

УДК 621.386.82:004.942

**Л. С. Сорока**, доктор технических наук, ректор Академии таможенной службы Украины  
**Н. Г. Стервиедов**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина  
**Т. В. Малыхина**, старший преподаватель Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина

## РАЗРАБОТКА ПЕРЕНОСНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ЛОКАЦИИ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

*У статті розглядаються питання, пов'язані з розробкою переносного приладу для локації точкових джерел випромінювання. Розроблюваний прилад може бути використаний на контрольно-пропускних пунктах, таких як прикордонні пункти пропуску, для контролю переміщення радіоактивних джерел.*

*В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой переносного прибора для локации точечных источников излучения. Разрабатываемый прибор может быть использован на контрольно-пропускных пунктах, таких как пограничные пункты пропуска, для контроля перемещения радиоактивных источников.*

*The questions related to the development of a portable device for locating point sources of radiation are discussed in this article. The developed device can be used at check-points such as frontier crossing points for monitoring the movement of radioactive sources.*

**Ключевые слова.** Обнаружение радиоактивных материалов, детекторы излучения, компьютерное моделирование детекторов, Geant4.

**Введение.** В соответствии с международными соглашениями в отношении перемещения радиоактивных материалов в пределах государств и между ними должны применяться строгие регулирующие, административные, связанные с безопасностью и инженерно-технические меры контроля, цель которых заключается в обеспечении надежности и безопасности таких перемещений. Государства обязаны вести борьбу с незаконным оборотом и непреднамеренными перемещениями радиоактивных материалов. Поэтому технология обнаружения радиоактивных материалов, развивающаяся в последние годы быстрыми темпами, является актуальной и востребованной.

Приборы для обнаружения радиоактивных материалов на границах могут быть разделены на три категории: компактные, переносные и стационарно смонтированные автоматические приборы.

Компактные приборы – это небольшие, легкие приборы, используемые для обнаружения наличия радиоактивных материалов и информирования пользователя об уровнях излучения.

Переносные приборы обычно обладают более высокой чувствительностью и используются для обнаружения, локализации или идентификации радиоактивных материалов. Такие приборы могут также оказаться полезными для проведения более точных измерений мощности дозы в целях определения требований радиационной безопасности.

Стационарно смонтированные автоматические приборы предназначены для использования на контрольно-пропускных пунктах, таких как пограничные пункты пропуска на шоссе и железных дорогах, в аэропортах или морских портах.

© Л. С. Сорока, Н. Г. Стервиедов, Т. В. Малыхина, 2011

---

В работах [1, 2] были предприняты попытки создания макетов относительно недорогих приборов для определения направлений на источник излучения. Рассматривался вариант определения направления на плоскости с переменной толщиной поглотителя от 2 см до 0 см [1, 42], а также использовался кольцевой поглотитель [2, 34] с двумя детекторами. Однако данные, полученные в результате экспериментов с макетами разрабатываемых приборов, не позволяли сделать вывод об однозначности определения источника даже в плоскостном варианте.

**Постановка задачи.** Кафедра электроники и управляющих систем факультета компьютерных наук Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина разрабатывает переносной прибор для локации точечных источников излучения. Прибор должен быть относительно недорогим, но с достаточной точностью и достоверностью определять направление на точечный источник излучения. Одним из этапов решения задачи была разработка макета переносной установки, предназначенной для определения направления на источник гамма-излучения. Установка состоит из детекторного блока, представляющего собой сферический поглотитель с несимметрично расположенными в нём полостями и встроенными в них полупроводниковыми детекторами на основе CdZnTe, и электронного регистрирующего блока. Для выявления возможности определения направления на источник излучения была проведена предварительная серия экспериментов, в которой в качестве источника излучения использовался изотоп Cs-137 (гамма-кванты с энергией 661 кэВ), расположенный на расстоянии 0,8 м от геометрического центра поглотителя. Измерения производились при шаговом повороте поглотителя на 20° в трех плоскостях. Направление на источник гамма-излучения определялось из отношения интенсивностей проникающего излучения, измеренных детекторами.

**Результаты исследования.** Важным этапом данной работы является компьютерное моделирование отклика детекторов экспериментальной установки, предназначенной для определения направления на источник излучения [3, 135]. Для компьютерного моделирования процессов взаимодействия излучения с веществом существуют различные средства, использующие метод Монте-Карло. Библиотека классов Geant4 [4, 253] обладает достаточным набором инструментов, поэтому использовалась при разработке программ компьютерного моделирования отклика детекторов.

Моделирование ядерно-физических процессов взаимодействия гамма-излучения с веществом детекторов и установки в целом 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” [5, 236]. Геометрические параметры модели соответствовали параметрам детекторного блока прототипа прибора. При описании физических процессов для гамма-квантов учитывались: фотоэффект, комптоновский эффект, а также необходимые процессы для вторичных частиц. Пороговые энергии  $E_{cut}$  были выбраны равными 1 кэВ. Программа имеет два режима работы: пакетный и интерактивный с графическим интерфейсом. Пакетный режим работы программы Tank необходим для моделирования с набором большой статистики событий для последующей обработки. Интерактивный режим с графическим интерфейсом предназначен для визуализации модели детекторного блока установки и траекторий частиц для наиболее полного представления пространственного распределения гамма-квантов во время прохождения через установку. Модуль визуализации использует библиотеку OpenGL. На рис. 1 представлен скриншот программы Tank, интерактивный режим.

На рисунке изображен фрагмент сферического поглотителя, в котором находятся два детектора, один из которых помещен в асимметрично расположенную сферическую полость. Было проведено моделирование отклика детекторов для различного положения источника гамма-излучения относительно детекторного блока, полярный угол изменялся от 0° до 90°, азимутальный угол изменялся от 0° до 340° с шагом 20°. Пример смоделированных спектров поглощенной в детекторах энергии представлен на рис. 2. Источник излучения в этом случае находился в точке с координатами  $\theta = 90^\circ$  (полярный угол),  $\phi = 180^\circ$

(азимутальный угол). На рис. 3 представлены упрощенная схема детекторного блока, а также точки расположения гамма-источника. На рисунке изображен поглощающий алюминиевый шар S0, сферическая полость S1, детекторы гамма-излучения D1 и D2.

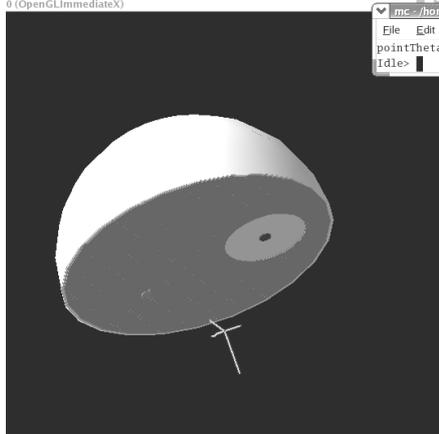


Рис. 1. Скрин-шот программы, интерактивный режим

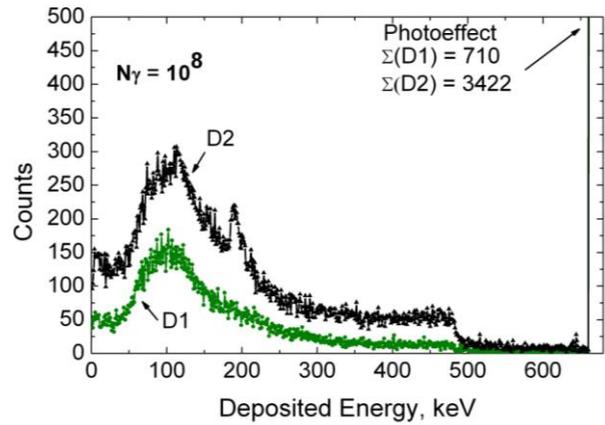


Рис. 2. Пример смоделированных спектров поглощенной энергии

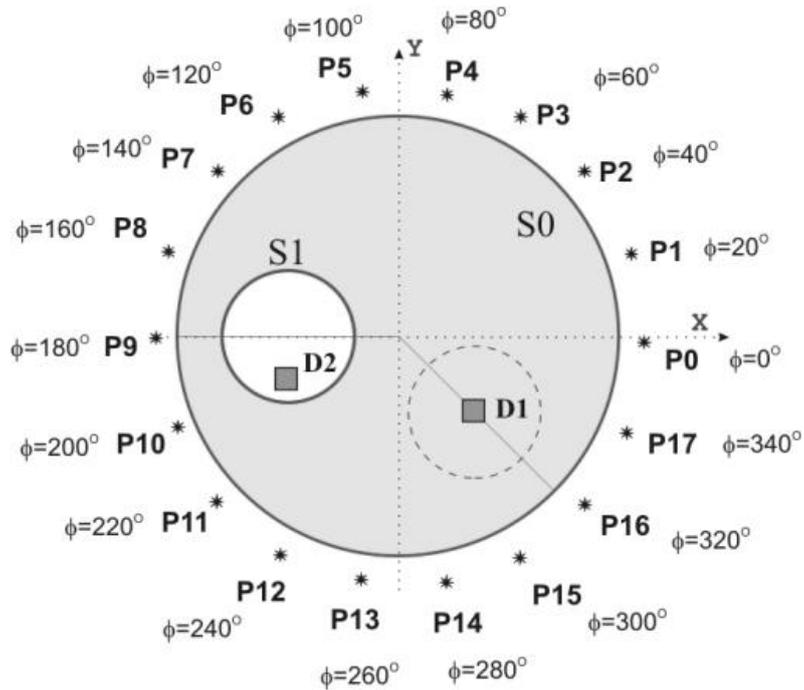


Рис. 3. Упрощенная схема детекторного блока

Для обработки данных компьютерного моделирования разработана программа, которая использует результаты Geant4-моделирования прохождения гамма-квантов с энергией 661 кэВ через детекторный блок установки. В качестве входных данных используется смоделированный отклик детекторов экспериментальной установки. Программа позволяет вычислять энергетические спектры гамма-квантов, зарегистрированных детекторами, а также проводить анализ этих спектров. Энергетические спектры гамма-квантов вычисляются для различных положений источника гамма-излучения. На рис. 4 представлены скрин-шоты программы обработки данных моделирования. 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. Для удобства пользователя результат представляется в графическом виде, а также может быть сохранен в текстовом формате.

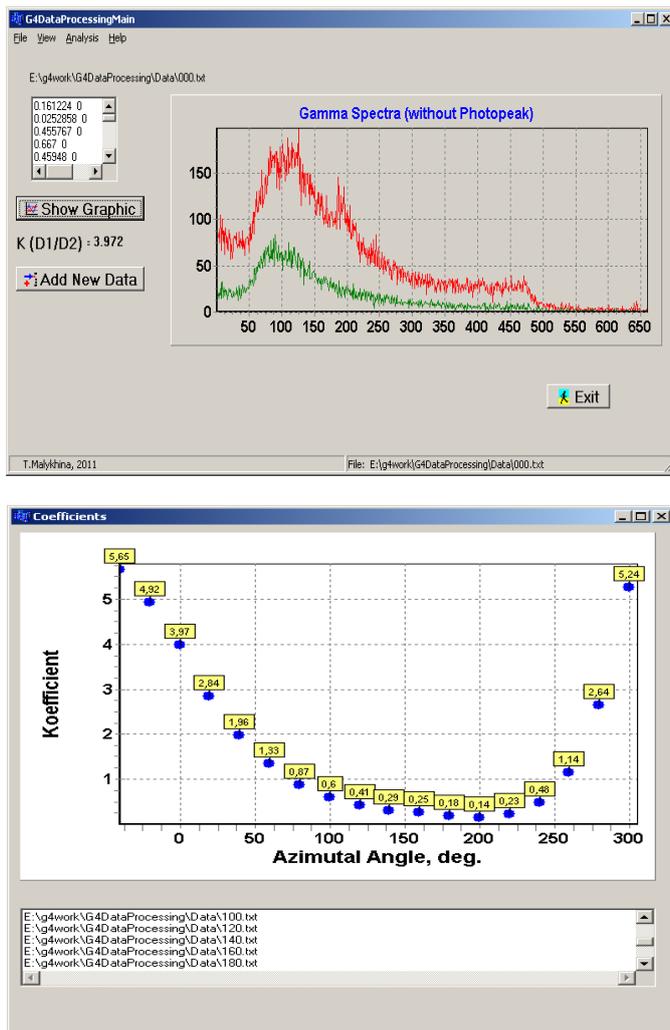


Рис. 4. Программа обработки данных компьютерного моделирования

---

### Описание электронного блока устройства

Следующим этапом данной работы является изготовление и настройка прототипа устройства, смоделированного при помощи компьютерной программы Tank.

Основой электронного регистрирующего блока устройства является RISC-микроконтроллер PIC16F877A фирмы Microchip, при помощи которого осуществляется подсчет импульсов с детекторов, предварительная обработка информации, её автономная визуализация и передача данных на компьютер. К его входам подключены два компаратора, преобразующие входные сигналы от детекторов, дисплей, клавиатура, а также микросхемы – преобразователи интерфейса (FT245BM и MAX232) для соединения прибора с персональным компьютером по интерфейсу USB или RS-232.

На рис. 5 изображена принципиальная схема электронного блока, представляющего собой двухканальный микроконтроллерный счетчик-таймер. Дисплей Winstar WH0802 (2 строки по 8 символов) подключен к порту PORTA микроконтроллера. Дисплей имеет собственный контроллер – HD44780U фирмы Hitachi. По линиям LCD\_D4, D5, D6, D7 (RA0-RA3) осуществляется передача управляющих команд и кодов символов, а линии LCD\_RS, LCD\_Enable являются управляющими. На дисплей выводится информация о количестве импульсов, которые поступили по обоим каналам, их отношение, заданное время экспозиции, а также информация о режимах работы прибора.

Клавиатура прототипа прибора подключена к портам микроконтроллера – RE0, RE1, RC0, RC1 и RB1. Строки клавиатуры подключаются к микроконтроллеру через дешифратор 74AC138 к портам RE0, RE1 (линии обозначены на схеме A0, A1), а столбцы – к портам RC0, RC1 и RB1 (линии PFAHL1, 2, 3). Столбцы клавиатуры сканируются на входах микроконтроллера RC0, RC1 и RB1. С помощью клавиатуры задаются программы работы контроллера и режимы работы счетчика-таймера в целом.

Микросхема-преобразователь интерфейсов FT245BM фирмы Future Technology Devices Intl. Limited (USB) подключена к портам контроллера RD0 – RD7 (шина данных DAT0-DAT7) и RB2 – RB7 (линии управления RD, WR, TXE, RXF, PWREN, SI/WU).

Фирма-производитель свободно распространяет драйвер для этой микросхемы, который работает в операционных системах Win98/ME/2000/XP. Микросхема 93C46 – это flash-память небольшого объема, которая необходима для хранения информации. Микросхема-преобразователь интерфейсов MAX232 (RS-232) подключена к последовательному синхронно-асинхронному приемопередатчику USART микроконтроллера – порты RC6, RC7 (TX, RX). Эта микросхема осуществляет преобразование уровней сигналов для подключения портов микроконтроллера к последовательному порту компьютера. Компараторы напряжения изготовлены на интегральных микросхемах KP554CA3. По своему функциональному назначению они являются интегральными дискриминаторами с регулируемой чувствительностью. Дискриминаторы преобразуют входные импульсы положительной и отрицательной полярности, амплитуда которых превышает установленный порог, в стандартные сигналы TTL-уровня. С выходов компараторов импульсы подаются на внутрисхемные счетчики микроконтроллера, где осуществляется их подсчет. Электропитание прибора производится напряжениями +5 В, +12 В, –12 В, а также регулируемым от 10 В до 37 В напряжением для смещения детекторов. К компьютеру счетчик-таймер подключается с помощью интерфейсного кабеля USB либо кабеля RS-232.

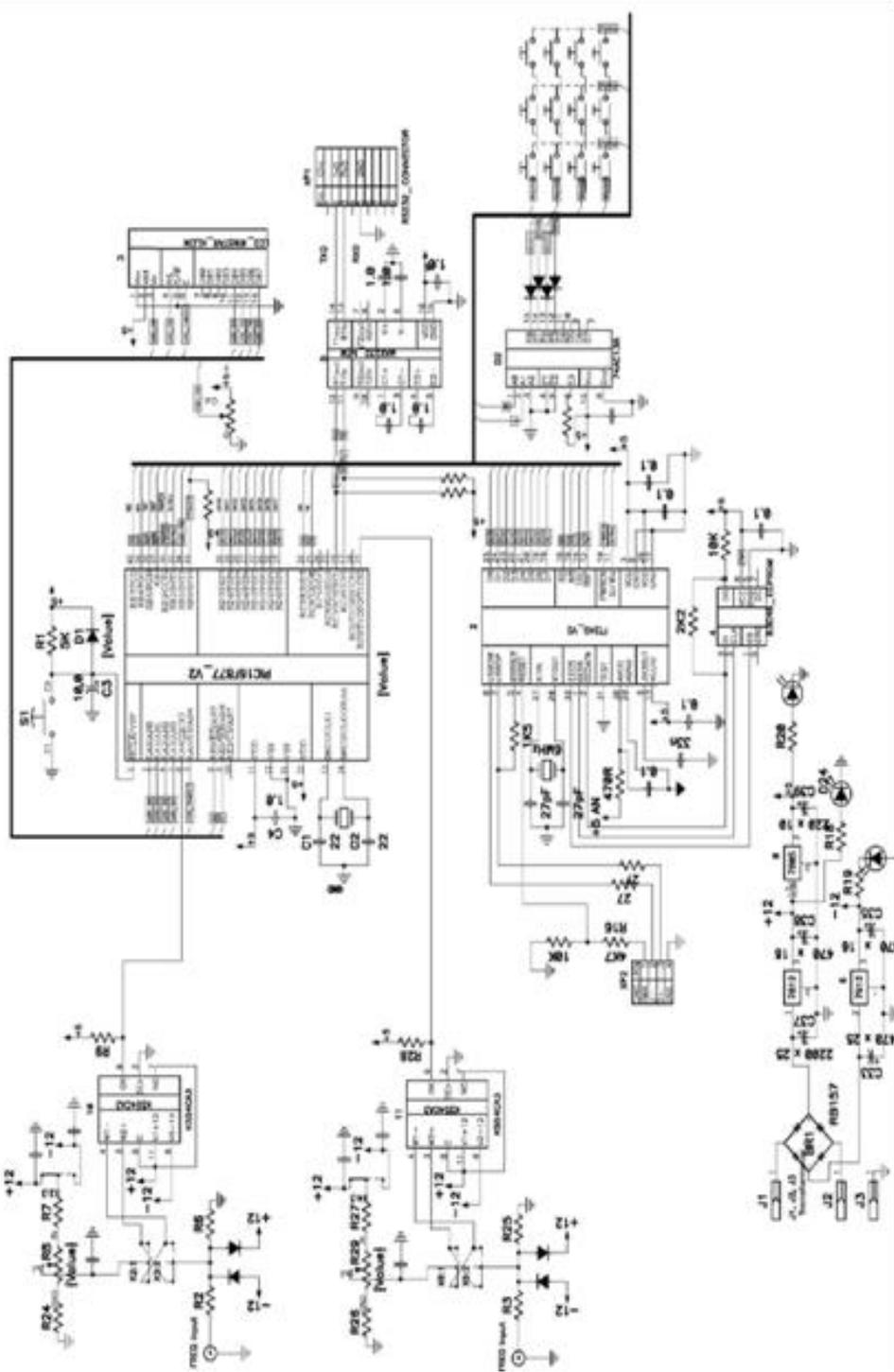


Рис. 5. Схема двухканального микроконтроллерного счетчика-таймера

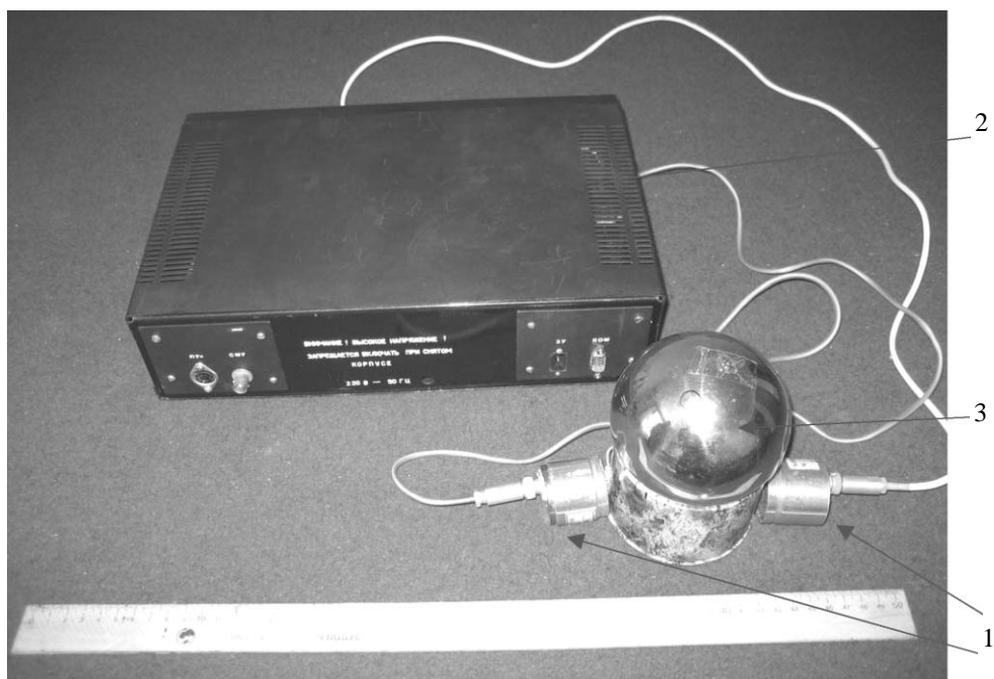


Рис. 6. Фотография установки

На рис. 6 представлена фотография прототипа разрабатываемого переносного прибора: 1 – усилители; 2 – измерительный блок; 3 – детекторный блок прибора.

**Выводы.** Данные проведенного компьютерного моделирования позволяют утверждать, что однозначное определение направления на точечный источник гамма-излучения возможно в диапазоне азимутальных углов от  $-40^\circ$  до  $200^\circ$  при изменении полярных углов от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , что вполне достаточно для практического применения прибора, обладающего достаточной угловой чувствительностью.

Экспериментально на действующем макете были проверены точностные характеристики определения направления на источник гамма-излучения Cs-137, и показано, что погрешность определения направления на точечный источник определяется статистической погрешностью измерения числа зарегистрированных гамма-квантов обоими счетчиками. На рис. 7 представлены графики зависимости от азимутального угла коэффициентов отношения интенсивностей потока гамма-квантов в детекторах D1 и D2, а также данные лабораторных измерений.

Можно заметить (рис. 7) хорошее соответствие смоделированных результатов и экспериментальных данных для источника гамма-излучения Cs-137, во всем диапазоне азимутальных углов (от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ), при значениях полярного угла более  $20^\circ$ .

В перспективе – усовершенствование прибора для определения в пространстве ( $4\pi$ ) направления на точечный источник гамма-излучения. Предполагаемое усовершенствование связано с добавлением в систему дополнительного детектора излучения.

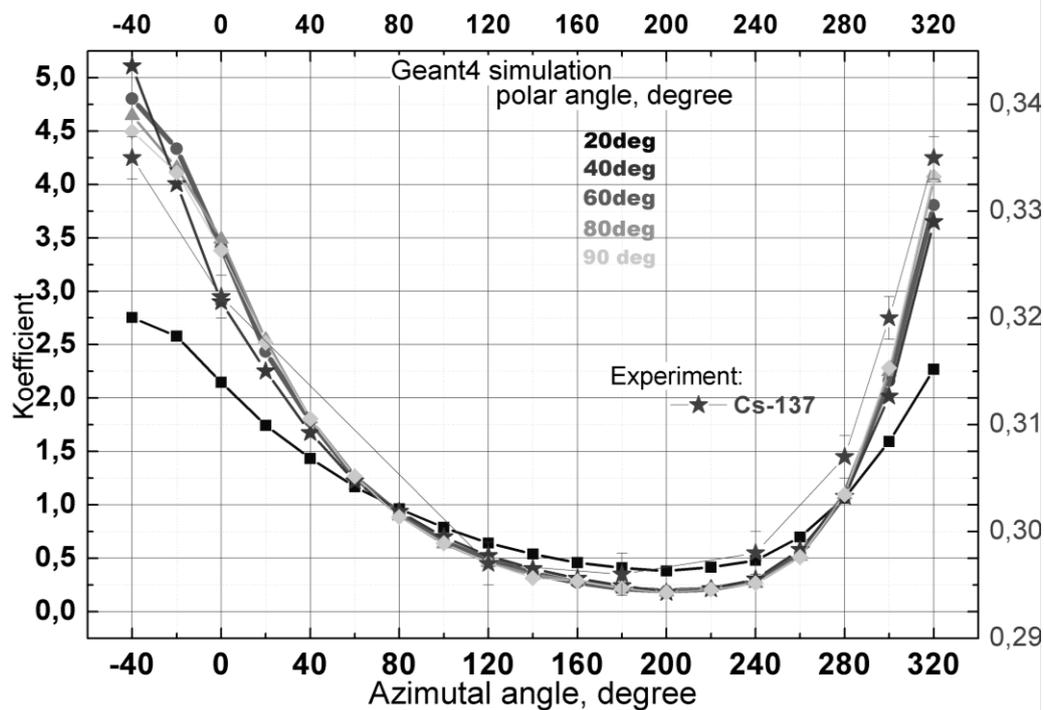


Рис. 7. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными

#### Литература

1. Беденко Л. Б. Практичне застосування напівпровідникових детекторів іонізуючих випромінювань: гамма-спектрометр ТДК 10 та пристрій для визначення напрямку на джерело випромінювання / Л. Б. Беденко, А. Н. Григор'єв // Захист населення і території у надзвичайних ситуаціях : матеріали науково-практичної конференції. – Харків, 2006.
2. Беденко Л. Б. Дослідження способів локації джерел проникаючих ядерних випромінювань / Л. Б. Беденко, А. Н. Григор'єв, О. В. Сакун, С. М. Коваленко // Системи озброєння та військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 33–37.
3. Малыгина Т. В. Компьютерное моделирование установки для локализации источника гамма-излучения / Т. В. Малыгина, В. В. Марущенко, А. В. Сакун, Н. Г. Стервеедов // Вестн. Харьковск. ун-та. Сер. МИА. – 2010. – № 925. – Вып. 14. – С. 132–139.
4. Apostolakis J. Geant4 – a simulation toolkit / Apostolakis J. et. al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2003. – A 506. – P. 250–303.
5. Geant4 Physics Reference Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf>. Электрон. версия печ. публикации, 2009. – PDF формат. – 534 с.