

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Особенности измерения ядерного материала методами гамма-спектрометрии

УДК 543.429.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Никишкин Тимофей Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ФЭУ ФТИ	С.С. Чурсин			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ ФТИ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ФЭУ

О. Ю. Долматов

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Никишкину Тимофею Геннадьевичу

Тема работы:

Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– спектрометрический тракт на основе полупроводникового детектора из особо чистого германия; – программа математической калибровки по эффективности LabSOCS; – основные геометрии проведения гамма-анализа ядерного материала.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– анализ нормативно-правовых документов по вопросам организации и функционирования систем учёта и контроля ядерных материалов на ядерном объекте; – изучение основных используемых в гамма-спектрометрии геометрических моделей для проведения гамма-анализа; – изучение способов калибровки по эффективности и ознакомление с программой математической калибровки по эффективности LabSOCS; – анализ зависимости максимальной эффективности детектирующей системы от

	геометрии измерений.
Перечень графического материала	Схема спектрометрического тракта
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.А. Сечина
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику:	16.05.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ФЭУ ФТИ	С.С. Чурсин			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Т.Г. Никишкин		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Никишкину Тимофею Геннадьевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	– стоимость материалов и оборудования; – квалификация исполнителей; – трудоёмкость работы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– оклады исполнителей
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	– оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ; – QuaD-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– планирование работ; – формирование графика исследования.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	– обоснование эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>нет</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.05.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Никишкин Тимофей Геннадьевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Никишкину Тимофею Геннадьевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды: электромагнитные поля, ионизирующее излучение; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.04.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Никишкин Тимофей Геннадьевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Кафедра Физико-энергетические установки

Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года) _____

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.06.2015
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
20.05.2016	<i>Теоретические исследования</i>	
30.05.2016	<i>Экспериментальные исследования</i>	
09.06.2016	<i>Анализ полученных результатов</i>	
24.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ФЭУ ФТИ	С.С. Чурсин			16.05.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		16.05.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страниц, 20 рисунков, 15 таблиц, 22 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: гамма-излучение, спектрометрический анализ, полупроводниковый детектор, эффективность детектора, калибровка по эффективности, программное обеспечение LabSOCS, геометрия измерений.

Объектом исследования являются особенности измерения ядерного материала в различной геометрии методом гамма-спектрометрии.

Предметом исследования является влияние сорта ядерного материала на параметры гамма-спектрометрических измерений.

Цель работы – рассмотреть особенности измерения ядерных материалов и радиоактивных веществ в различной геометрии методом гамма-спектрометрии с использованием программы математической калибровки по эффективности LabSOCS.

В процессе исследования проводился анализ основных используемых в гамма-спектрометрии геометрических моделей для проведения гамма-анализа. Также были изучены способы калибровки по эффективности и изучена программа математической калибровки по эффективности LabSOCS.

По результатам работы в программе LabSOCS созданы шаблоны основных геометрий источников ионизирующих излучений наиболее часто применяемых для гамма-измерений и рассчитаны эффективности регистрации выбранных геометрий по созданным в программе геометрическим моделям. Также было проведено сравнение максимальных эффективностей рассмотренных геометрий и проведён анализ полученных результатов. По результатам проведённых исследований были разработаны рекомендации по проведению гамма-спектрометрических измерений в зависимости от используемых геометрий измерений.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	13
1 Теоретические основы гамма-спектрометрии	15
1.1 Гамма-излучение ядер	15
1.2 Взаимодействие гамма-излучения с веществом	16
1.3 Регистрация гамма-излучения. Детекторы гамма-излучения	17
1.4 Пропорциональные газовые счетчики	18
1.5 Сцинтилляционные детекторы гамма-излучения.....	19
1.6 Полупроводниковые детекторы	20
1.7 Германиевые детекторы	22
1.8 Спектрометрический тракт на основе полупроводникового германиевого детектора.....	23
1.8.1 Коаксиальный германиевый детектор с предусилителем	23
1.8.2 Цифровой анализатор спектра MCA DSA 1000	25
1.8.3 Базовое программное обеспечение Genie-2000	26
1.9 Эффективность регистрации	28
1.10 Методы калибровки по эффективности	30
2 Измерение ядерных материалов	32
2.1 Описание приборной базы эксперимента.....	32
2.2 Программа математической калибровки по эффективности LabSOCS	33
2.3 Выбор геометрии измерения ядерных материалов	36
2.4 Расчет эффективностей геометрий в зависимости от параметров	38
2.4.1 Точечная геометрия	38
2.4.2 Геометрия Дента	40
2.4.3 Геометрия Маринелли.....	42
2.5 Сравнения эффективностей	44
3 Финансовый менеджмент.....	49
3.1 Обзор рассматриваемых вопросов	49

3.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	50
3.3 Планирование НИР	52
3.4 Определение трудоемкости выполнения НИР	54
3.5 Разработка календарного плана работ	55
3.6 Бюджет научно-технического исследования	59
3.7 Расчет экономического эффекта от применения программного обеспечения LabSOCS для калибровки по эффективности в данной научно-исследовательской работе	63
4 Социальная защита	66
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	66
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния	68
4.2.1 Требования к организации работ с использованием персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ)	68
4.2.2 Технические мероприятия	68
4.2.3 Условия безопасной работы	70
4.3 Радиационная безопасность	73
4.4 Электробезопасность	75
4.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	77
Заключение	79
Список публикаций студента.....	80
Список использованных источников	81
Приложение А	84
Приложение Б.....	85

Введение

Режим ядерного нераспространения является одной из составных частей системы международных отношений и одним из наиболее актуальных вопросов международной безопасности.

Любая форма контроля ядерных материалов и радиоактивных веществ сводится к определению их активности. Для работников, имеющих дело, с ионизирующим излучением, наиболее важно проведение качественного и количественного анализа. Такие задачи решаются методами гамма-спектрометрии.

Количественный анализ содержания ^{235}U необходим на всех стадиях ядерно-топливного цикла: определение массы ^{235}U в учетных единицах является одной из процедур учета и контроля ядерных материалов при определении фактически наличного количества ядерных материалов в зоне баланса материалов. Масса ^{235}U , содержащегося в ядерном материале, является одним из критериев определения категории ядерного материала. Определения массы ^{235}U в готовых изделиях представляет собой интерес с точки зрения обеспечения ядерной безопасности – в частности, контроля критичности и с точки зрения соблюдения технических регламентов промышленного производства делящихся материалов.

Анализы, основанные на предположении, что интенсивность гамма-излучения ^{235}U из образцов урана достаточной толщины пропорциональна массе ^{235}U в образце получили широкое распространение. Основной проблемой при определении массы ^{235}U по гамма-излучению является формирование корректной калибровки по эффективности.

Программа LabSOCS предназначена для формирования калибровки расчетным способом на основании набора данных, описывающих параметры измерений.

Целью данной работы рассмотреть особенности измерения ядерных материалов и радиоактивных веществ в различной геометрии методом гамма-

спектрометрии с использованием программы математической калибровки LabSOCS.

Для достижения поставленной цели были определены следующие основные задачи:

- рассмотреть основные используемые в гамма-спектрометрии геометрические модели для проведения гамма-анализа;
- изучить способы калибровки по эффективности и изучить программу математической калибровки по эффективности LabSOCS;
- в программе LabSOCS создать шаблоны основных геометрий источников ионизирующего излучения наиболее часто применяемых для гамма-измерений и рассчитать эффективности регистрации выбранных геометрий по созданным геометрическим моделям;
- провести анализ полученных результатов.

Помимо решения основных задач в работе рассмотрены вопросы безопасности при проведении экспериментов и анализа данных, экономический эффект от использования метода проведения калибровок с использованием ПО LabSOCS и вопросы планирования и стоимости проведения научно-исследовательской работы.

1 Теоретические основы гамма-спектрометрии

Методы гамма-спектрометрии основаны на том, что большинство ядерных материалов, которые подвергаются учету и контролю, испускают гамма-излучение, которое может быть использовано для неразрушающего анализа этих материалов. Гамма-излучение имеет хорошо известные энергии, которые являются характеристиками испускающих их изотопов. Значения этих энергий служат для идентификации изотопного состава материалов. При объединении с измерениями интенсивностей излучения можно получить информацию о количестве имеющегося материала и его обогащении.

1.1 Гамма-излучение ядер

Гамма-лучи являются электромагнитным излучением атомных ядер. Излучение возникает при переходах ядра из возбужденных состояний в основное или менее возбужденное состояние и имеет линейчатый спектр. Энергии линий гамма-спектра характерны для данного ядра и определяются системой энергетических уровней ядра. Любое ядро обладает конечным числом дискретных уровней, или энергетических состояний. Каждый уровень характеризуется определенными величинами энергии, момента количества движения и четности. Состояние с наименьшей возможной для данного ядра энергией называется основным [1].

Основное состояние может быть либо стабильным, либо динамически неустойчивым, т. е. испытывающим самопроизвольное превращение типа α -распада или β -превращений. Все остальные состояния являются возбужденными. При энергиях возбуждения, не превышающих энергию связи последнего нуклона или группы нуклонов в ядре, основным способом распада возбужденных состояний является гамма-переход. Такие состояния называются связанными. Их энергия возбуждения может быть реализована путем либо радиационных переходов (испускание гамма-квантов), либо конверсии

(передачи энергии возбуждения одному из внутренних электронов оболочки или образование пары «электрон-позитрон») [2].

Энергия перехода при снятии возбуждения испусканием гамма кванта равна разности энергий уровней ядра, между которыми происходит переход:

$$E_{\gamma} = E_t - E_f, \quad (1)$$

где E_{γ} – энергия перехода между уровнями с энергиями E_t и E_f .

E_{γ} при радиационном переходе равна сумме энергии излученного гамма-кванта и кинетической энергии ядра отдачи. Кинетическая энергия ядра отдачи пренебрежимо мала по сравнению с энергией гамма-кванта, следовательно, энергия излученного гамма кванта равна энергии перехода между энергетическими уровнями ядра и может быть представлено в виде:

$$E = h\nu + T_R \approx h\nu, \quad (2)$$

где $h\nu$ – энергия гамма кванта, МэВ;

T_R – кинетическая энергия ядра отдачи, МэВ.

1.2 Взаимодействие гамма-излучения с веществом

Гамма-излучение, находящееся в диапазоне от 10–3000 кэВ взаимодействует с веществами детекторов и поглотителей посредством трех основных процессов:

- фотоэлектрического поглощения гамма-квантов;
- комптоновского рассеяния гамма-квантов с образованием комптоновского электрона;
- образования пары электрон-позитрон.

В чувствительном объеме детектора эти процессы взаимодействия приводят к образованию вторичных ионизирующих частиц – электронов, формирующих регистрируемый сигнал, в материалах образца и поглотителей, расположенных между источником излучения и чувствительным объемом детектора, эти процессы вызывают рассеяние и поглощение гамма-квантов, что

в итоге сказывается на спектре излучения, получаемом при анализе образцов [3].

Суммарная вероятность взаимодействия образования вторичных электронов описывается как сумма вероятностей каждого из перечисленных процессов и выражается с помощью полного коэффициента ослабления, который является суммой соответствующих коэффициентов ослабления для отдельных эффектов.

При фотоэлектрическом поглощении гамма-кванта, которое имеет место при взаимодействии гамма-квантов с электронами на внутренних K -, L - и M -оболочках атома, гамма-квант исчезает, передав энергию электрону, который покидает свою оболочку.

1.3 Регистрация гамма-излучения. Детекторы гамма-излучения

Для того чтобы гамма-квант был обнаружен, он должен провзаимодействовать с веществом детектора и это взаимодействие должно быть зарегистрировано. Электромагнитная природа фотонов гамма-излучения позволяет им взаимодействовать с заряженными электронами атомов всех веществ. Ключевым процессом, посредством которого обнаруживается гамма-квант, является ионизация, в процессе которой он отдает часть или всю свою энергию электрону. Ионизационные электроны сталкиваются с другими атомами и высвобождают еще больше электронов. Освобожденный заряд собирается либо непосредственно (как в пропорциональном счетчике или твердотельном полупроводниковом детекторе), либо косвенным образом (как в сцинтилляционном детекторе), чтобы зарегистрировать гамма-квант и измерить его энергию. Окончательный результат этого процесса представляет собой электрический импульс, который впоследствии анализируется.

Для целей подсчета гамма-квантов с определенной энергией необходимо использовать детектор гамма-излучения, амплитуда сигнала на выходе которого пропорциональна энергии частицы, вызвавшей сигнал. Такими

детекторами являются пропорциональные газовые счетчики, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы. Ниже рассмотрены устройство и принцип действия этих детекторов [4].

1.4 Пропорциональные газовые счетчики

Газовые ионизационные детекторы представляют собой конденсаторы, в которых пространство между электродами заполнено газом. В зависимости от значения и напряженности электрического поля в газовом промежутке и его распределения эти детекторы обладают разными свойствами. При сравнительно малых напряженностях электрического поля ток, протекающий в электрической цепи, не зависит от напряжения на конденсаторе и равен произведению заряда электрона на число пар ионов, возникающих в единицу времени в объеме конденсатора. Такие детекторы называют ионизационными камерами. При более высоких значениях напряженности поля в результате вторичной ионизации происходит усиление первичного ионизационного эффекта. При этом ток зависит от напряжения на конденсаторе и пропорционален ионизационному эффекту, создаваемому излучением. Такие детекторы называют пропорциональными счетчиками. Ионизационные методы регистрации основаны на измерении заряда или тока, создаваемого заряженными частицами при прохождении в газовой полости конденсатора. В большинстве конструкций внешний электрод представляет собой цилиндрическую стенку сосуда, наполненного газом под давлением, а внутренний (положительный) электрод – тонкий провод, расположенный в центре по оси цилиндра (см. рисунок 1).

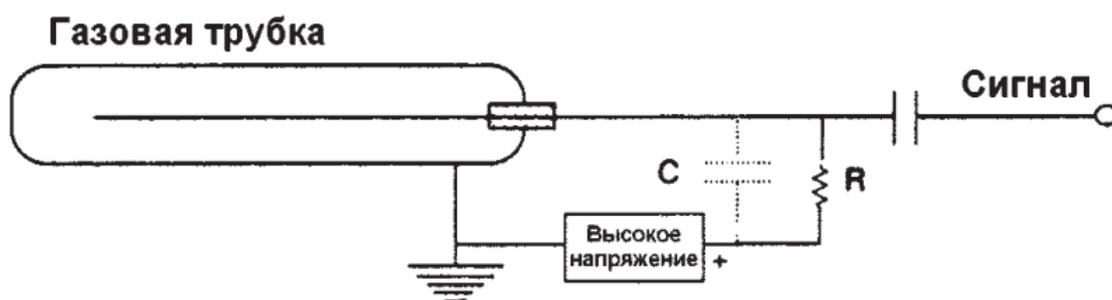


Рисунок 1 – Эквивалентная схема газонаполненного детектора

1.5 Сцинтилляционные детекторы гамма-излучения

Чувствительный объем сцинтилляционного детектора представляет собой люминесцентный материал, наиболее популярными материалами для сцинтилляционных детекторов гамма излучения являются – неорганические кристаллы NaI и CsI. При взаимодействии гамма-квантов с материалом сцинтиллятора, возникают ионизированные (возбужденные) атомы в материале сцинтиллятора, которые затем переходят в состояние с более низкой энергией и испускают фотоны света. Фотоны сцинтилляции попадают на фотокатод и высвобождают электроны посредством фотоэлектрического эффекта, эти фотоэлектроны затем ускоряются электрическим полем в фотоэлектронном умножителе (схема сцинтилляционного детектора с ФЭУ представлена на рисунке 2). По мере того как фотоэлектроны ускоряются, они сталкиваются с электродами в трубке (называемыми динодами), высвобождая дополнительные электроны, затем усиленный зарядовый импульс прибывает на выходной электрод (анод) трубки. Амплитуда этого импульса пропорциональна первоначальному количеству заряда, освобожденного на фотокатод ФЭУ; постоянная пропорциональности представляет собой коэффициент усиления ФЭУ. Согласно природе фотоэлектрического эффекта, первоначальное число фотоэлектронов, освобожденных на фотокатод, пропорционально количеству света, падающего на трубку фотоумножителя, которое, в свою очередь, пропорционально количеству энергии, потерянной в сцинтилляторе гамма-

квантом (в предположении отсутствия потерь в объеме сцинтиллятора). Таким образом, образуется выходной сигнал, пропорциональный энергии, потерянной гамма-квантом в сцинтиллирующей среде. Однако, измеренный энергетический спектр (даже для моноэнергетического потока фотонов) изменяется вследствие влияния на него фотоэлектрического эффекта, комптоновского эффекта и различных явлений рассеяния в сцинтиллирующей среде, а также в результате статистических флуктуации, связанных со всеми этими процессами.

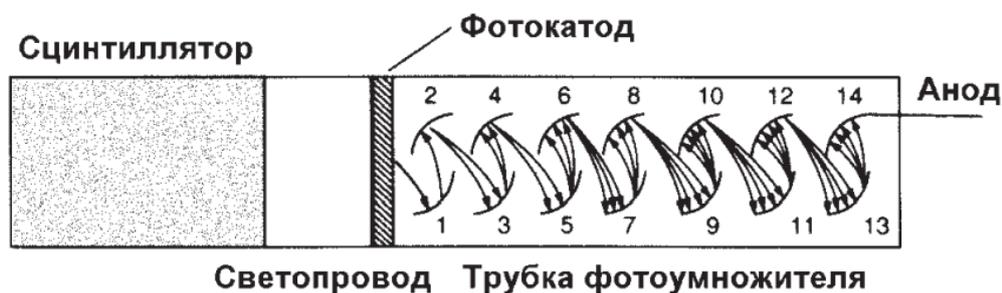


Рисунок 2 – Схема работы сцинтилляционного детектора с ФЭУ

1.6 Полупроводниковые детекторы

В полупроводниковых детекторах заряд, образованный при взаимодействии фотонов с материалом детектора, собирается непосредственно в детекторе. Типовая схема полупроводниковых детекторов показана на рисунке 3. Чувствительный объем представляет собой электронно-кондиционированную область (известную как обедненная область) в полупроводниковом материале, в которой свободно перемещаются электроны и дырки.

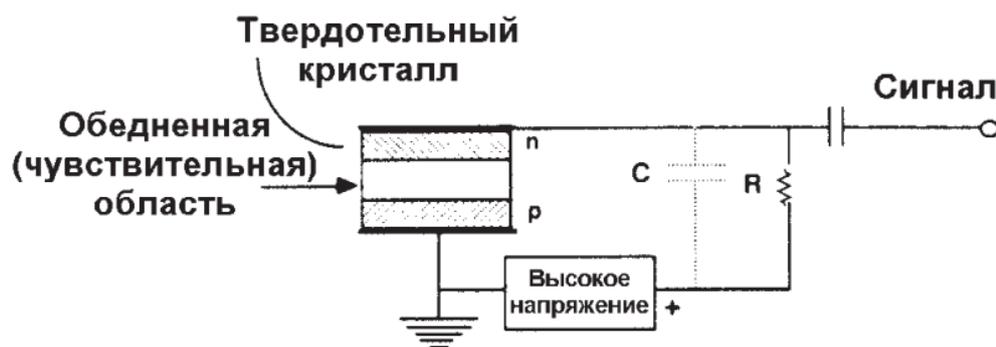


Рисунок 3 – Типичное расположение компонентов в твердотельном детекторе

Кристалл представляет собой обратно-смещенный p-n переход, который проводит заряд при образовании ионизации в чувствительной области. Обычно сигнал подается на зарядочувствительный предусилитель для преобразования в импульс напряжения [5].

Наилучшими материалами для изготовления полупроводниковых детекторов являются германий и кремний.

Германий обладает наиболее оптимальными электронными характеристиками и является наиболее широко используемым полупроводниковым материалом в твердотельных детекторах. Детектор действует как твердотельный пропорциональный счетчик, в котором ионизационный заряд перемещается в направлении электродов под действием электрического поля, образованного внешним источником высоковольтного питания. Предусилитель преобразует собранный заряд в импульс напряжения.

В последние годы производители детекторов создали кристаллы особо чистого германия (ОЧГ или HpGe), что устранило необходимость в литии и упростило работу с детектором, при хранении которого не нужен жидкий азот.

Другим популярным материалом твердотельных детекторов для спектрометрии фотонов является литий-дрейфовый кремний Si(Li). Более низкий атомный номер кремния по сравнению с германием снижает фотоэлектрическую эффективность примерно в 50 раз, но этот тип детектора широко используется в измерениях рентгеновских спектров в области энергий от 1 до 50 кэВ.

Для целей определения массы урана по гамма-излучению кремниевый детектор не подходит, т.к. линии гамма излучения ^{235}U , в этой области отсутствуют [6].

1.7 Германиевые детекторы

Для целей измерения массы урана в образцах необходимо выбрать детектор с хорошим разрешением, т.к. необходимо определить количество гамма-частиц с известной энергией, испущенных образцом за время измерения. В случае, если детектор будет иметь плохое разрешение, отсчеты, вызванные регистрацией частиц с другими значениями энергии, будут расценены как регистрации частиц с энергией, представляющей интерес для анализа, соответственно результаты определения массы будут завышены. Использование германиевых детекторов вместо сцинтилляторов, позволило существенно расширить возможности гамма-спектрометрии. Энергетическое разрешение HPGe детекторов приблизительно в 30 раз лучше, чем детекторов NaI(Tl). На рисунке 4 представлено сравнение спектров измеренных с Ge, LaBr₃(Ce) и NaI(Tl) детекторами [7].

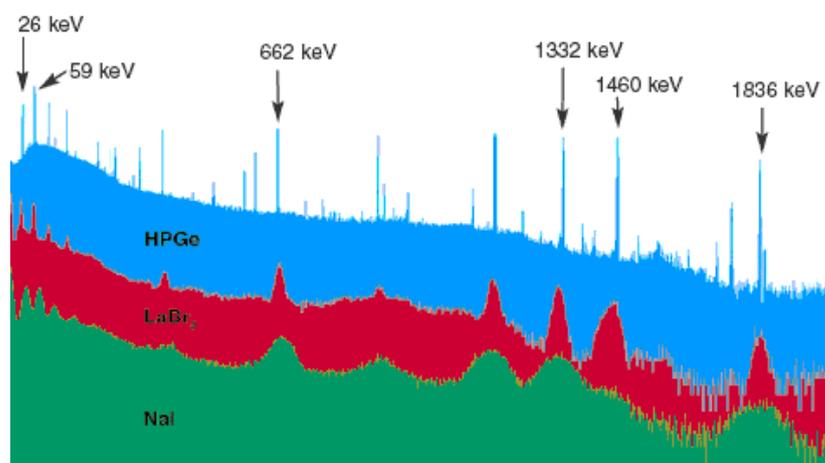


Рисунок 4 – Сравнение спектров, измеренных с Ge, LaBr₃(Ce) и NaI(Tl) детекторами

Таким образом, детекторы на основе германия имеют наилучшее разрешение, что и определяет выбор детектора на основе германия для целей определения массы изотопа ^{235}U по характеристикам его гамма-излучения [8].

1.8 Спектрометрический тракт на основе полупроводникового германиевого детектора

Спектрометрический тракт состоит из следующих блоков:

- коаксиального детектора из особо чистого германия (ОЧГ) со встроенным предусилителем помещенный в сосуд Дьюара;
- цифрового анализатора спектра DSA-1000 включающий в себя усилитель сигнала, формирователь сигнала, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), блоки низкого и высокого напряжения;
- ПК с установленной программной средой Genie-2000.

Блок-схема спектрометрического тракта представлена на рисунке 5.

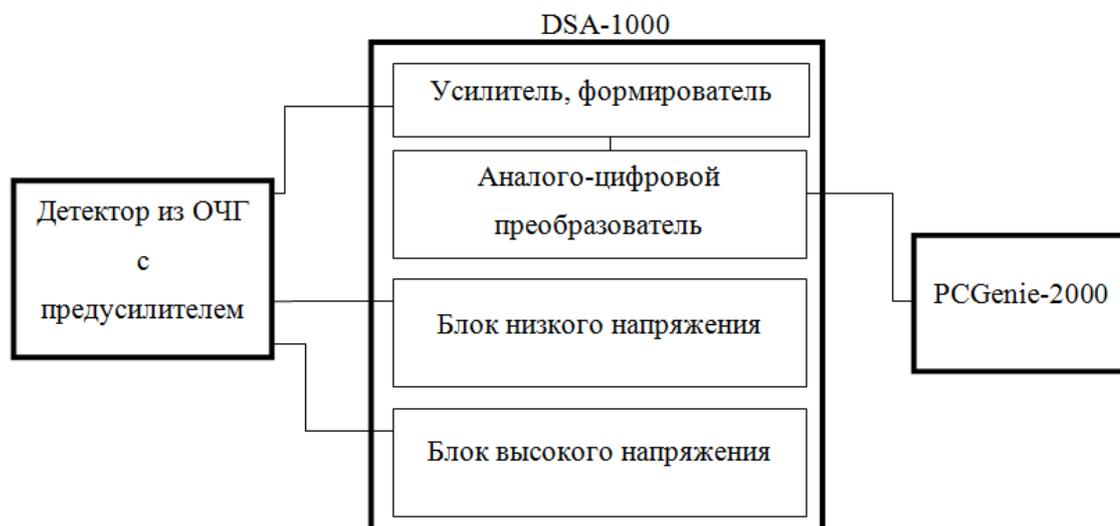


Рисунок 5 – Блок-схема спектрометрического тракта

1.8.1 Коаксиальный германиевый детектор с предусилителем

В данной работе исследования проводятся с использованием коаксиального германиевого детектора из особо чистого германия. Детектор

представляет собой германиевый цилиндр с N-контактом на внешней поверхности и P-контактом на поверхности осевого колодца (рисунок 6).

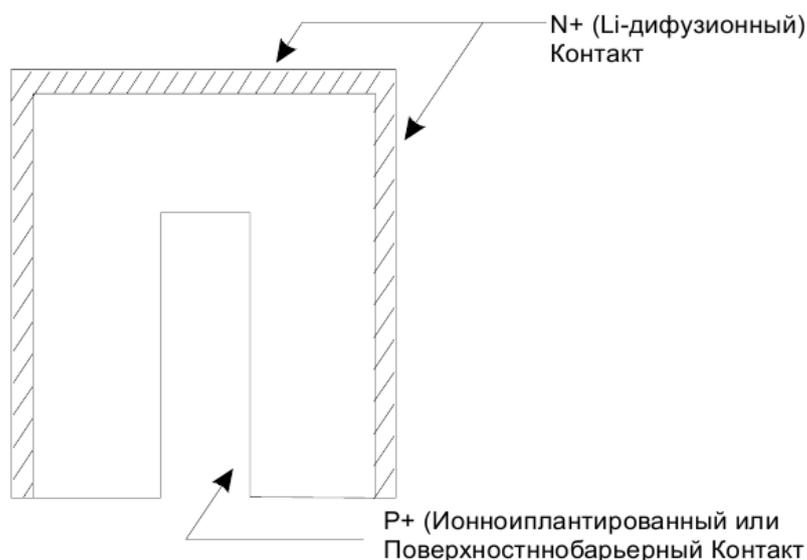


Рисунок 6 – Поперечный разрез коаксиального H_rGe детектора

Германий имеет уровень примесей 10^{10} атомов/см³, поэтому при умеренном обратном напряжении смещения, общий объем между электродами обедняется и электрическое поле расширяется через эту активную область. Проникновение фотонов в данную область приводит к тому, что носители заряда перемещаются под действием электрического поля к электродам, где интегральным зарядочувствительным преусилителем преобразуются в импульс напряжения, который пропорционален энергии потерянной в детекторе входящим фотоном.

Германиевые детекторы имеют относительно небольшую ширину запрещенной зоны носителей заряда. Поэтому они должны охлаждаться, чтобы уменьшить тепловое образование носителей заряда (и, следовательно, обратный ток утечки) до приемлемого для выполнения измерений уровня. В противном случае ток утечки вызывает шум, который снижает энергетическое разрешение детектора. Жидкий азот, имеющий температуру минус 196 °С, является обычным средством охлаждения для таких детекторов. Детектор монтируется в вакуумной камере, которая прикреплена или вставлена в сосуд

Дьюара, наполненный жидким азотом. Чувствительные поверхности детектора, таким образом, предохраняются от влажности и других загрязнений.

1.8.2 Цифровой анализатор спектра MCA DSA 1000

DSA-1000 (рисунок 7) представляет собой полный интегральный многоканальный анализатор с разрешением 16К (16384) каналов, построенный на основе современной технологии цифровой обработки сигналов (ЦСП). В сочетании с компьютером DSA-1000 образует законченную спектрометрическую станцию, обеспечивающую проведение набора и анализа спектра с высоким качеством. Прибор может работать со всеми существующими типами детекторов, включая HrGe , NaI , Si(Li) , CdTe или Cd(Zn)Te .



Рисунок 7 – Цифровой анализатор спектра DSA-1000

DSA-1000 работает в спектрометрической программной среде Genie-2000, предоставляющей пользователю возможности для построения спектрометрической системы. В семейство Genie-2000 входит набор различных прикладных программ. Характеристики DSA-1000 обусловлены применением технологии цифрового сигнального процессора, которая является основой анализатора. В отличие от традиционных систем, в которых оцифровка сигнала выполняется в конце цепочки обработки, в DSA-1000 оцифровывается сигнал непосредственно с предусилителя. При таком подходе количество входных аналоговых схем сокращается до минимума, обеспечивая повышение стабильности, точности и повторяемости результата.

Применение технологии ЦСП позволяет также улучшить общие параметры набора спектров. Традиционные аналоговые фильтры предоставляли весьма ограниченные возможности по формированию сигнала. ЦСП позволяет реализовать функции фильтрации и получить формы импульсов, улучшенные по сравнению с аналоговой схмотехникой. DSA-1000 обеспечивает стабильность положения пика, в некоторых случаях в два-три раза превосходящую стабильность предшествующих аналоговых систем, с практически незаметным дрейфом нуля во всем диапазоне рабочих температур прибора.

DSA-1000 работает как в режиме анализа амплитуд импульсов (ААИ), так и в режиме многоканального счета (МКС) для тех задач, в которых требуется измерение изменяющейся во времени величины. Режим МКС позволяет отображать данные, поступающие со внешнего входа, суммарные данные всего спектра или выделенной зоны интереса.

1.8.3 Базовое программное обеспечение Genie-2000

Базовое спектрометрическое программное обеспечение – это комплексная среда для набора, отображения и анализа данных в персональных компьютерах. Оно обеспечивает независимую поддержку нескольких детекторов одновременно, расширенные сетевые возможности, интерактивный оконный интерфейс пользователя и возможности комплексной пакетной обработки.

Отличительными особенностями данного ПО являются:

- интегрированная оболочка набора и анализа спектров;
- полностью независимая поддержка нескольких детекторов;
- возможность объединения систем в сеть для распределенного управления многоканальными анализаторами и централизованного управления данными;

- возможность комплексного и гибкого программирования в среде пакетной обработки;
- поддержка всех современных многоканальных анализаторов Canberra, в том числе и DSA-1000;
- большой выбор встраиваемых дополнительных модулей;
- совместимость с операционными системами Windows XP, 7, 8,10;
- пользовательский интерфейс и документация на различных языках, в том числе и на русском.

Архитектура Genie-2000 позволяет преодолеть ограничения традиционных систем на базе персонального компьютера. Процедуры обработки для нескольких детекторов могут быть запущены параллельно. Причем ни одна из них при этом практически не замедляется. Любая работа в рамках Genie-2000 полностью независима от других задач. Возможность управлять несколькими детекторами одновременно и независимо еще более расширена за счет встроенной поддержки сети. Genie-2000 приложения в нескольких процессорах могут общаться через сеть, что обеспечивает доступ на расстоянии с нескольких терминалов и к аппаратуре набора данных, и к другим ресурсам. Администратор лаборатории может проверить, какие измерения идут в настоящий момент на других компьютерах, и провести анализ, не прерывая измерения.

В Genie-2000 возможности набора данных и анализа тесно взаимосвязаны, что обеспечивает дружелюбный пользовательский интерфейс и ясное и простое управление. Посредством работы с окнами на экране можно расположить и сравнить графическое отображение данных спектра и результаты анализа [9].

1.9 Эффективность регистрации

Основным определением абсолютной (полной) эффективности регистрации фотонов является выражение:

$$\varepsilon_{\text{полн}} = \frac{\text{полное число зарегистрированных фотонов}}{\text{полное число фотонов, испущенных источником}}. \quad (3)$$

Полная эффективность может быть выражена в виде произведения четырех коэффициентов:

$$\varepsilon_{\text{полн}} = \varepsilon_{\text{геом}} \times \varepsilon_{\text{обр}} \times \varepsilon_{\text{собств}}. \quad (4)$$

Геометрическая эффективность ($\varepsilon_{\text{геом}}$) представляет собой долю испущенных фотонов, которые попадают в детектор. Для точечного источника она определяется выражением:

$$\varepsilon_{\text{геом}} = \frac{A_D}{4\pi r^2}, \quad (5)$$

где A_D – площадь поперечного сечения детектора, см^2 ;

r – расстояние между источником и детектором, см .

Этот коэффициент по существу не зависит от энергии фотона. Он отражает закон обратных квадратов для скорости счета, как функции расстояния между источником и детектором.

Эффективность поглощения ($\varepsilon_{\text{погл}}$) учитывает влияние промежуточных материалов (таких как корпус детектора, специальные поглотители и т.п.), которые поглощают часть входящего излучения перед тем, как оно взаимодействует с детектором. Математическая форма этого коэффициента имеет вид:

$$\varepsilon_{\text{погл}} = \exp[-\sum(\sum_i(E_\gamma)x_i)], \quad (6)$$

где \sum_i – линейный коэффициент поглощения i -го промежуточного материала, см^{-1} ;

x_i – толщина i -го промежуточного материала, см .

Суммирование проводится по всем типам промежуточных материалов.

Эффективность образца ($\varepsilon_{\text{обр}}$) представляет собой долю испущенных гамма квантов, которые реально попадают материал образца. Этот

коэффициент зависит от состава каждого образца (от сечений взаимодействия гамма квантов различных энергий с материалами образца).

Собственная эффективность ($\varepsilon_{\text{собств}}$) представляет собой вероятность того, что гамма квант, который попадает в детектор, провзаимодействует и даст импульс в пик полного поглощения. Простейшим образом эту эффективность можно получить из стандартной формулы поглощения:

$$\varepsilon_{\text{собств}} = 1 - e^{-\Sigma_c x}, \quad (7)$$

где Σ_c – фотоэлектрический линейный коэффициент ослабления материала детектора, см^{-1} ;

x – толщина чувствительного материала детектора, см.

Полная эффективность регистрации дает представление о соотношении количества гамма квантов, испущенных в материале источника и количестве гамма квантов, зарегистрированных детектором. Для того чтобы судить о количестве излученных гамма квантов за заданный промежуток времени по площади пика полного поглощения в гамма-спектре, необходимо построить кривую зависимости эффективности регистрации в пике полного поглощения от энергии излучения. Эффективность регистрации в пике полного поглощения (ε) зависит от тех же факторов что и полная эффективность, но множитель $\varepsilon_{\text{собств}}$ в данном случае должен учитывать вероятность того, что гамма квант с определенной энергией, попавший в детектор даст вклад в пик полного поглощения, соответствующий этой энергии.

Постольку поскольку эффективность регистрации в пике полного поглощения учитывает положение образца относительно детектора, материал и размеры образца для каждого конкретного эксперимента калибровка должна быть проведена отдельно. На практике калибровка по эффективности осуществляется с использованием эталонных источников с известными характеристиками излучения, причем геометрия при калибровочных измерениях должна соответствовать геометрии последующих экспериментов, или методами математического моделирования.

1.10 Методы калибровки по эффективности

Одной из главных проблем при проведении гамма-анализа является формирование корректной калибровки по эффективности.

Существует 2 метода калибровки по эффективности:

– экспериментальный – с использованием специальных калибровочных источников.

– математический – с использованием математических расчётов и моделей;

Для некоторых геометрий проведение калибровки экспериментальным методом, т.е. при помощи радиоактивных источников, обычно очень невыгодно или вообще невозможно.

Экспериментальный способ определения эффективности регистрации излучения достаточно трудоемкий и требует большого промежутка времени, так как необходимо каждый раз создавать образцовые источники в геометрии исследуемого образца. Зачастую такую операцию невозможно провести, особенно в условиях полевой работы.

Математический способ расчета позволяет избежать необходимости в калибровочных источниках. Однако этот метод требует определенных математических моделей, которые необходимо создавать. Существуют множество методик, которые предлагают алгоритмы моделирования функции профиля энергетического и пространственного отклика детектирующей системы. Смоделировать такие функции достаточно сложная задача, поэтому создаются математические пакеты, которые освобождают пользователя от самостоятельного расчета. Чаще всего, производитель самостоятельно создает математическую модель функции профиля энергетического и пространственного отклика детектирующей системы, а пользователь с помощью программного пакета создает геометрическую модель эксперимента. Программный пакет затем рассчитывает эффективность регистрации излучения

детектора на основе математической модели, созданной производителем, и геометрической модели, созданной пользователем.

Математические методы позволяют рассчитать калибровку, пользуясь вместо реальных источников математической моделью – в результате чего получаются достаточно точные калибровки при минимальной стоимости и минимальных временных затратах.

3 Финансовый менеджмент

Большинство ядерных объектов в России используют средства гамма-спектрометрии для контроля различных параметров ядерных материалов, таких как активность, а следовательно и обогащение урана по изотопу ^{235}U , измерение изотопного состава плутония, количественное определение массы изотопов урана в образцах и т.д. Точное определение активности изотопов невозможно без проведения корректной калибровки по эффективности детектирующей системы.

Данная работа посвящена анализу особенностей измерений ядерных материалов и радиоактивных веществ в различной геометрии методом гамма-спектрометрии с использованием программного обеспечения LabSOCS для калибровки детектора по эффективности.

Калибровка детектора гамма-излучения по эффективности традиционным способом, т.е. при помощи эталонных источников, требует значительных временных затрат и наличия калибровочных образцов, изготовление или приобретение которых требует значительных затрат. Математические методы позволяют сформулировать калибровку, пользуясь вместо реальных источников математической моделью – в результате чего получают достаточно точные калибровки при минимальной стоимости и минимальных временных затратах.

Таким образом, с использованием программного обеспечения LabSOCS, не требуется изготовление реальных образцов. К тому же, созданные однажды математические модели можно использовать на всех видах полупроводниковых детекторов, характеризированных для данного программного обеспечения.

3.1 Обзор рассматриваемых вопросов

Для эффективного использования научного потенциала исследовательской работы необходимо прилагать усилия не только к ее

разработке, но и к проведению ее анализа с точки зрения экономических требований, то есть определить затраты на разработку, продолжительность работ, рассмотреть вопрос об экономической эффективности научно-исследовательской работы.

Экономическая часть квалификационной работы включает в себя рассмотрение следующих вопросов:

- планирование НИР;
- смета затрат;
- научная организация труда;
- качественный анализ экономической эффективности НИР;
- балльная оценка научно-технического уровня НИР;
- сравнение экономических показателей использования программного обеспечения LabSOCS с показателями использования калибровочных образцов для калибровки детектора по эффективности.

3.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

Потенциальные потребители результатов исследования

Произведем анализ рынка потенциальных потребителей. Данная разработка может оказаться нужной предприятиям ядерного-топливного цикла, использующие в своих исследованиях радиоактивные вещества. Разработка может быть направлена для продажи коммерческим организациям.

Технология QuaD

Технология QuaD (QUalityADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Была составлена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений (таблица 3).

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1. Надежность	0,2	100	100	1,00	20
2. Уровень материалоемкости	0,1	75	100	0,75	7,5
3. Безопасность	0,1	90	100	0,90	9
4. Простота эксплуатации	0,1	100	100	1,00	10
5. Конкурентоспособность продукта	0,08	80	100	0,80	6,4
6. Перспективность рынка	0,1	75	100	0,75	7,5
7. Цена	0,12	85	100	0,85	10,2
8. Послепродажное обслуживание	0,05	90	100	0,90	4,5
9. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	85	100	0,85	8,5
10. Срок выхода на рынок	0,05	90	100	0,90	4,5
Итого	1	870	1000	1	88,1

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \times B_i, \quad (9)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

В данном случае, разработка считается перспективной, так как значение показателя качества и перспективности научной разработки 88,1.

3.3 Планирование НИР

В связи с разной сложностью тех или иных работ различают два основных метода планирования:

– сетевое планирование (планирование предусматривает ориентацию работы на конкретные конечные результаты, четкое распределение работ по промежуточным результатам работ);

– линейное планирование (планирование предусматривает работу в виде плана-графика, применяется для простых работ, имеющих несколько этапов, результатом линейного планирования является, линейный график, который дает наглядное представление о ходе работы).

В данной дипломной работе большинство работ осуществляются последовательно. Следовательно, рационально использовать линейную схему планирования, с использованием в качестве динамической модели линейного графика работ (графика Ганта).

Выполнение работ проводится по этапам. Это позволяет осуществлять эффективный контроль выполнения элементарных работ в указанные сроки.

Данную работу рационально разбить на этапы, приведённые в таблице 4.

Таблица 4 – Порядок составления этапов и работ

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	руководитель, студент
	3	Выбор направления исследования	руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Ознакомление с литературой, обзор методов проведения калибровки по эффективности	Студент
	6	Анализ существующих геометрий гамма-измерений	Студент
	7	Выбор основных геометрий гамма-измерений	Студент
	8	Освоение программного обеспечения LabSOCS	Руководитель, Студент
	9	Создание выбранных геометрий в программе LabSOCS	Студент
	10	Расчёт эффективностей выбранных геометрий	Студент
	11	Анализ и сравнение полученных данных	Студент
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, студент
	13	Определение целесообразности проведения НИР	руководитель студент
	14	Разработка рекомендаций по результатам исследований	руководитель, студент
Оформление отчёта по НИР	15	Составление пояснительной записки	Студент
	16	Подготовка темы к защите	руководитель студент

3.4 Определение трудоемкости выполнения НИР

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, поскольку зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5}, \quad (10)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{макси}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (11)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов трудоёмкости и продолжительности одной работы сведены в таблице 5.

3.5 Разработка календарного плана работ

Так как научная тема является сравнительно небольшой относительно объема работ, в этом случае наиболее удобным и наглядным будет являться построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграммы Ганга. Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k, \quad (12)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность одной работы в рабочих днях;
 k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кз}}{T_{кз} - T_{вд} - T_{нд}} \quad (13)$$

где $T_{кз}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{вд}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{нд}$ – количество праздничных дней в году.

В данной работе число праздничных и выходных дней принимается равным 116 дней. Исходя из этого, коэффициент календарности равен:

$$k = \frac{365}{365 - 116} = 1,47$$

Длительность этапов в календарных днях сведена в таблице 5.

На основе данных таблицы 5 построен календарный план-график, называемый диаграммой Ганта (таблица 6).

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График был построен с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени преддипломной практики и дипломирования. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5 – Временные показатели проведения НИР

Список работ (событий)	Исполнитель	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	T_p , раб.дн.	T_k , кал.дн
1 Составление и утверждение технического задания	руководитель	7	9	13,2	6,6	9,7
2 Подбор и изучение материалов по теме	руководитель, студент	5	10	13	13	19,1
3 Выбор направления исследования	руководитель	2	4	5,2	2,6	3,8
4 Календарное планирование работ по теме	руководитель студент	5	7	10	10	14,7
5 Ознакомление с литературой, обзор методов проведения калибровки по эффективности	студент	3	4	5,8	5,8	8,5
6 Анализ существующих геометрий гамма-измерений	студент	1	2	2,6	2,6	3,8
7 Выбор основных геометрий гамма-измерений	студент	5	7	10	5	7,4
8 Освоение программного обеспечения LabSOCS (в том числе приложения "Мастер геометрий")	руководитель, студент	4	7	9,4	9,4	13,8
9 Создание выбранных геометрий в программе LabSOCS	студент	2	5	6,2	6,2	9,1
10 Расчёт эффективностей выбранных геометрий	студент	3	4	5,8	5,8	8,5
11 Анализ и сравнение полученных данных	студент	2	3	4,2	2,1	3,1
12 Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, студент	3	7	8,8	4,4	6,5

Продолжение таблицы 5

13 Определение целесообразности проведения НИР	руководитель студент	4	6	8,4	4,2	6,2
14 Разработка рекомендаций по результатам исследований	руководитель, студент	5	10	13	13	19,1
15 Составление пояснительной записки	студент	3	7	8,8	4,4	6,5
16 Подготовка темы к защите	руководитель студент	7	9	13,2	6,6	9,7

Таблица 6 – Календарный план-график проведения НИР

Этапы и подэтапы		Т _к , кал. дн.	Время выполнения работ												
			февраль			март			апрель			май			июнь
1	1	9,7	[Hatched pattern]												
	2	2	19,1	[Solid black]											
		3	3,8	[Hatched pattern]											
		4	14,7	[Solid black]											
3	5	8,5	[Solid black]												
	6	3,8	[Solid black]												
	7	7,4	[Solid black]												
	8	13,8	[Hatched pattern]												
	9	9,1	[Solid black]												
	10	8,5	[Solid black]												
	11	3,1	[Solid black]												
4	12	6,5	[Hatched pattern]												
	13	6,2	[Hatched pattern]												
	14	19,1	[Hatched pattern]												
5	15	6,5	[Solid black]												
	16	9,7	[Hatched pattern]												

 – дипломник

 – научный руководитель

3.6 Бюджет научно-технического исследования

Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi}, \quad (14)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы были установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете организациями-поставщиками. Величина коэффициента k_T , отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Материальные затраты НИИ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед, руб.	Затраты на материалы, руб.
USBFlashcard	шт.	1	800	800
Канцелярские товары	шт.	1	500	500
Бумага для печати	Лист	500	0,6	300

Продолжение таблицы 7

Картридж для струйного принтера HP	шт.	800	1	800
Электроэнергия	кВт×ч	3600	3,5	12600
Итого, руб.				15000

Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (15)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (для 6-дневной недели при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца; для 5-дневной недели при отпуске в 24 раб. дня, $M=11,2$ месяца);

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Значения действительного годового фонда рабочего времени для каждого исполнителя представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	112	140
Потери рабочего времени: – отпуск;	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени, раб. дн.	254	226

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot k_p, \quad (16)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для города Томска.

Основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$Z_{\text{осн.зп}} = \sum t_i \cdot Z_{\text{зп}i}, \quad (17)$$

где t_i – затраты труда, необходимые для выполнения i -го вида работ, в рабочих днях,

$Z_{\text{зп}i}$ – среднедневная заработная плата работника, выполняющего i -ый вид работ, (руб./день).

Полученные расчетные значения основной заработной платы приведены в таблице (9).

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Должность	k_t	Z_{TC} , руб.	Z_M , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	Ассистент	1,3	14584,32	18959,616	776,3	69,8	54185,74
Студент	УВП 1	1,3	6976,22	9069,086	449,44	92,5	41573,2
Итого							95758,94

Отчисление во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times Z_{\text{осн}}, \quad (18)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и т.д.).

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 27,1 %.

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$k_{\text{внеб}}, \%$	Заработная плата, руб	Страховые взносы, руб
Руководитель	27,1	54185,74	14684,34
Студент		41573,2	11266,34
Итого:			25950,68

Накладные расходы

Накладные расходы рассчитаем, как:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{осн}}) \times k_{\text{нр}}, \quad (19)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (можно взять в размере 16%).

Для данной научно-исследовательской работы величина накладных расходов составит:

$$Z_{\text{накл}} = (25950,68 + 95758,94) \times 0,16 = 19473,54$$

Таблица 11 – Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Наименование расходов	Статья затрат	Сумма, руб.
Прямые расходы	Материальные затраты НИИ	15 000
	Затраты по основной з/п	95 758,94
	Отчисления во внебюджетные фонды	25 950,68
	Итого	136 709,62
Накладные расходы		19 473,54
Итого затраты на проведение НИР		156 183,16

В результате приведенных выше расчетов были посчитаны основные и дополнительные заработные платы научного руководителя и студента, накладные расходы, отчисления во внебюджетные фонды и общий бюджет затрат НИИ, который составляет 156 183,16 руб.

3.7 Расчет экономического эффекта от применения программного обеспечения LabSOCS для калибровки по эффективности в данной научно-исследовательской работе

Использование программного обеспечения LabSOCS для калибровки детектора по эффективности позволяет снизить временные затраты на калибровку по сравнению с калибровкой с использованием набора стандартных образцов. В результате это приводит к сокращению затрат на оплату труда и повышает эффективность использования рабочего времени. Продемонстрируем это на примере выполнения данной научно-исследовательской работы по калибровке детектора для гамма-спектрометрических измерений ядерного материала в различной геометрии.

Для успешного выполнения данной научно-исследовательской работы необходимы следующие материалы (таблица 12):

- набор калибровочных источников (12 образцовых точечных источников гамма-излучения) для проведения калибровки детектора по эффективности экспериментальным способом;
- программный пакет LabSOCS (программа математической калибровки по эффективности) для проведения калибровки математическим методом.

Таблица 12 – Затраты на выполнение данной научно-исследовательской работы

Наименование	Стоимость, тыс. рублей
Набор калибровочных ОСГИ (образцовых точечных источников гамма-излучения), 12 штук	180
Калибровочный источник ОИСН (объемный источник спец. назначения в форме сосуда Маринелли)	30
Программный пакет LabSOCS	150
Зар. плата лаборанта	10

Исходя из таблицы 12 получается, что для выполнения калибровки детектора экспериментальным способом, т.е. с использованием специальных калибровочных источников, было затрачено 220 тыс. рублей. А на выполнение калибровки детектора по эффективности сумма расходов составила 160 тыс. рублей.

Из приведенных данных видно, что затраты на калибровку по набору стандартных образцов существенно превышают затраты на калибровку с помощью ПО LabSOCS.

Также, следует отметить, что срок службы специальных калибровочных источников составляет 2–5 лет, что означает, что лаборатории, занимающейся гамма-спектрометрическими измерениями по прошествии определённого времени будет необходимо вновь покупать и обновлять специальные калибровочные источники.

Данная потребность отпадает, при использовании программы математической калибровки LabSOCS, так как для данной программы не нужны какие-либо калибровочные источники. Таким образом, однажды купив данное программное обеспечение, лаборатория может существенно сократить денежные и временные расходы на проведение калибровки детектора по эффективности. Ещё одним несомненным плюсом данной программы является то, что в программе можно смоделировать геометрию ядерных материалов практически любой формы, что на практике не всегда является возможным.

В данном примере в качестве размера заработной платы взят оклад лаборанта ТПУ, поэтому удешевление является незначительным, но на реальном производстве разница в затратах на заработную плату при проведении данного вида работ может оказаться значительной. Другими преимуществами использования ПО LabSOCS с точки зрения затрат являются:

- Отсутствие необходимости использовать радиоактивные источники для данного вида работ, следовательно снижаются затраты связанные с обеспечением хранения и безопасной эксплуатации радиоактивных источников (помимо очевидной выгоды – отсутствия ионизирующего излучения);

В случае ошибки при проведении калибровки или необходимости проведения новой калибровки из-за несоответствия параметров эксперимента наперед заданным значениям время, затрачиваемое на изменение модели и перекалибровку детектора значительно меньше времени затрачиваемого при перекалибровке по стандартным источникам.

Список публикаций студента

1. Nikishkin T. G. The method of mathematical calibration of spectrometric systems within the framework of the nuclear nonproliferation regime // Addressing Emerging Nonproliferation Challenges: Proceedings of Young Scholars Interdisciplinary Forum, Astana, October 9, 2015. - Astana: Nuclear Society of Kazakhstan, 2015 - p. 37-38

2. Никишкин Т. Г. Метод математической калибровки спектрометрических систем в рамках обеспечения режима ядерного нераспространения // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 14-16 Октября 2015. - Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2015 - С. 55

3. Никишкин Т. Г. Определение погрешности математической модели программы калибровки по эффективности LABSOCS [Электронный ресурс] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 275-276 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>

4. Никишкин Т. Г., Егорова М. С. Экономическая целесообразность использования программы математической калибровки по эффективности LabSOCS // Молодой ученый. — 2015. — №10.4. — С. 96-99.

5. Никишкин Т. Г., Егорова М. С. Экономическая целесообразность использования программы математической калибровки по эффективности LabSOCS // Молодой ученый. — 2015. — №10.4. — С. 96-99.