

УДК 58.31.33; 59.45.39

А.В. Калюжный

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ШУМОВ
НА ПОЛЕЗНЫЙ СИГНАЛ ДЕТЕКТОРА
СКРЫТЫХ ПУСТОТ “РОСЬ – 4М”**

Анотація. Представлені результати по дослідженню впливу конструкційних шумів на корисний сигнал детектору прихованих порожнеч “РОСЬ – 4М”. Дослідження проводились методом комп’ютерного моделювання взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною за допомогою пакету програм GEANT 4.

Введение

Необходимость обнаружения, контроля и анализа скрытых пустот и вложений была и остается актуальной задачей для специалистов различных направлений деятельности и для государства в целом.

Профессиональным строителям, занимающимся контролем бетонных сооружений, резкой, сверлением, установкой навесных конструкций, применяются приборы для поиска скрытых в конструкционных материалах пустот для проверки рабочих зон и обнаружения скрытых элементов (арматуры, кабеля, металлических и пластиковых труб), которые могут привести к поломке оборудования или представлять угрозу для оператора или для самого сооружения в ходе проведения этих работ.

Геологическая разведка применяется для получения информацию о состоянии и составе исследуемых районов. Средства геологической разведки позволяют проводить поиск скрытых в грунте пустот и аномалий (трубопроводы, погреба, катакомбы и т.п.), а также полостей заполненных различными материалами (грунт, антропогенный и техногенный мусор и пр.).

Еще одна глобальная проблема человечества – проблема минной опасности. Две мировые войны, большое количество локальных конфликтов и региональных войн сделали свой вклад. По разным источникам, в настоящее время, в мире остаются не обезвреженными не менее 300 миллионов мин и других

© Калюжный А.В., 2010

взрывоопасных предметов различных типов, по-прежнему представляющих смертельную опасность, как для гражданского населения, так и для специалистов, занимающихся поиском и их обезвреживанием.

Для поиска таких предметов применяют приборы, основанные на различных физических принципах. С технической точки зрения сложнее всего мину обнаружить. Ведь после того как взрывное устройство найдено, обезвредить его, как правило, нетрудно, несмотря на разнообразие типов и изощренность механизмов срабатывания современных минных устройств.

Еще одной актуальной задачей для любого государства является его безопасность и безопасность его граждан. Наиболее опасные формы угрозы для современного государства связаны с наркобизнесом, незаконной торговлей оружием, вывозом за пределы страны предметов культурного и исторического достояния народов Украины, а также контрабанда различного рода радиоактивных материалов, представляющих серьезную опасность для человека. Практика борьбы с контрабандой показывает, что значительное количество предметов, перемещаемых через границу, осуществляется в транспортных средствах (легковые и грузовые автомобили, морские и речные суда, самолеты).

Цель исследования – оценка вклада шумов конструкционных элементов на полезный сигнал детектора скрытых пустот.

Задачи исследований:

Исследование влияния шумов от защиты источника ионизирующего излучения на полезный сигнал детектора скрытых пустот;

Исследование влияния шумов от корпуса на полезный сигнал детектора скрытых пустот;

Исследование влияния шумов от защиты детектора на полезный сигнал детектора скрытых пустот.

Объектом исследований является процесс взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

Предметом исследований является детектор скрытых пустот, основанный на эффекте обратного рассеяния γ -излучения.

Методы исследований. Работа основывается на методах компьютерного моделирования процессов взаимодействия

ионизирующего излучения с веществом в среде моделирования GEANT 4.

Детектор скрытых пустот “РОСЬ – 4М”

Детектор скрытых пустот “РОСЬ – 4М” предназначен для обследования скрытых полостей транспортных средств (автомобилей, самолетов, кораблей, лодок, железнодорожных вагонов, контейнеров и т.д.) с целью выявления несанкционированных закладок (оружия, валюты, взрывчатки, наркотических веществ и т.д.) [1].

Принцип работы прибора заключается в использовании эффекта обратного рассеяния γ -излучения. Излучение от источника ионизирующего излучения проникает через преграду внутрь исследуемого объекта и рассеивается. Часть обратно рассеянного излучения регистрируется детектором. Интенсивность регистрируемого излучения зависит от наличия рассеивающего объекта и его свойств. По изменению интенсивности зарегистрированного обратно рассеянного излучения, можно судить об изменении плотности объекта. Изменение плотности в местах, где она должна быть неизменной, говорит о наличии в контролируемой зоне постороннего объекта [2].

Источники возникновения шума, влияющие на полезный сигнал детектора скрытых пустот

На рисунке 1 представлена упрощенная принципиальная схема детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения.

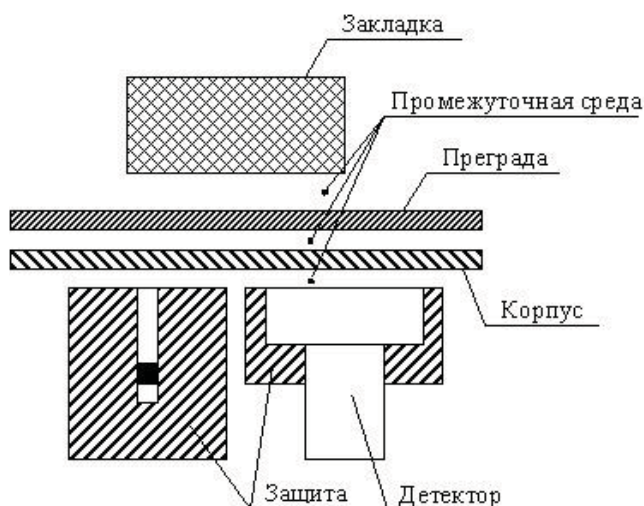


Рисунок 1 – Упрощенная принципиальная схема детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения

Под полезным сигналом здесь будем понимать сигнал, отразившийся от закладки и попавший, с последующей регистрацией, в детектор, без промежуточных взаимодействий. Реальный сигнал будет представлять из себя сумму сигналов, а именно:

- природный радиационный фон;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом защиты источника ионизирующего излучения;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом защиты детектора;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом корпуса прибора;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом преграды;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с окружающей средой;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом закладки;

Реализация программно-имитационной модели детектора скрытых пустот.

Математическая модель детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения разрабатывалась при помощи пакета программ GEANT4.

GEANT4 — это система библиотек для компьютерного моделирования процессов прохождения элементарных частиц через вещество, на основе совокупности подходов, вместе называемых «метод Монте-Карло».

Структурная схема программной модели GEANT4 представлена на рисунке 2.

Программная модель для имитации взаимодействия частиц и излучения с веществом основана на использовании методов Монте-Карло. Основные функции и данные были описаны, используя библиотеки пакета GEANT4, на язык C++, компиляция, отладка и использование проводились в ОС Linux.

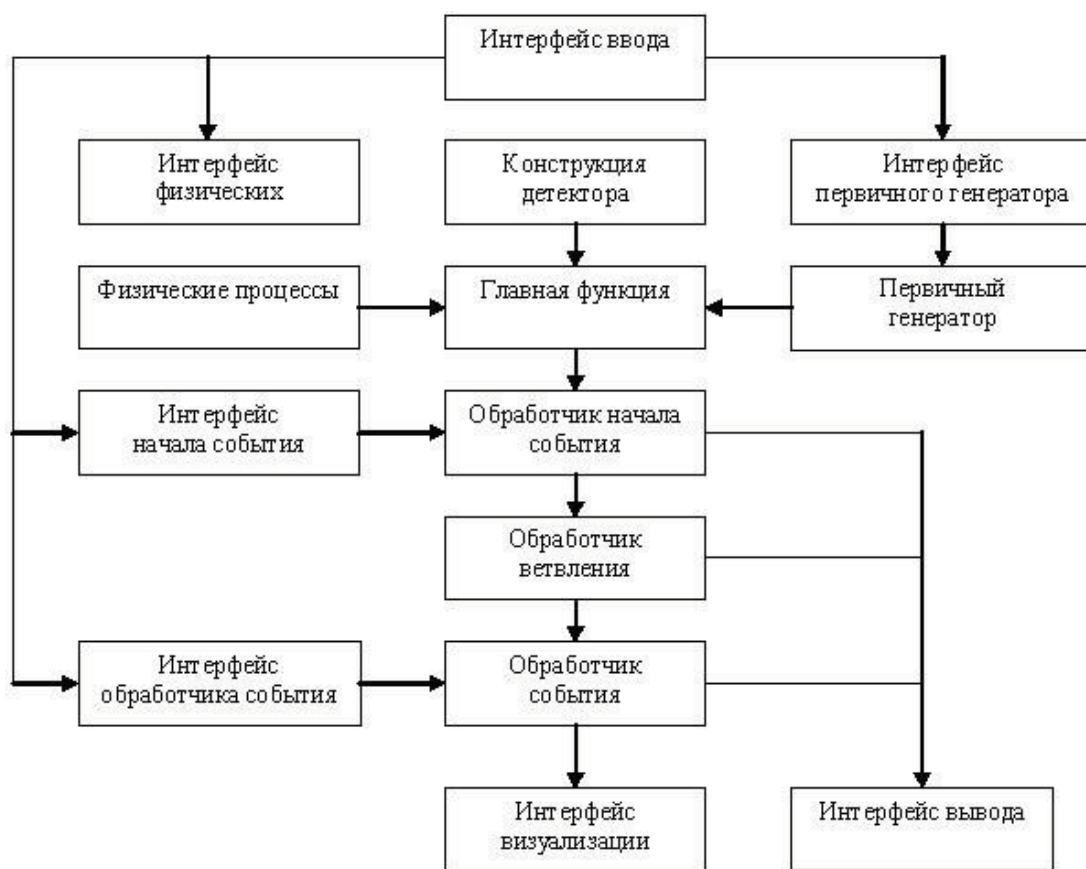


Рисунок 2 – Структурная схема программной модели GEANT4

Программная модель обеспечивает:

- изменение состава и физических свойств элементов конструкции прибора (положения и ориентации коллиматора, конструкции экрана и проч.), закладки (химического состава, размеров и ориентации в пространстве) и преград;
- изменение конструкции детектирующей аппаратуры, ее положения и ориентации в пространстве;
- изменение характеристик источника ионизирующего излучения (положение в коллиматоре, энергетический спектр изотопа).

На выходе программной модели получены следующие данные:

- регистрируемая скорость счета;
- энергетический спектр регистрируемого излучения.

Методика проведения экспериментов и результаты исследований

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рисунке 3.

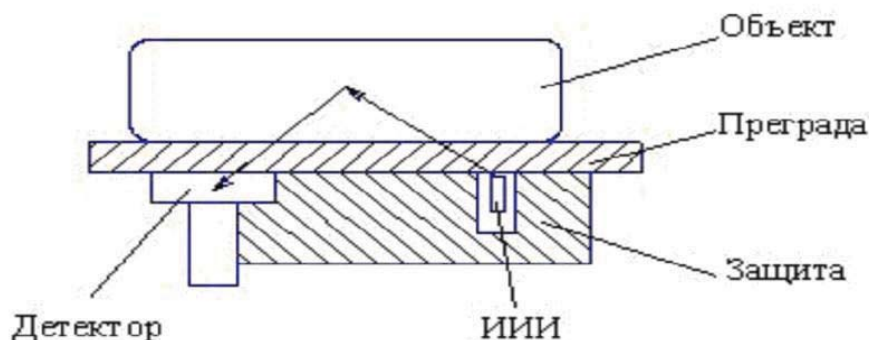


Рисунок 3 – Схема проведения экспериментов

В качестве источника ионизирующего излучения использовался Ba^{133} типа Gba3.044 активностью 1.0 МБк, коллиматор – цилиндр, радиус канала 3мм, толщина стенок 25мм, заглубление 3 мм. Детектор – сборка ФЭУ 9112В фирмы Electron Tubes и сцинтиллятора CsI(Tl) Ш40x5 мм, защита кристалла – свинец 5мм.

В ходе серии экспериментов использовалась закладка из платины в виде цилиндра Ш5x8 см. В качестве преграды использовался стальная пластина толщиной 1 мм и пластина из пластика толщиной 2 мм.

При обработке полученных результатов было принято решение перейти от накопленного спектра γ -излучения к нормированному спектру. Т.е. при классическом спектре γ -излучений на графике есть шкала энергии E и шкала количества событий данной энергии N , а при переходе от статистического к нормированному спектру, шкала N заменяется шкалой вероятности события данной энергии P . В принципе спектр γ -излучения и нормированный спектр по форме повторяют друг друга, что очень удобно при статистически обеспеченном спектре, который получается при прогоне моделирующей программы. Переход от статистического к нормированному спектру происходит, если каждое значение статистически обеспеченного спектра γ -излучения поделить на взвешенную сумму данного спектра. Данный подход позволяет сэкономить время при расчете эксперимента при данной геометрии,

если выходной спектр γ -излучения в итоге статистически не обеспечен.

Были проведены эксперименты для всех комбинаций параметров: окружающей среды (вакуум, воздух), материала защиты детектора (свинец и без защиты) и материала корпуса прибора (сталь, пластик и бескорпусное исполнение).

Далее следует определить влияние корпуса прибора из различных материалов, окружающей среды, защиты источника ионизирующего излучения и детектора, и оценить, как это повлияет на сам прибор и его эффективность. Было предложено использовать так называемый коэффициент эффективности прибора.

$$K_{\text{эл}} = \frac{K_{\text{среды}}}{K_{\text{вакуума}}};$$

Данный коэффициент рассчитывается как отношение коэффициента нормируемого сигнала, при данной конфигурации среды, преграды и защиты детектора, к коэффициенту нормируемого сигнала для вакуума.

При проведении экспериментов было принято решение о проведении первого из опытов в идеальной среде, где γ -квант претерпевал бы минимальное рассеивание от среды и как следствие потери энергии. Соответственно для опыта №1 коэффициент эффективности прибора будет равен 1.0:

$$K_{\text{вакуума}} = \frac{n}{N} = \frac{17770}{30863000} = 0.00057577,$$

где n – количество зарегистрированных γ -квантов, N – количество испущенных γ -квантов.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Методика проведения эксперимента и полученные результаты

| № опыта | Окружающая среда | Материал защиты детектора | Материал корпуса прибора | Кол-во испущенных γ -квантов, N | Кол-во зарегистрированных γ -квантов, n | КЭП |
|---------|------------------|---------------------------|--------------------------|--|--|------|
| 1 | Вакуум | Нет | Нет | 30863000 | 17770 | 1 |
| 2 | Воздух | Нет | Нет | 26577000 | 14525 | 0,95 |
| 3 | Воздух | Свинец | Нет | 33816000 | 10800 | 0,56 |
| 4 | Воздух | Свинец | Сталь | 41149000 | 4253 | 0,18 |
| 5 | Воздух | Нет | Сталь | 29670000 | 9097 | 0,53 |
| 6 | Воздух | Свинец | Пластик | 30187000 | 7787 | 0,45 |

Заключение

В работе исследован вклад шума от конструкционных элементов детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения, на полезный сигнал. Исходя из полученных экспериментальных данных можно утверждать, что воздушная среда незначительно влияет на полезный сигнал. Для исключения “засветки” детектора необходимо его поместить в защиту. Лучше всего для этого подходит свинец, однако это снижает эффективность прибора до 0,56. Также прибор должен иметь корпус. Экспериментальные данные показывают, что при использовании в качестве материала корпуса прибора стали коэффициент эффективности прибора $KЭП=0,53$, однако нужна защита детектора, как сказано выше. Опыт № 4 показывает, что при использовании защиты детектора и корпуса прибора из стали $KЭП$ составляет 0,18. Отсюда можно сделать вывод, что необходимо менять материал корпуса прибора или материал защиты детектора. Опыт № 6 показывает, что использование более прозрачного для γ -излучения материала, такого как пластик, позволяет повысить коэффициент эффективности прибора до 0,45. Этого вполне достаточно для нормальной работы прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детектор скрытых пустот “Рось 4М” [Электронный ресурс]. – Режим доступа к странице : <http://www.iskra.lg.ua/index.php?lang=ru&page=sci-tech-prod/ros4m>
2. Калюжный А.В. Исследование методов контроля скрытых пустот различными способами / Калюжный А.В. - Адаптивные системы автоматического управления. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 10(30). – Днепропетровск, 2007. – с. 54 – 62.

Получено 27.04.2010г.