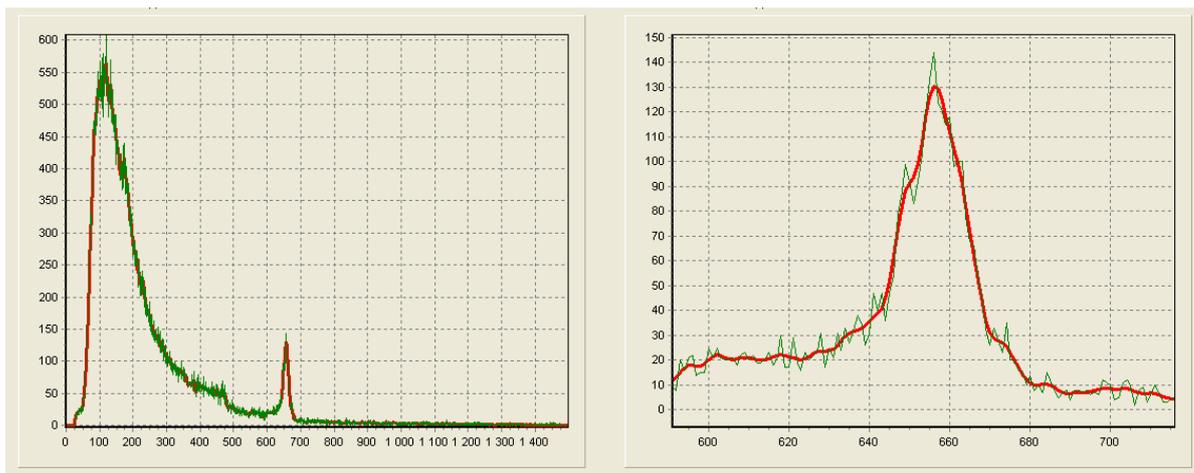


Рис. 3.1. Сглаживание Савицкого – Голя по 7 точкам для полученного спектра ^{137}Cs (зеленая линия - первоначальный спектр, красная линия – сглаженный спектр).

4 ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ.

Процесс регистрации гамма-спектра детектором можно описать с помощью уравнения Фредгольма первого рода:

$$\int_0^{\infty} K(x, y) \cdot Z(y) dy = f(x), \quad (4.1)$$

где $K(x, y)$ – ядро интегрального уравнения – совокупность приборных функций детектора (отклик детектора на поток моноэнергетического гамма-излучения), $Z(y)$ – распределение падающего излучения по энергии, $f(x)$ – спектр, получаемый при регистрации. Нахождение функции $f(x)$ по известным $K(x, y)$ и $Z(y)$ (решение прямой задачи) представляется интересным с точки зрения сравнения спектра, полученного при регистрации гамма-излучения, с расчетным спектром (проверка правильности определения приборных функций). Решение же обратной задачи (нахождение функции $Z(y)$ по известным $K(x, y)$ и $f(x)$) представляет интерес с позиции идентификации радиоактивного вещества (восстановление спектра гамма-излучения, падающего на детектор).

Для решения прямой и обратной задачи необходимо создать ядро интегрального уравнения $K(x, y)$, которое представляет собой совокупность приборных функций (функции отклика детектора) детектора во всем диапазоне энергий. Так как детектор регистрирует гамма-кванты в широком диапазоне энергий, функция отклика прибора состоит из большого числа функций. Например, если существует возможность программно смоделировать спектр по регистрации гамма-квантов с энергией до 2 МэВ, то функция отклика представляет собой матрицу 2000×2000 чисел (возможно расширение матрицы в зависимости от свойств прибора). Аналитически

решить такое уравнение трудно, поэтому используются различные численные методы [ii].

Запишем уравнение (4.1) в виде системы линейных уравнений n -ного порядка, где n – число каналов в приборе:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n K(x_1, y_k) \cdot Z(y_k) \cdot \Delta y_k = f(x_1) \\ \dots \\ \sum_{k=1}^n K(x_n, y_k) \cdot Z(y_k) \cdot \Delta y_k = f(x_n) \end{cases} .$$

Введем замену:

$$\begin{aligned} K(x_1, y_k) &= a_{1k}, \\ Z(y_k) \cdot \Delta y_k &= X_k, \\ f(x_n) &= C_n \end{aligned}$$

тогда получим систему уравнений в более удобном виде:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n a_{1k} \cdot x_k = C_1 \\ \dots \\ \sum_{k=1}^n a_{ik} \cdot x_k = C_i, \\ \dots \\ \sum_{k=1}^n a_{nk} \cdot x_k = C_n \end{cases} , \quad (4.2)$$

где i – номер канала в приборе, x_i – искомый спектр гамма-квантов, просуммированный внутри канала i , C_i – темп счета i -того канала. Коэффициенты a_{ik} , каждый из которых есть отклик прибора на моноэнергетический поток гамма-квантов, образуют матрицу приборных функций. Для решения уравнения Фредгольма первого рода (4.1) существуют различные методы. Но так как функция отклика представляет собой матрицу 2000×2000 чисел, и аналитически решить такое уравнение трудно, используются численные методы решения интегральных уравнений.

Рассмотрим систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [iii, iv]

$$A \cdot \bar{x} = \bar{C}, \quad (4.3)$$

где A – матрица, $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – искомый вектор, $\bar{C} = (C_1, C_2, \dots, C_n)^T$ – заданный вектор. Будем предполагать, что определитель матрицы отличен от нуля, т.е. решение системы (4.3) существует.

Методы численного решения системы (4.3) делятся на две группы: прямые методы («точные») и итерационные методы.

Запишем систему $A \cdot \bar{x} = \bar{C}$ в развернутом виде:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 + \dots + a_{1,n-1} \cdot x_{n-1} + a_{1n} \cdot x_n = C_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 + \dots + a_{2,n-1} \cdot x_{n-1} + a_{2n} \cdot x_n = C_2 \\ \dots \\ a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + a_{i3} \cdot x_3 + \dots + a_{i,n-1} \cdot x_{n-1} + a_{in} \cdot x_n = C_i \\ \dots \\ a_{n-1,1} \cdot x_1 + a_{n-1,2} \cdot x_2 + a_{n-1,3} \cdot x_3 + \dots + a_{n-1,n-1} \cdot x_{n-1} + a_{n-1,n} \cdot x_n = C_{n-1} \\ a_{n,1} \cdot x_1 + a_{n,2} \cdot x_2 + a_{n,3} \cdot x_3 + \dots + a_{n,n-1} \cdot x_{n-1} + a_{nn} \cdot x_n = C_n \end{cases} \quad (4.4)$$

Для решения этой задачи используются итерационные методы Richardson-Lucy [v], Gold, MAP, а также методы на основе алгоритма Гаусса.

Метод Richardson-Lucy основывается на решении задачи с помощью вероятностного подхода. Для этого применяется теорема Байеса, позволяющая найти условную вероятность:

$$P(x|y) = \frac{P(y|x) \cdot P(x)}{P(y)}$$

y_i – экспериментальный спектр, соответствующий вероятности зарегистрировать гамма-квант в i канале. x_j – спектр источника, который требуется найти. Зная вероятности $P(y_i/x_j)$, т.е. k_{ij} – элементы матрицы приборных функций, зарегистрировать гамма-квант от источника с энергией j , в экспериментальном спектре в канале i , и, воспользовавшись теоремой Байеса, можно итерационным методом найти x_i :

$$x_i^{n+1} = x_i^n \cdot \sum_j \frac{k_{ji} \cdot y_j}{\sum_m k_{jm} \cdot x_m}$$

x_i^0 – начальное приближение можно взять равным y_i экспериментальному спектру.

Метод Gold основан на решении интегрального уравнения релаксационным итерационным методом:

$$x^{n+1} = x^n + \mu \cdot (K^T \cdot y - K^T K \cdot x^n)$$

где μ – фактор релаксации и для алгоритма Gold он равен:

$$\mu_i = \frac{x_i^n}{\sum_m K^T K \cdot x_m^n}$$

В итоге итерационная формула становится равной:

$$x_i^{n+1} = x_i^n \cdot \sum_j \frac{k_{ji} \cdot y_j}{\sum_m \sum_l k_{lj} \cdot k_{lm} \cdot x_m}$$

Метод Maximum A Posteriori estimation (MAP) также как и метод Richardson-Lucy основывается теореме Байеса. Этот метод предполагает максимизацию вероятности $P(x/y)$:

$$\max_x P(x|y) = \max_x \frac{P(y|x) \cdot P(x)}{P(y)}$$

Используя данный подход можно получить итерационную формулу для метода MAP:

$$x_i^{n+1} = x_i^n \cdot \exp \left(\sum_j k_{ji} \left[\frac{y_j}{\sum_m k_{jm} \cdot x_m} - 1 \right] \right)$$

Итерационные методы имеют некоторые недостатки: невозможность получения дельта функций пиков, при малой статистике в спектре происходит раскачка решения. Альтернативой могут служить методы, построенные на решении систем алгебраических уравнений, например, метод Гаусса, Гаусса-Зейделя и т.д. Они значительно ускоряют нахождение решения, что критически важно в тех прикладных областях, где время,

отведенное на анализ время ограничено, например, контроль багажа и пассажиропотока на транспорте.

В качестве альтернативы итерационным методам и для ускорения процесса восстановления экспериментальных спектров в ПО применяется алгоритм, основанный на решении системы (4.4) методом Гаусса, использующий обратный ход вышеуказанного метода и позволяющий найти каждый элемент x_i :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_n = \frac{y_n}{k_{nn}} \\ x_{n-1} = \frac{y_{n-1} - k_{n-1,n} \cdot x_n}{k_{n-1,n-1}} \\ \dots \\ x_1 = \frac{y_1 - \sum_{j=2}^n k_{1j} \cdot x_j}{k_{11}} \end{array} \right.$$

Такой подход применим благодаря тому свойству, что матрица приборных функций является треугольной, в результате чего система линейных уравнений не требует предварительного приведения к треугольной форме. Так как восстановленный спектр не может содержать отрицательные решения, то все значения x_i меньше нуля обнуляются. Для того чтобы получить решение, используя данный алгоритм, требуется одна итерация. Это значительно ускоряет нахождение решения, что критически важно в областях, где необходимо получить результат за короткое время.

[i] Savitzky A., Golay M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squared procedure. // Analytical chemistry, V.36. 1964. P. 1627.

[ii] А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин “Методы решения некорректных задач”, “Наука”, 1979 г.

[iii] Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов.—М.: Наука, 1989 г.

[iv] Бахвалов Н.С. Численные методы. – М.: Наука, 1975 г.

[v] Jandel M., Morháč M., Kliman J. Decomposition of continuum gamma-ray spectra using synthesized response matrix // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, V. 516. 2004. P. 172-183