

УДК 539.31:550.8

*С. В. Белов*

*ООО «Предприятие ФХС-ПНГ»*

*Ю. В. Бельшев*

*Уральский государственный горный университет*

*С.Л. Гладкий*

*Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет*

*А. В. Шумилов*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет*

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ**

### **СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ ГАММА-ГАММА КАРОТАЖА**

Разработан программный комплекс REGIONS Gamma-Gamma для моделирования распределения гамма-квантов в сплошных средах методом Монте-Карло. Программа имеет визуальный интерфейс препроцессинга для моделирования геометрии трехмерных тел, а также узкоспециализированный высокоскоростной решатель. Одной из возможных областей применения программы является моделирование энергетических спектров в приборах гамма-гамма каротажа. Параметризация геометрической модели позволяет исследовать зависимость спектров гамма-квантов от различных параметров приборов, таких как расстояние между источником и приемником, децентрация прибора и др.

*Ключевые слова: гамма-гамма каротаж, метод Монте-Карло, математическое моделирование, программный комплекс.*

## Введение

Метод статистических испытаний Монте-Карло является основным методом моделирования взаимодействия элементарных частиц, в том числе и гамма-квантов, с веществом [1]. Существует множество пакетов программ, как свободно распространяемых, так и платных, реализующих данный метод моделирования. Все существующие программные средства можно разделить на универсальные, реализующие множество взаимодействий и типов частиц, и узкоспециализированные, предназначенные для моделирования поведения определенного типа частиц.

Универсальные пакеты разрабатываются, как правило, большими научно-исследовательскими институтами. Наиболее известными универсальными пакетами в данной области являются GEANT4 и MCNP, разработанные CERN и Los Alamos National Laboratory соответственно. Первая является свободно распространяемой программой, вторая является платной для коммерческого использования.

Недостатком применения данных пакетов для моделирования спектра приборов гамма-гамма каротажа является их сложность в использовании и отсутствие удобных средств постпроцессинга (обработки полученных результатов). Например, пакет GEANT4 является, по сути, набором библиотек, и решение каждой задачи заключается в написании отдельной программы с использованием данных библиотек. Такой процесс решения требует от пользователя навыков программиста, а также знаний в области физики элементарных частиц. Использование универсальных пакетов, например,

разработчиками приборов гамма-гамма каротажа для моделирования спектров, является неприемлемым из-за больших затрат и трудоемкости.

Существуют так же узкоспециализированные программы, разрабатываемые обычно отдельными группами или программистами, предназначенные для моделирования определенного типа взаимодействия, например, взаимодействия гамма-квантов со сплошными средами. Одной из таких программ является программа GAMMON, разработанная Бельшевым Ю.В. [2]. Данная программа предназначена для моделирования пространственно-энергетического распределения гамма-квантов в природных средах. В программе учитываются три вида взаимодействия гамма-квантов с веществом: фотоэлектрический эффект, комптоновское рассеяние и образование электрон-позитронных пар. Программа может эффективно применяться для моделирования спектров скважинных приборов гамма-гамма каротажа. Однако, программа не обладает визуальными средствами препроцессинга и не позволяет работать с произвольной сложной геометрией.

Основной целью данной работы является разработка программного комплекса, на основе процессора GAMMON, позволяющего моделировать и исследовать спектральные характеристики приборов гамма-гамма каротажа с учетом сложной геометрии, приближенной к реальной геометрии приборов, скважины и околоскважинного пространства. Работа выполнена при поддержке Пермского государственного национального исследовательского университета.

## **Программный комплекс моделирования распределения**

### **гамма-квантов**

Разработанная программа REGIONS Gamma-Gamma предназначена для моделирования распределения гамма-квантов в сплошных средах методом Монте-Карло. Программа включает в себя визуальный модуль препроцессинга, решатель (процессор), и визуальный модуль постпроцессинга. Процессор программы основан на алгоритме программы GAMMON. Визуальная оболочка программы разработана на основе системы REGIONS Multi-Physics, разработанной С.Л. Гладким [3-5]. Программа REGIONS Multi-Physics предназначена для решения краевых задач математической физики. Поскольку краевые задачи имеют аналогичные этапы моделирования (построение трехмерной геометрии, задание свойств сплошных сред и т.д.), оболочка программы REGIONS Multi-Physics была адаптирована для решения задач моделирования распределения гамма-квантов.

Интерфейс программы REGIONS Gamma-Gamma приведен на рисунке 1. Основными элементами интерфейса являются: окно главного меню, которое позволяет выполнять все действия; окно визуализации для отображения и работы с трехмерными объектами; окно редактирования свойств объектов.

Препроцессор программы позволяет строить трехмерные тела для моделирования геометрии решаемой задачи, задавать свойства сплошных сред, определять источники и приемники гамма-квантов и их характеристики.

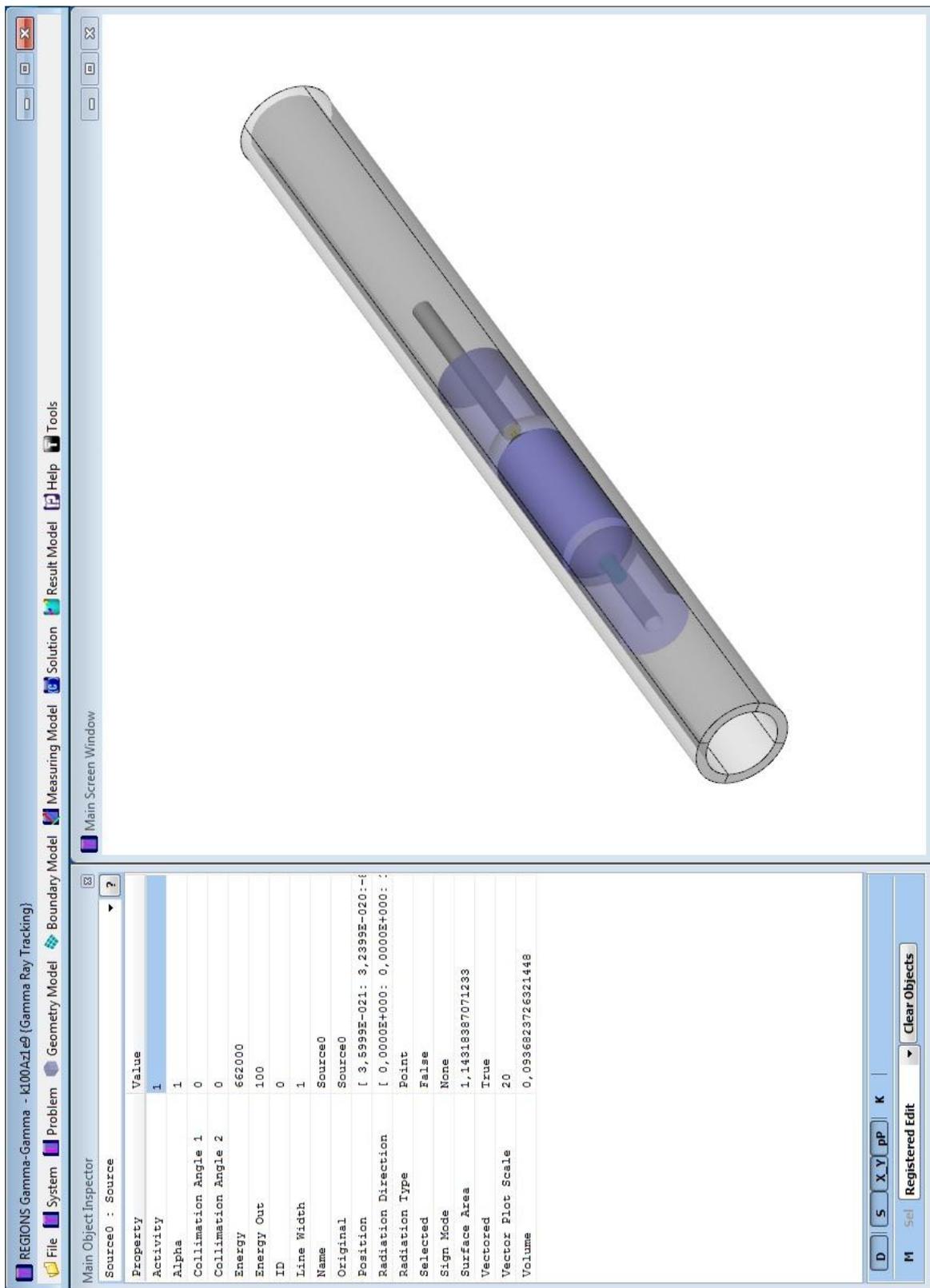


Рис. 1. Интерфейс программы REGIONS Gamma-Gamma

Для моделирования трехмерных тел используется метод построения геометрической модели, называемый BREP (Boundary Representation).

Поддерживаются следующие типы геометрических объектов:

- точка по координатам;
- точка на линии;
- прямая линия;
- параметрическая кривая;
- параметрическая линия на поверхности;
- линейчатая поверхность;
- параметрическая поверхность;
- сплошное тело;
- параметрическое тело.

Использование перечисленных типов объектов позволяет моделировать произвольную геометрию практически любой сложности и конфигурации. Наличие параметрических объектов и связанное моделирование (построение одних объектов на основе других) позволяет параметризовать модель. Каждый объект имеет локальную координатную систему, которая может изменять свое положение (смещение, поворот осей) относительно глобальной системы, что приводит к изменению положения самого объекта. Редактирование значений параметров объектов, а также его смещение и поворот, позволяют быстро изменять геометрию модели, без необходимости ее повторного построения. Это позволяет моделировать поведение системы при различных конфигурациях геометрии.

На рисунке 2, для примера, приведена геометрическая модель одного трехмерного тела с различными значениями параметров геометрии.

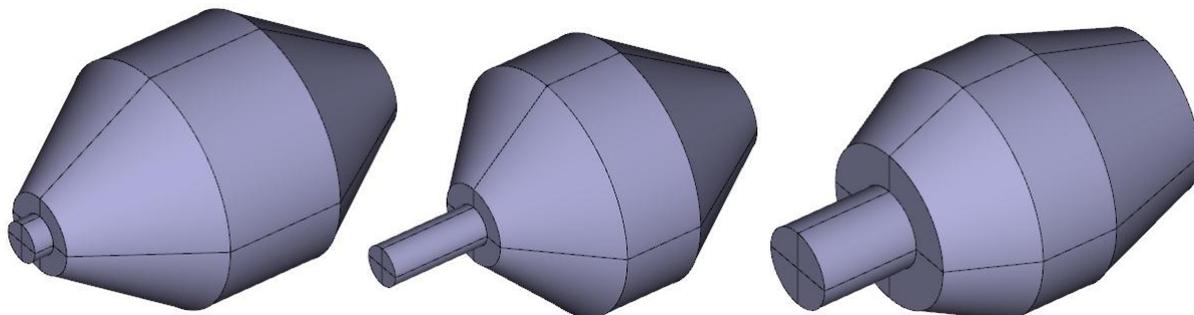


Рис. 2. Модель трехмерного тела с различными значениями параметров

Следующими этапами препроцессинга являются определение свойств материалов объектов и определение положения и свойств источников и приемников гамма-квантов. Для каждого геометрического объекта могут быть заданы все основные свойства, необходимые для определения взаимодействия его с гамма-квантами: плотность, эффективный атомный номер и др. В качестве источника и приемника гамма-квантов может быть выбрано любое трехмерное тело, количество источников и приемников не ограничено.

В качестве основного алгоритма моделирования взаимодействия гамма-квантов используется алгоритм программы GAMMON. Однако, для работы с геометрией произвольной формы, некоторые части процессора были значительно модифицированы.

Первая модификация заключается в доработке алгоритма определения столкновений (ray tracing), необходимого для отслеживания положения траекторий гамма-квантов относительно геометрических объектов. Для

произвольной геометрии универсальным способом является приближенное представление поверхности объектов в виде набора геометрических примитивов – треугольников или четырехугольников. Таким образом, задача определения пересечения траектории и объекта сводится к задаче определения взаимного положения луча и треугольника (четырёхугольника).

Для построения граничной сеточной модели сложных геометрических объектов в программе REGIONS Gamma-Gamma имеется множество инструментов. Граничная модель связана с геометрической моделью, что позволяет автоматически перестраивать сетку при изменении геометрии. Также, количество примитивов (треугольников и четырехугольников) может быть изменено на любом этапе моделирования, что позволяет использовать модели с разной точностью аппроксимации. На рисунке 3 приведены граничные сеточные модели цилиндра с различной точностью аппроксимации.

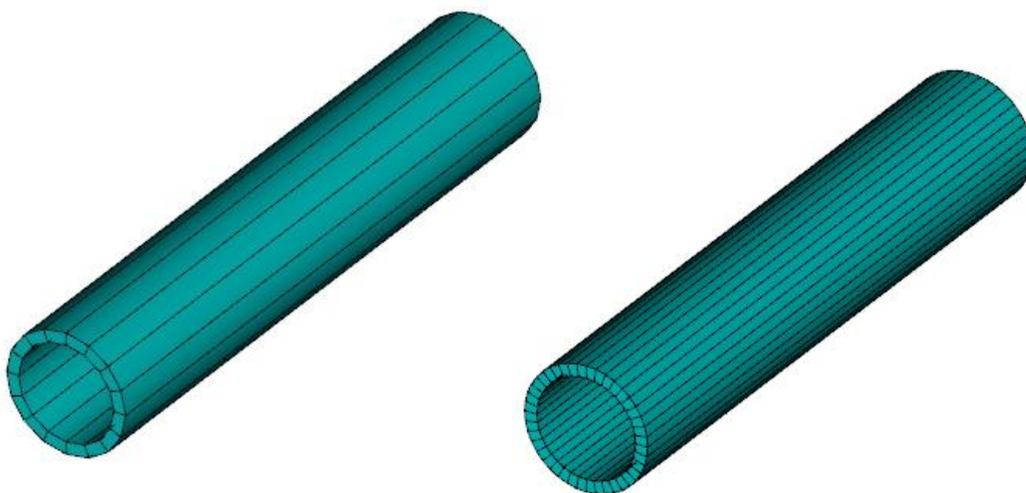


Рис. 3. Сеточная модель цилиндрического тела с различной точностью аппроксимации

В программе REGIONS Gamma-Gamma разработан и реализован эффективный алгоритм определения положения траекторий и геометрических объектов, который использует предварительное определение пересечений траекторий с ограничивающими объемами AABV (axis aligned boundary box) для ускорения расчетов. Данный алгоритм используется ядром решателя для моделирования взаимодействия гамма-квантов с объектами. Как показано в [6] от эффективности этого алгоритма напрямую зависит скорость решения, поскольку он занимает большую часть времени процессора. Таким образом, эффективный алгоритм обеспечивает высокую скорость расчетов.

В настоящий момент система моделирования REGIONS Gamma-Gamma предназначена для проведения расчетов на персональных компьютерах. Поскольку большинство современных процессоров имеют несколько ядер, то для эффективного их использования, основной алгоритм расчета траекторий гамма-квантов должен быть модифицирован для параллельных вычислений. Известно, что метод Монте-Карло является одним из методов, которые имеют очень высокую эффективность распараллеливания. Таким образом, реализация параллельного алгоритма позволит эффективно использовать систему моделирования как на персональных компьютерах, так и на многопроцессорных системах.

### **Тестовый расчет спектра прибора гамма-гамма каротажа**

Проведен расчет спектра гамма поля для приближенной модели прибора гамма-гамма каротажа с одним источником и одним приемником в однородной среде (вода).

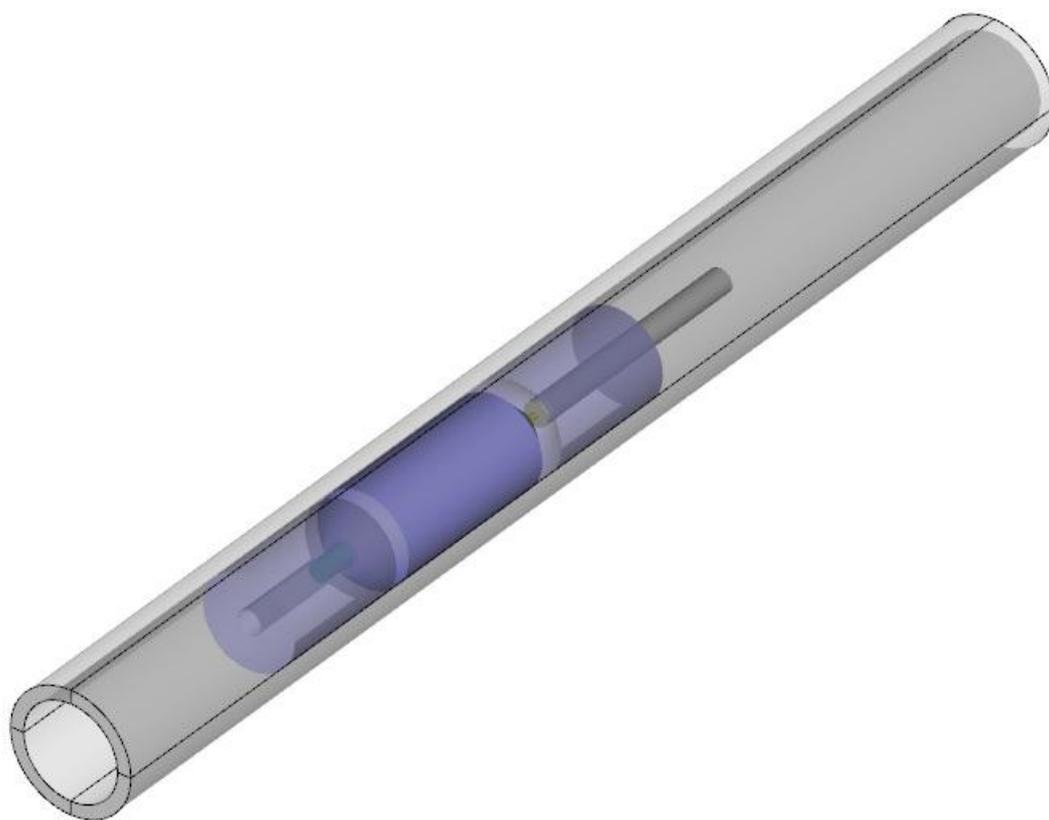


Рис. 4. Геометрическая модель прибора

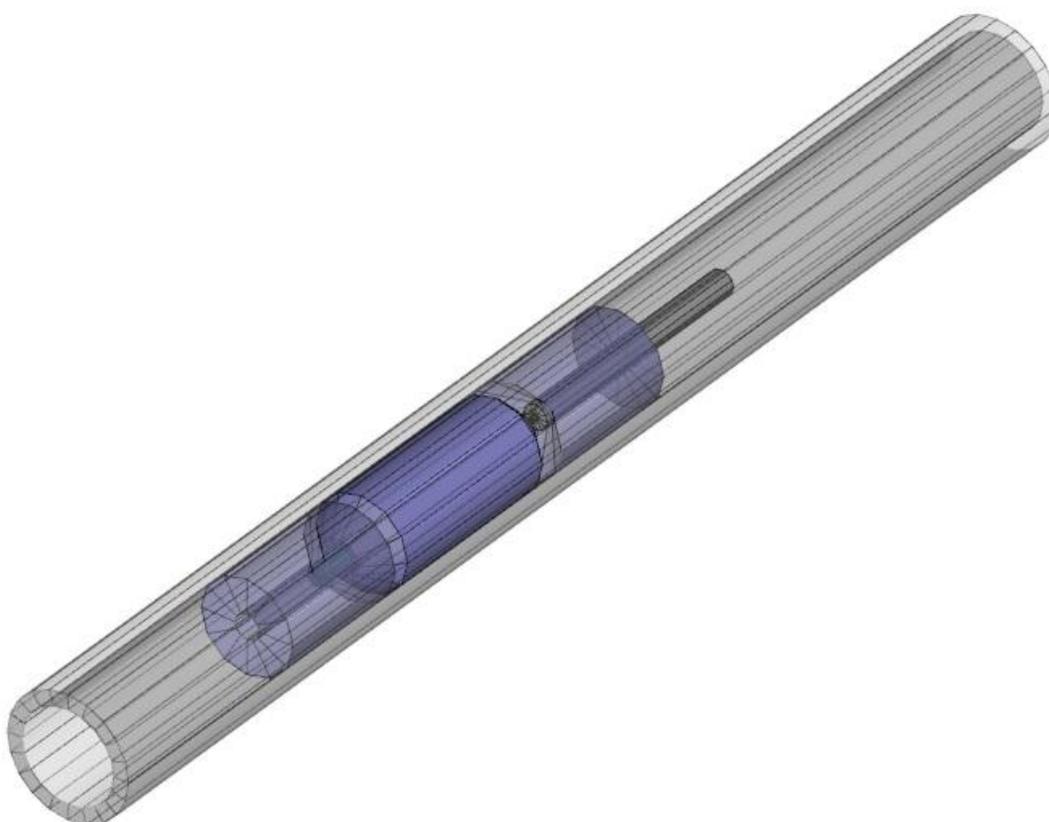


Рис. 5. Граничная сеточная модель прибора

Геометрическая модель прибора изображена на рисунке 4 (некоторые внешние тела изображены полупрозрачными для отображения внутренних объектов). Данная модель состоит из 5 объемных тел, имеющих различные свойства материалов – сталь и свинец (изображены серым и фиолетовым цветом соответственно). В модели один точечный источник  $Cs^{137}$  (желтый цвет) и один цилиндрический приемник NaI (зеленый цвет). Однородная среда (вода) моделируется цилиндрическим телом (на рисунке не показано) радиусом 1 м.

На рисунке 5 приведена сеточная граничная модель. Для аппроксимации геометрии в граничной модели использовано в общей сложности 480 геометрических примитивов.

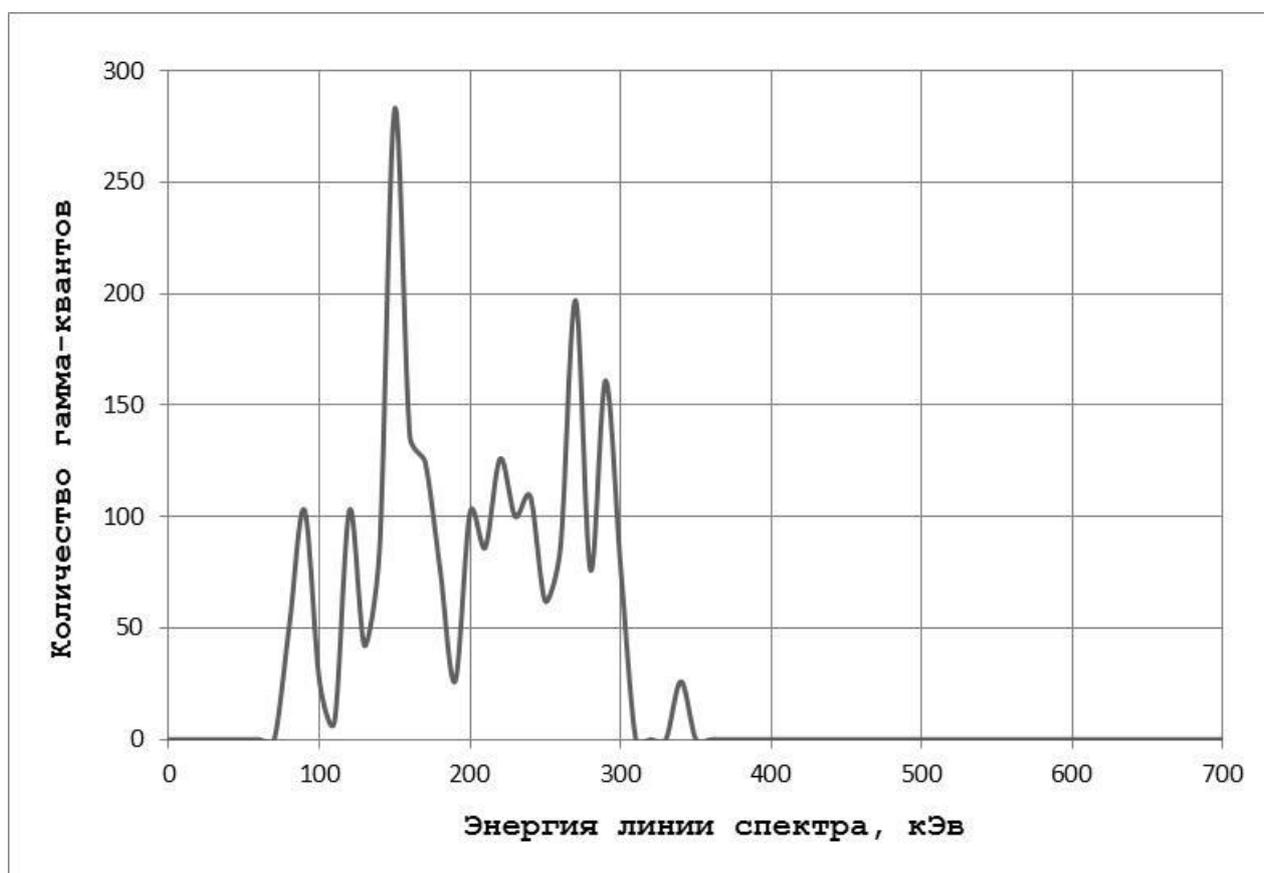


Рис. 6. Результаты расчета спектра приемника прибора

Расчеты данной модели выполнялись на персональном компьютере с процессором Core i5 с тактовой частотой 3.4 GHz. Для получения достаточно точного спектра приемника были проведены расчеты для  $10^9$  траекторий гамма-квантов. Время расчета данного количества траекторий составило ~15 часов. Результаты расчетов представлены на рисунке 6.

### **Выводы**

Основным результатом выполненной работы является система моделирования распределения гамма квантов в сплошных средах REGIONS Gamma-Gamma. Программный комплекс позволяет моделировать объемные тела сложной геометрической формы, в том числе, строить параметрические модели. Решатель программы, основанный на методе моделирования Монте-Карло, использует эффективные алгоритмы определения взаимного расположения траекторий и объектов, что позволяет проводить моделирование сложных задач для большого числа траекторий на персональном компьютере.

Программа REGIONS Gamma-Gamma может применяться для моделирования спектральных характеристик приборов гамма-гамма каротажа. Визуальный интерфейс моделирования и узкая специализация делают данную программу доступной для пользователя, не обладающего специальными знаниями в программировании и физике элементарных частиц. Наличие в программе возможности создавать параметрические модели геометрии позволяет исследовать зависимость спектральных характеристик приборов для

различных конфигураций (расстояние между источником и приемником, коллимация приемников и источников, децентрация прибора и др.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Гулин. Ю.А.* Гамма-гамма метод исследования нефтяных скважин. Москва: Издательство “Недра”, 1975. – 160 с.
2. *Возжеников Г. С., Бельшев Ю. В.* Радиометрия и ядерная геофизика: учебное пособие / Г. С. Возжеников, Ю. В. Бельшев; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 418.
3. *Гладкий С.Л.* Аналитическая система решения трехмерных краевых задач математической физики/ С.Л. Гладкий // Сборник тезисов всероссийской научно-практической конференции “Актуальные проблемы механики, математики, информатики”. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – с. 71.
4. *Гладкий С.Л.* Численно-аналитическое решение трехмерных краевых задач механики сплошных сред / С.Л. Гладкий // Тезисы докладов 17-ой зимней школы по механике сплошных сред. – Пермь, 2011. – с. 85.
5. *Гладкий С.Л.* Решение трехмерных задач теплопроводности методом фиктивных канонических областей / С.Л. Гладкий, Л.Н. Ясницкий // Вестник Пермского университета. Математика, механика, информатика. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2011. – № 5. – С. 41-45.
6. *Бельшев Ю.В.* Разработка технологии ядернофизических измерений для контроля качества кокса: диссертация кандидата геол.-минерал. наук.

Уральская государственная горно-геологическая академия, Екатеринбург, 1995.

217 с.