

УДК 004.942:621.386.82

Т.В. Малыхина, Н.Г. Стервиедов

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛОКАЦИИ ИСТОЧНИКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с обработкой данных, получаемых в результате работы модели переносного прибора для локализации точечных источников излучения. Представлен комплекс компьютерных программ, разработанных для моделирования прохождения излучения через детекторный блок прибора, а также программы обработки данных. В комплекс программ входит программа Tank3 моделирования прохождения гамма-квантов через детекторный блок прибора, а также программа Tank3Analysis, которая использует результаты Geant4-моделирования и предназначена для обработки данных. Программа Tank3 разработана в ОС Linux на языке C++ и использует библиотеку классов Geant4.

Программа обработки данных Tank3Analysis в качестве входных данных использует смоделированный отклик детекторов экспериментальной установки. Вычисления производятся с использованием средств объектно-ориентированного программирования. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности однозначного определения направления на источник излучения в пространстве.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, цифровая обработка данных, Geant4, численные методы.

Введение

В последнее время наблюдается особенно бурное развитие компьютерной техники и информационных технологий. Во многих отраслях человеческой деятельности применение компьютерных технологий существенно позволяет оптимизировать производственные процессы и улучшить качество результата этой деятельности. Одним из направлений развития информационных технологий является разработка систем автоматического управления, а также программных средств для моделирования различных процессов, что позволяет экономить ресурсы, снижает энергозатраты, затраты человеческих ресурсов, а также позволяет оптимизировать управление производственными процессами. В частности, при применении информационных технологий в науке становится возможным произвести модельный эксперимент без привлечения дорогостоящего оборудования, затрат материалов, без существенных затрат электроэнергии и т.п., и без привлечения большого количества персонала лабораторий.

В ряде стран мира существует проблема обнаружения очагов радиоактивного загрязнения техногенного происхождения, ставшая особенно актуальной после аварии на атомной электростанции Фукусима. В связи с развитием ядерных технологий также достаточно важны задачи радиационного мониторинга, для решения которых необходимо разрабатывать методики и аппаратуру ускоренного обнаружения источников излучения; проводить обследование и локализацию участков местности, загрязненных радионуклидами; обеспечивать обнаружение и

локализацию очагов радиоактивного загрязнения окружающей среды и промышленных объектов. Актуальной также остается задача обнаружения радиоактивных материалов во время проведения проверки грузов на контрольно-пропускных пунктах. Для этих целей можно использовать переносные детекторы излучения.

При моделировании и разработке детекторных блоков переносных детекторов излучения важнейшим этапом является обработка данных.

Постановка задачи. На кафедре электроники и управляющих систем Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина проводятся компьютерное моделирование и расчеты по разработке переносного детектирующего устройства для ускоренного поиска источников радиации и определения их локализации. Ранее нами совместно с сотрудниками лаборатории радиационной, экологической и химической безопасности войск РХБЗ факультета военной подготовки Национального технического университета "Харьковский политехнический университет" был разработан прототип переносного устройства для локализации источников излучения [1]. Устройство состояло из детекторного блока, представляющего собой сферический поглотитель с несимметрично расположенными в нём полостями и встроенными в них двумя полупроводниковыми детекторами на основе CdZnTe, и электронного регистрирующего блока. Было проведено предварительное математическое моделирование методом Монте-Карло прохождения излучения через детекторы разрабатываемого прибора.

Данные проведенного моделирования позволяют утверждать, что однозначное определение направле-

ния на точечный источник гамма-излучения возможно лишь в небольшом диапазоне азимутальных углов при изменении полярных углов от 0° до 90° [1].

Для расширения диапазона азимутальных углов, для которых возможна локация источников гамма-излучения, необходимы конструктивные изменения детекторного блока прибора, которые предполагают предварительное компьютерное моделирование и обработку данных, полученных в результате моделирования.

Целью данной работы является компьютерное моделирование и последующая обработка информации для выяснения возможности однозначного определения на источник излучения с помощью разрабатываемого прибора.

Модель детекторного блока

Одним из этапов данной работы является оценка возможности усовершенствования детекторного блока существующего прототипа устройства, схема расположения детекторов которого представлена на рис. 1.

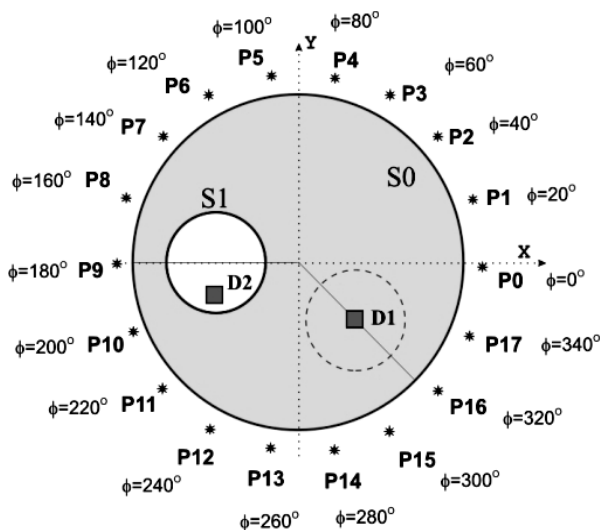


Рис. 1. Схема детекторного блока прототипа прибора

На рис. 1 представлены упрощенная схема детекторного блока, а также точки расположения гамма-источника. На рисунке изображен поглотительный алюминиевый шар S_0 , сферическая полость S_1 , детекторы гамма-излучения D_1 и D_2 . Для детекторного блока, схема которого представлена на рис. 1, было проведено компьютерное моделирование отклика детекторов. Моделирование проводилось с помощью компьютерной программы Tank, разработанной на языке C++ в ОС Linux SLC4 с использованием библиотеки классов Geant4 версии 9.4 и модели низких энергий "Livermore" [2]. Геометрические параметры модели соответствовали параметрам детекторного блока прототипа прибора. При описании физических процессов для гамма-квантов учитывались: фотоэффект, комптоновский эффект,

использовались классы $G4LivermoreComptonModel$ и $G4LivermorePhotoElectricModel$ библиотеки классов Geant4 [2]. Пороговые энергии E_{cut} были выбраны равными 1 кэВ. Число излучаемых источником в 4π гамма-квантов было задано одинаковым для всех серий моделирования и равнялось 10^8 .

Программа имеет два режима работы: пакетный режим и интерактивный режим с графическим интерфейсом. Интерактивный режим предназначен для визуализации модели детекторного блока установки и траекторий частиц для наиболее полного представления пространственного распределения гамма-квантов во время прохождения через установку. Пакетный режим работы программы Tank необходим для моделирования с набором большой статистики событий для последующей обработки. Разработанная программа Tank в пакетном режиме имеет различные уровни детализации диагностики каждого события: от минимальной диагностики до расширенной детализации по отдельным процессам.

Для обработки данных компьютерного моделирования разработана программа $G4DataProcessing$, которая использует результаты Geant4-моделирования прохождения гамма-квантов с энергией 661 кэВ через детекторный блок установки. Программа $G4DataProcessing$ была разработана в среде программирования Borland C++ Builder, которая является инструментом быстрой разработки приложений.

В качестве входных данных используется смоделированный отклик детекторов экспериментальной установки. На рис. 2 представлены скрин-шоты программы обработки данных моделирования. Программа позволяет вычислять энергетические спектры гамма-квантов, зарегистрированных детекторами, а также проводить анализ этих спектров.

Энергетические спектры гамма-квантов вычисляются для различных положений (рис. 1) источника гамма-излучения. Программа позволяет выбрать различные заранее смоделированные данные для анализа зависимости отклика детекторов установки от расположения источника излучения. Вычисления производятся в автоматическом режиме, с использованием средств объектно-ориентированного программирования [3]. Для удобства пользователя результат представляется в графическом виде, а также может быть сохранен в текстовом формате.

На действующем макете экспериментально были проверены точностные характеристики определения направления на источник гамма-излучения ^{137}Cs .

Результаты, полученные при обработке данных моделирования с помощью программы $G4DataProcessing$, сопоставимы с данными лабораторных испытаний прототипа устройства в исследуемом диапазоне углов. Погрешность определения направления

на точечный источник определяется статистической погрешностью измерения числа зарегистрированных гамма-квантов обоими счетчиками.

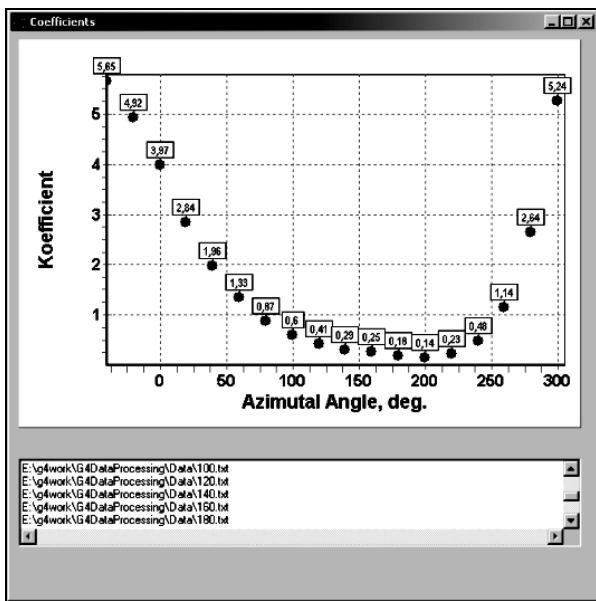
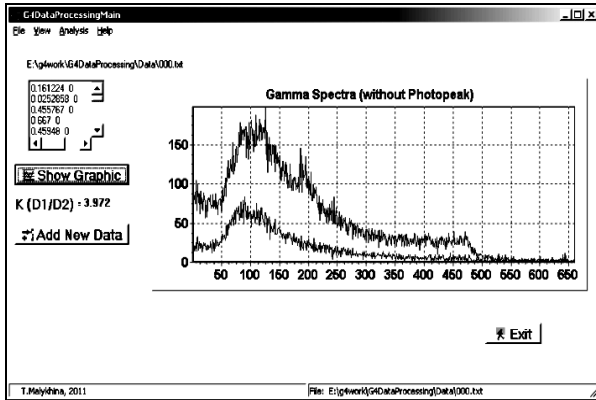


Рис. 2. Скрин-шоты программы обработки данных компьютерного моделирования

Усовершенствованная модель детекторного блока

В результате анализа данных, полученных с помощью программы обработки данных G4DataProcessing, стала очевидна необходимость внесения конструктивных изменений в существующий прототип прибора и вследствие этого, проведение новой серии компьютерного моделирования. На рис. 3 представлена схема детекторного блока усовершенствованного прибора для локации источников гамма-излучения.

На рис. 3 представлены: поглотитель S0 – алюминиевый шар радиусом 50 мм, сферические полости S1 и S2 радиусом 15 мм, D1, D2 и D3 – полупроводниковые детекторы на основе CdZnTe, представляющие собой куб с ребром 5 мм, причем детекторы D2 и D3 смещены относительно центра сферических полостей S1 и S2.

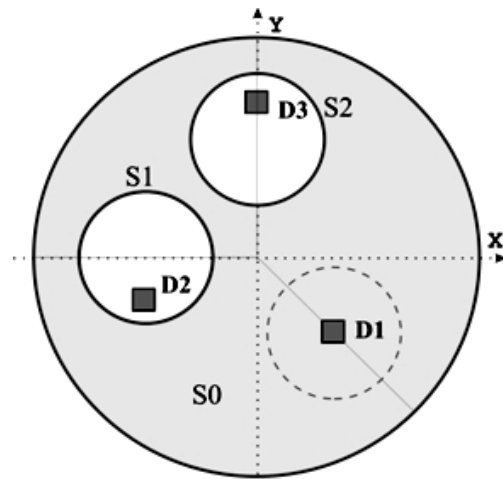


Рис. 3. Схема усовершенствованного детекторного блока

Для новой модели детекторного блока было проведено математическое моделирование отклика детекторов, для этого была доработана компьютерная программа Tank: был изменен модуль, содержащий описание геометрических параметров, т.е., класс TankDetectorConstruction, производный от G4DetectorConstruction.

Необходимые изменения были внесены в классы, производные от G4EventAction и G4SteppingVerbose [4]. Моделирование отклика детекторов было проведено для различных позиций расположения источника гамма-излучения относительно детекторного блока, вычисления проводились с шагом в 10 градусов.

На рис. 4 представлен инвертированный скриншот программы Tank3, работающей под управлением ОС Linux SLC 4.8 в интерактивном режиме с пользовательским интерфейсом, контурная визуализация.

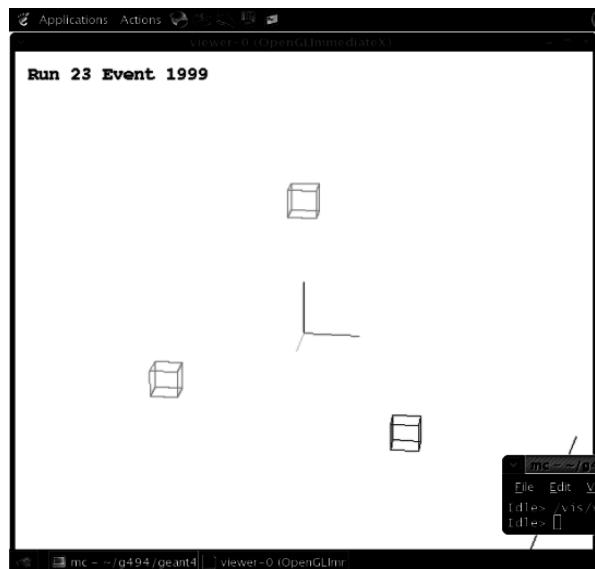


Рис. 4. Инвертированный скрин-шот программы моделирования Tank3

На данном рисунке изображен фрагмент детекторного блока – детекторы D1, D2, D3, расположенные внутри поглотителя S0, а также координатные оси. Геометрические параметры, используемые при моделировании, соответствуют параметрам, представленным на схеме (рис. 3).

Программа для обработки информации

Для обработки информации и последующего анализа, данных моделирования разработана программа Tank3Analysis. В программе в качестве входных используются данные, являющиеся результатом работы программы Tank3, работающей под управлением ОС Linux SLC 4.8 и использующей библиотеки классов Geant4. Сопоставляя отношения уровней сигналов в детекторах D1 и D2, а также в детекторах D2 и D3, возможно определение направления на точечный источник гамма-излучения.

Программа обработки данных Tank3Analysis вычисляет коэффициенты отношения интенсивностей смоделированных потоков гамма-квантов в детекторах D1 и D2, D2 и D3 для каждого из 36 значений азимутальных углов с шагом 10 градусов. Полученные коэффициенты хранятся в двумерном массиве A, состоящем из N=36 строк и M=3 столбцов. В первом столбце содержатся отношения интенсивностей потоков гамма-излучения в детекторах D1 и D2, во втором столбце – отношения интенсивностей потоков гамма-излучения в детекторах D2 и D3, в третьем столбце – отношения интенсивностей потоков гамма-излучения в детекторах D1 и D3 для источника, расположенного последовательно, с шагом 10 градусов по азимутальному углу, вокруг детекторного блока. При вычислении направления на источник гамма-излучения в программе определяются величины δ_{12} и δ_{23} , равные минимальным значениям отклонения уровней сигнала от отношения смоделированных величин хранящихся в массиве A.

$$\delta_{12} = \min \left| \frac{I_{D1}}{I_{D2}} - A[0][j] \right|;$$

$$\delta_{23} = \min \left| \frac{I_{D2}}{I_{D3}} - A[1][j] \right|,$$

где $A[0][j]$ – отношения интенсивностей смоделированных потоков гамма-квантов в детекторах D1 и D2 для каждого из 36 значений азимутальных углов;

$A[1][j]$ – отношения интенсивностей смоделированных потоков гамма-квантов в детекторах D2 и D3 для каждого из 36 значений азимутальных углов;

I_{D1}, I_{D2}, I_{D3} – интенсивности измеренных потоков гамма-квантов в детекторах D1, D2, D3, соответственно.

При вычислении направления на источник гамма-излучения с использованием одной из величин δ_{12} или δ_{23} возникает неоднозначность вследствие того, что однозначное определение направления на источ-

ник излучения в полупространстве только двумя детекторами невозможно [1]. Поэтому в программе расчета используются обе величины δ_{12} и δ_{23} .

На рис. 5 представлен скрин-шот программы обработки данных Tank3Analysis. В левой части рис. 5 изображены графики зависимости отношений интенсивностей потоков излучения. Из анализа данных, полученных в результате моделирования, можно сделать вывод о том, что отношение интенсивностей смоделированных потоков гамма-квантов в детекторах D1 и D3 (элементы массива $A[2][j]$, $j=0..N-1$) служит только для отладки программы и не является необходимым для определения направления на источник излучения.

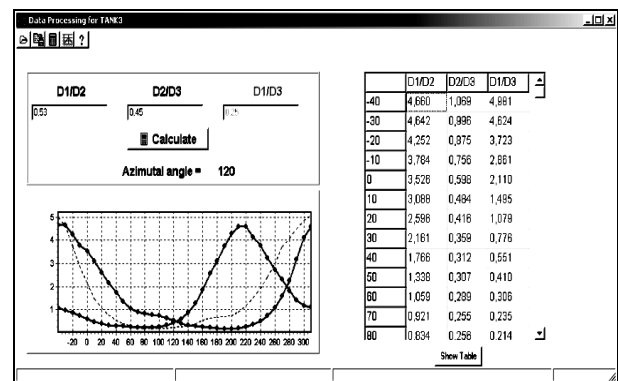


Рис. 5. Скрин-шот программы обработки данных

Для определения направления на источник излучения с точностью лучше, чем шаг моделирования, в программе был внедрен алгоритм интерполяции значений отношений интенсивности сигналов. При выборе метода интерполяции принимались во внимание те факты, что, например, интерполяция полиномом при большом количестве интерполируемых точек приводит к увеличению степени полинома, а метод наименьших квадратов наиболее эффективно применять в случае, если экспериментальные данные получены с некоторой ощутимой погрешностью и т.п. [5]. В связи с тем, что значения интенсивностей потоков излучения в модельном эксперименте получены с хорошей точностью благодаря большому числу первичных гамма-квантов, было целесообразным использовать интерполяцию кубическими сплайнами [6 – 8].

В качестве узловых значений для интерполяции сплайнами были выбраны отношения интенсивностей смоделированных потоков гамма-квантов $A[0][j]$ при интерполяции значений δ_{12} и, соответственно, $A[1][j]$ при интерполяции величин δ_{23} , $j=0..N-1$. При сплайновой интерполяции на каждом интервале $A[0][j-1, j]$ строится отдельный полином третьей степени со своими коэффициентами. Коэффициенты сплайнов определяются из условий совмещения соседних сплайнов в узловых точках. Кубический сплайн задается значениями функции в узлах и зна-

чениями производных на границе отрезка интерполяции. В данном случае значения производных функции на границе отрезка интерполяции неизвестны, и поэтому используется сплайн, завершающийся параболой [6]. В этом случае граничный отрезок сплайна представляется полиномом второй степени вместо третьей (для внутренних отрезков по-прежнему используются полиномы третьей степени).

В результате интерполяции кубическими сплайнами стало возможным определение направления на источник излучения в полупространстве с точностью 3 ± 5 градусов.

Выводы

В результате проведенного компьютерного моделирования можно сделать вывод, что при усовершенствовании имеющегося прототипа прибора возможно однозначное определение в полупространстве направления на точечный источник гамма-излучения. Разрабатываемый прибор обладает достаточной угловой чувствительностью. Программа обработки данных моделирования позволяет определять направление на источник гамма-излучения с точностью 5 градусов, что вполне достаточно для практического применения прибора.

В перспективе – создание прототипа прибора с усовершенствованным детекторным блоком, а также разработка автономного блока со встроенным программным обеспечением для определения направления на источник излучения.

Список литературы

1. Малихина Т.В. Компьютерное моделирование установки для локализации источника гамма-излучения / Т.В. Малихина, В.В. Марущенко, А.В. Сакун, Н.Г. Стервоедов // Вестн. Харьковск. Ун-та. Сер. МИА. – 2010. – № 925, Вып. 14. – С. 132-139.
2. *Physics Reference Manual* [Электронный ресурс]: 2009. – 534 с. – Режим доступа к ресурсу: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf>
3. Архангельский А.Я. Программирование в C++ Builder 5 / А.Я. Архангельский. – М.: ЗАО «Издательство «Бином», 2000. – 1152 с.
4. Geant4 – a simulation toolkit / J. Allison et al. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. – 2003. – A 506. – P. 250-303.
5. Гаврилюк І.П. Методи обчислень: Підручник у 2 ч. / І.П. Гаврилюк, В.Л. Макаров. – К.: Вища школа, 1995. – Ч. 1. – 367 с.
6. Завьялов Ю.С. Методы сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
7. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М.: Наука, 1970. – 664 с.
8. Самарский А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 430 с.

Поступила в редколлегию 2.03.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Гирка, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

ПРОГРАМИ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ МОДЕЛІ ПРИБОРУ ДЛЯ ЛОКАЦІЇ ДЖЕРЕЛА ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ

Т.В. Малихіна, М.Г. Стервоєдов

У статті розглядаються питання, пов'язані з обробкою даних, що отримані в результаті роботи моделі переносного приладу для локації точкових джерел випромінювання. Представлений комплекс комп'ютерних програм, розроблених для моделювання проходження випромінювання через детекторний блок приладу, а також програми обробки даних. До комплексу програм входить програма Tank3 моделювання проходження гамма-квантів через детекторний блок приладу, а також програма Tank3Analysis, яка використовує результати Geant4-моделювання і призначена для обробки даних.

Програма Tank3 розроблена в ОС Linux мовою C++ і використовує бібліотеку класів Geant4. Програма обробки даних Tank3Analysis в якості вхідних даних використовує змодельований відгук детекторів експериментальної установки. Обчислення проводяться з використанням засобів об'єктно-орієнтованого програмування. Отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість однозначного визначення напрямку на джерело випромінювання в просторі.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, цифрова обробка даних, Geant4, чисельні методи.

PROGRAMS FOR PROCESSING THE RESULTS OF THE MODEL OF THE DEVICE FOR LOCATING THE SOURCE OF GAMMA RADIATION

T. V. Malykhina, N. G. Styrvoyedov

In the article we consider questions related to the processing of data obtained as a result of the modeling of a portable device for locating point-like sources of radiation. The set of computer programs designed to simulate the passage of radiation through the detector block of the device and programs for data processing is presented. Programs Tank3 and Tank3Analysis are parts of the program complex. The Tank3 is a program for simulation of the passing of gamma rays through the detector block of the device. The Tank3Analysis program uses the results of simulation and is designed for data processing.

The Tank3 program was developed in Linux using a C++ programming language and uses the Geant4 toolkit. The Tank3Analysis program is the program for data processing and uses the simulated response of the detectors of the experimental setup as an input data. Calculations were performed with the use of object-oriented programming. These results allow us to conclude the possibility of unambiguous determination of the direction to the point-like source of a radiation in space.

Keywords: computer simulation, digital data processing, Geant4, numerical methods.