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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетических установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оценка радиологической обстановки пункта хранения ЯМ и РВ с помощью спектрометрического анализа

УДК 629.039.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Красновский Алексей Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ФЭУ ФТИ	Кузнецов М.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	**Результат обучения**
	Профессиональные компетенции
Р1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
Р2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
Р3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
Р4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
Р5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
Р6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
	Общекультурные компетенции
Р7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
Р9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки: (специальность): 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра: Физико-энергетических установок

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. Кафедрой
_____ _____ Долматов О.Ю.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	**ФИО**
0АМ4Г	Красновскому Алексею Андреевичу

Тема работы:

Оценка радиологической обстановки пункта хранения ЯМ и РВ с помощью спектрометрического анализа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1618/с от 26.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– место хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ – спектрометрический тракт на основе коаксиального детектора из высокочистого германия (HpGe), помещенный в гибридный криостат Cryo-Cycle, цифрового анализатора DSA-1000, программной среды Genie-2000;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение: цель работы, область применения и значимость рассматриваемой проблемы; основная часть: рассмотрение принципов обеспечения радиационной безопасности, обзор метода гамма-спектрометрического анализа по определению изотопного состава образцов, изучение специализированного программного обеспечения для определения изотопного состава и выполнения количественного определения активности проб, описание технической базы экспериментальной работы, подготовка и проведение экспериментов, анализ полученных

	результатов, расчёт себестоимости проведения исследовательской работы, разработка производственной безопасности при проведении экспериментов (в соответствии со стандартами и инструкциями по технике безопасности).
Перечень графического материала	схема хранилища

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	**Консультант**
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Демьяненко Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Physical Protection Systems of nuclear materials	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ФЭУ ФТИ	Кузнецов М.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Красновский Алексей Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Красновский Алексей Андреевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	**Направление/специальность**	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. *Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования*	Определение ресурсоэффективности проекта
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	
1. *Оценочная карта конкурентных технических решений* 2. *Матрица SWOT* 3. *Иерархическая структура работ* 4. *Календарный план проекта* 5. *Бюджет проекта* 6. *Определение ресурсоэффективности проекта*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Красновский Алексей Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Красновский Алексей Андреевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	**Направление/специальность**	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. *Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:*	– вредных факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. *Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме*	электробезопасность, пожаробезопасность, требования при работе на ПЭВМ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:*	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Красновский Алексей Андреевич		

Обозначения и сокращения

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

ГПС – гравийно-песчаная смесь;

ИИИ – источник ионизирующего излучения;

ИСР – иерархическая структура работ;

МЗУА – минимально значимая удельная активность;

МКА – многоканальный анализатор;

НРА – неразрушающий анализ;

ОКА – одноканальный анализатор;

РАО – радиоактивные отходы;

РВ – радиоактивные вещества;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ЯМ – ядерные материалы.

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя 113 с., 9 рис., 22 табл., 31 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: радиационная защита, отбор проб, гамма-спектрометрический анализ, полупроводниковый детектор, защита от ионизирующего излучения.

Объектом исследования является хранилище ядерных материалов и радиоактивных веществ.

Цель работы – на основе проведения гамма-спектрометрического анализа образцов, разработать рекомендации по модернизации хранилища ЯМ и РВ.

В процессе исследования проводились идентификационные измерения по определению изотопного состава вещества, а также минимально значимой удельной активности каждого из вещества. Брались мазковые пробы для обнаружения урана и продуктов его деления. Эксперименты выполнялись спектрометрическим трактом состоящего из коаксиального детектора из особо чистого германия и цифрового анализатора спектра DSA-1000.

В результате исследования был составлен проект по модернизации хранилища ядерных материалов и радиоактивных веществ, удовлетворяющий всем нормам безопасности.

Степень внедрения: высокая.

Область применения: ядерная физика.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

Оглавление

Введение 12

ГЛАВА 1 Обзор литературы 14

1.1 Радиационная безопасность 14

1.1.1 Контроль радиационной обстановки 14

1.1.2 Принципы обеспечения радиационной безопасности 15

1.1.3 Пути обеспечения радиационной безопасности 17

1.2.1 Калибровка по энергии и эффективности, измерения 19

1.2.2 Энергетическая калибровка гамма-спектрометра 20

1.2.3 Эффективность детектирующей системы 24

1.1.4 Измерения и получение количественных результатов 28

ГЛАВА 2 Экспериментальная часть 36

2.1 Гамма-спектрометрия с полупроводниковым детектором 36

2.1.1 Описание спектрометрического тракта 36

2.1.2 ОЧГ детектор 36

2.1.3 Гибридный криостат Cryo-Cycle (CCVD) 38

2.2 Отбор и спектрометрический анализ проб 39

2.3 Отбор мазковых проб 42

2.4 Гамма-спектрометрический анализ мазковых проб 43

2.5 Модернизация хранилища 43

2.5.1 Строительные работы 43

2.5.2 Технические условия обеспечения условий труда 44

2.5.3 Расчет защиты от гамма-излучения 45

ГЛАВА 3 Финансовый менеджмент 47

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования 47

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений 48
3.1.2 SWOT-анализ 50
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом 53
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта 53
3.2.2 Контрольные события проекта 53
3.2.3 План проекта 54
3.3 Бюджет научного исследования 57
3.3.1 Расчёт материальных затрат 57
3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ) 58
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы 59
3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы 61
3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды 62
3.3.6 Накладные расходы 62
3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта 63
3.4 Организационная структура проекта 63
3.5 Матрица ответственности 64
3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 65
ГЛАВА 4 Социальная ответственность 69
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов 69
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и с ППД 72
4.2.1 Организационные мероприятия 72
4.2.2 Технические мероприятия 72

4.3 Условия безопасной работы 75
4.3.1 Регулирование уровня шума 75
4.3.2 Показатели микроклимата в помещении 75
4.3.3 Освещённость рабочей зоны 76
4.3.4 Электромагнитное излучение от ПЭВМ 77
4.3.4 Электромагнитное излучение от ПЭВМ 77
4.3.6 Психофизиологические вредные факторы 78
4.4 Электробезопасность 78
4.5 Пожарная безопасность 79
4.6 Радиационная безопасность 80
Заключение 83
Список публикаций 84
Список использованных источников 85
Приложение А 88
Приложение Б 89
Приложение В 93
Приложение Г 113

Введение

Обеспечение радиационной безопасность на любом радиационном объекте определяется совокупностью контролируемых радиационных параметров, характеризующих уровень опасности их воздействия на персонал, население и окружающую среду при нормальной работе радиационного объекта и при радиационной аварии.

Контроль радиационной обстановки на объектах зависит от категории объекта, от особенностей технологических производственных процессов, от потенциальной радиационной опасности объекта. В целях обеспечения радиационной безопасности персонала был проведен анализ обстановки в одном из помещений ФТИ ТПУ, обеспечивающем хранения радиоактивных веществ в течение длительного периода при изменяющихся условиях хранения.

Предусматривается провести комплекс измерений по определению содержанию альфа, бета, гамма излучающих нуклидов в конструкциях помещения и местах хранения.

Гамма-спектрометрия является одним из наиболее информативных методов неразрушающего анализа ядерных и радиоактивных материалов. Он также часто используется в разрушающем анализе на различных стадиях его проведения. Гамма-спектрометрия твердо удерживает позиции ведущего метода благодаря двум основным свойствам, реализуемым одновременно:

– возможности выполнения изотопного анализа образца, содержащего сложную смесь радионуклидов;

– возможность выполнения количественного определения активности и массы радиоизотопов в исследуемом образце.

Перечисленные преимущества гамма-спектрометрического анализа являются, с одной стороны, следствием специфических свойств гамма-излучения как такового, а именно:

– возникает при распаде абсолютного большинства известных радионуклидов;

− является характеристическим и обладает уникальными свойствами для каждого радионуклида;

− обладает дискретным спектром;

− обладает высокой проникающей способностью, что позволяет создавать системы измерения, расположенные на значительном удалении от источника излучения.

Тем не менее, в проведении гамма-спектрометрического анализа существуют свои сложности, которые определяются спецификой используемой аппаратуры и измеряемых образцов. В частности, для выполнения анализов необходима специальная настройка оборудования – калибровки по энергии и эффективности.

Таким образом целью данной работы было проведение работ по измерению обстановки внутри помещения, отборе и анализе проб с помощью гамма-спектрометрического анализа, интерпретации результатов.

ГЛАВА 1 Обзор литературы

1.1 Радиационная безопасность

1.1.1 Контроль радиационной обстановки

Контроль радиационной обстановки на ядерных объектах должен соответствовать требованиям НРБ-99 и ОСПОРБ-99. Контроль радиационной обстановки – это часть системы обеспечения радиационной безопасности, которая отвечает за охрану здоровья людей от неблагоприятного воздействия ИИИ. А также, по возможности, за поддержание работы радиационного объекта и его отдельных технологических систем в рамках оптимального технологического регламента. Он предполагает дозиметрический и радиометрический контроль, осуществляемый автоматизированными системами и приборами [1].

Его техническая реализация в виде системы контроля радиационной обстановки является измерительной, информационной подсистемой системы обеспечения радиационной безопасности предприятия, предназначенной для поддержки принятия решений по обеспечению радиационной безопасности.

Радиационную обстановку на любом радиационном объекте определяет совокупность контролируемых радиационных параметров, которые характеризуют уровень опасности их воздействия на окружающую среду, население и рабочий персонал при нормальном режиме работы радиационного объекта и при радиационной аварии.

Контроль радиационной обстановки на объектах зависит от особенностей технологических производственных процессов, от категории и потенциальной радиационной опасности объекта. Контроль радиационной обстановки должен осуществляться по всем радиационным параметрам, характеризующим уровень облучения персонала, населения и загрязнение окружающей среды. Контроль радиационной обстановки должен проводиться в производственных

помещениях радиационного объекта, на его территории, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

Организация системы контроля радиационной обстановки строится на принципах и требованиях НРБ-99. Согласно НРБ-99, годовая эффективная доза облучения равна сумме эффективной дозы внешнего облучения, накопленной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же период.

Для расчета эффективных доз внутреннего облучения необходимо измерение объемной активности во вдыхаемом воздухе, удельной активности основных пищевых продуктов и питьевой воды, загрязнения поверхностей, одежды и т. д., т. е. необходимо определение так называемых операционных величин (или производных параметров). Как следствие этого положения нормируются допустимые значения объемной и удельной активности радионуклидов в различных средах (воде, воздухе и т.п.). Таким образом, результаты измерения операционных величин не могут быть использованы непосредственно для измерения индивидуальных доз внутреннего облучения персонала.

Интерпретация полученных результатов измерения при контроле радиационной обстановки заключается в переходе от значения операционных величин к данным о поступлении и значениям эффективной дозы внутреннего и внешнего облучения, осуществляемом с использованием соответствующих моделей в рамках конфетных методик. Поскольку нормативы производных параметров при техногенном облучении рассчитаны для однофакторного значения, и каждый из них исчерпывает весь предел дозы, то их использование должно быть основано на условии не превышения единицы суммой отношений всех контролируемых величин к их допустимым значениям.

1.1.2 Принципы обеспечения радиационной безопасности

Основными принципами обеспечения радиационной безопасности являются:

– принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех ИИИ;

– принцип оптимизации – при использовании любого ИИИ поддерживать дозы облучения и число облучаемых лиц на возможно низком уровне, достижимом с учетом социальных и экономических факторов;

– принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию ИИИ, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением.

При радиационной аварии система обеспечения радиационной безопасности населения основывается на следующих принципах:

– обеспечение максимальной защиты населения;

– мероприятия по ликвидации последствий радиационной аварии должны приносить больше пользы, чем вреда;

– виды и масштаб деятельности по ликвидации последствий радиационной аварии должны быть реализованы таким образом, чтобы польза от снижения дозы ионизирующего излучения, за вычетом вреда, причиненного указанной деятельностью, была максимальной.

Контроль над реализацией основных принципов должен осуществляться путем проверки выполнения следующих требований:

1) Принцип обоснования. Должен применяться на стадии принятия решения уполномоченными органами при проектировании новых ИИИ и радиационных объектов, выдаче лицензий и утверждении нормативно-технической документации на использование ИИИ, а также при изменении условий их эксплуатации.

При наличии альтернативных возможностей должны рассматриваться польза и вред от факторов радиационной и нерадиационной природы.

В условиях радиационной аварии принцип обоснования относится не к ИИИ и условиям облучения, а к защитному мероприятию. В качестве величины пользы следует использовать предотвращенную данным мероприятием дозу и соответствующий этой дозе предотвращенный прогнозируемый вред. В качестве меры прогнозируемого вреда используется ожидаемое число потерянных лет полноценной жизни, обусловленное облучением при данной радиационной аварии, при этом принимается, что коллективная доза равная 1 чел.-Зв приводит к потере 1 чел.-года полноценной жизни в данной совокупности людей.

Мероприятия, направленные на восстановление утраченного контроля над ИИИ, должны проводиться в любом случае и в обязательном порядке.

2) Принцип нормирования. Данный принцип требует непревышения, установленных регламентом, пределов доз и других нормативов радиационной безопасности, должен соблюдаться всеми организациями и лицами, от которых зависит уровень облучения людей.

3) Принцип оптимизации предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов, установленных Регламентом), так и коллективных доз облучения, с учетом социальных и экономических факторов.

В условиях радиационной аварии, когда вместо пределов доз действуют более высокие уровни вмешательства, принцип оптимизации должен применяться к защитному мероприятию с учетом предотвращаемой дозы облучения и рисков нерадиационного происхождения, связанных с вмешательством [2].

1.1.3 Пути обеспечения радиационной безопасности

Радиационная безопасность обеспечивается:

– введением требований системы технического регулирования с нормами, нормативами и правилами обеспечения радиационной безопасности в статусе федерального закона;

– государственным управлением в области применения ИИИ; государственной регистрацией ИИИ; государственным надзором за обеспечением безопасности при всех видах обращения с ИИИ; эффективностью всех форм оценки соответствия;

– проведением комплекса мер правового, организационного, инженерно-технического, санитарно-гигиенического, лечебно-профилактического, воспитательного и образовательного характера;

– осуществлением органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, общественными объединениями, другими юридическими лицами и гражданами мероприятий по соблюдению требований технических регламентов в области радиационной безопасности;

– информированием населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению радиационной безопасности;

– обучением населения мерам обеспечения радиационной безопасности.

Для исключения опасного и вредного воздействий облучения вводятся основные пределы доз и система производных нормативов от основных пределов доз в виде допустимых значений: мощности дозы, годового поступления радионуклидов в организм и других показателей.

В целях гарантий непревышения основных пределов доз при наличии нескольких техногенных ИИИ для радиационных объектов 1 категории должны устанавливаться дозовые квоты для населения. Дозовая квота (максимальная годовая эффективная доза облучения критической группы населения за счет нормальной эксплуатации радиационного объекта) для радиационного объекта не должна превышать 0,3 мЗв/год.

1.2 Гамма-спектрометрический анализ

1.2.1 Калибровка по энергии и эффективности, измерения

Основным источником информации о составе радионуклидов в измеряемых образцах являются аппаратурные спектры, косвенно отражающие первичные энергетические спектры излучателей. Форма аппаратурного спектра в большой мере зависит от разрешающей способности, размеров и эффективного атомного номера детекторов, а также от вещественного состава, размеров проб и геометрии измерений. Положение фотопиков на энергетической шкале спектрометра, площадь фотопиков и ее изменение во времени характеризуют энергию, интенсивность γ-переходов и эффективные периоды полураспада изотопов [3].

Совокупность этих сведений, данные о фотоэффективности и разрешении спектрометра, о схемах распада изотопов позволяют во многих случаях однозначно определить основной состав излучателей и их активность.

Связь между активностью i-го радиоизотопа и скоростью счета регистрирующей системы устанавливается с помощью выражения:

$$n_i = \varepsilon \xi_\gamma \mathrm{A}_i, \quad (1)$$

где n_i – скорость счета прибора;

ε – эффективность регистрации излучения i-го изотопа детектором;

ξ_γ – выход излучения от i-го радиоизотопа, регистрируемого детектором;

A_i – активность изотопа.

Для анализа аппаратурных γ-спектров (определения n_i) используются пики полного фотоэлектрического поглощения (фотопики). Регистрируемый в этих пиках сигнал по своей амплитуде пропорционален энергии фотона гамма-излучения. Амплитуда импульса измеряется либо аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) многоканального анализатора (МКА), либо одним или несколькими одноканальными анализаторами (ОКА). Независимо от реализуемой схемы, сигналу определенной амплитуды должна приписываться определенная энергия. Это может быть достигнуто путем энергетической

калибровки измерительной системы. В случае использования одноканальной системы суть энергетической калибровки заключается в дискриминации сигналов с целью отбора импульсов с определенной амплитудой, которой соответствует интересующая экспериментатора энергией излучения. Для многоканальных систем энергетическая калибровка заключается в закреплении определенных измерительных каналов за сигналами определенной амплитуды. Таким образом, создается измерительная шкала (состоящая обычно из 8000–16000 каналов регистрации определенной ширины), в которой каждому измерительному каналу приписывается определенная энергия регистрируемого излучения. Диапазон измерения энергий шкалы может быть настроен с помощью системы усиления. В общем случае энергетическая градуировка используется не только для определения положения и ширины рассматриваемых энергетических областей анализа, но и шкалы разрешений для пиков полного фотоэлектрического поглощения.

1.2.2 Энергетическая калибровка гамма-спектрометра

Энергетическая градуировка хорошей спектрометрической системы приблизительно линейна:

$$E = mx + b \tag{2}$$

где E – энергия, потерянная фотоном гамма-излучения в детекторе;

m – коэффициент наклона прямой;

x – амплитуда выходного импульса;

b – пересечение (смещение энергетической шкалы).

Предположение линейности обычно является достаточным для методик неразрушающего анализа. Однако не существует абсолютно линейных систем, каждая имеет небольшую, но измеримую нелинейность. Когда необходимо получить более точное соотношение, используются полиномы более высоких порядков. Значения энергии γ-квантов могут определяться с погрешностью от 0,01 до 0,05 кэВ, при использовании нелинейной характеристики градуировки и

нескольких стандартных источников γ-излучения с энергиями, известными с погрешностью менее 0,001 кэВ.

Для детекторов низкого разрешения (например, сцинтилляторов $NaI(Tl)$) часто используют уравнение (2) с нулевым значением пересечения ($b = 0$). Обычно линейная аппроксимация является приемлемой даже для задач НРА высокого разрешения. Для хорошего германиевого детектора линейная градуировка будет определять энергию пиков с погрешностью до десятой доли кэВ, что отвечает требованиям определения присутствия изотопа в исследуемом образце. Для большинства изотопов, представляющих интерес для НРА, гамма-спектр настолько специфичен, что для идентификации присутствия изотопов опытному специалисту достаточно визуального просмотра спектра на дисплее многоканального анализатора.

Процедура градуировки включает определение положений пиков известной энергии в каналах и подгонку этих значений к градуировочной функции. Часто для определения энергетической градуировки могут использоваться γ-кванты от измеряемых образцов. Подобные внутренние градуировки возможны для многих нуклидов и ядерных материалов.

Когда измеряемые нуклиды или ядерные материалы не могут обеспечить требуемую внутреннюю градуировку, используются стандарты изотопов, которые испускают γ-кванты известных энергий – калибровочных источников излучения. В табл. 1 приведен список часто используемых изотопов, а также значения их периодов полураспада и энергий их основных излучений. Идеальными для изготовления стандартов являются изотопы, имеющие только одну γ-линию в спектре излучения (монохроматы). Однако таких радионуклидов, имеющих приемлемый период полураспада, очень мало. Большинство из приведенных в табл. 1 изотопов испускают несколько γ- линий и применимы для детекторов как низкого, так и высокого разрешения. Калибровочные источники обычно изготавливаются в виде наборов закрытых источники излучения. Источники обычно содержат единственный изотоп и производятся в широком диапазоне форм и размеров. Типичные активности

источников составляют от 0,1 до 100 мкКи. Источники используются для настройки, тестирования и контроля многих эксплуатационных характеристик спектрометрических систем. Наборы источников полезны для выполнения энергетической градуировки, проверки разрешения и измерения эффективности детектора, регулировки электронных схем и расчета поправок потерь из-за высокой загрузки измерительного тракта [3].

Существуют также стандартные источники гамма-излучения с несколькими изотопами в одной капсуле. Такие многоэнергетические источники используются для определения характеристики энергетической градуировки и характеристики эффективности детекторов высокого разрешения.

Таблица 1 – Характеристики некоторых образцовых источников гамма-излучения

Нуклид	Период полураспада, $T_{1/2}$	Энергия гамма-излучения, кеВ	Примечания
Am^{241}	433 года	59,54	Существует много других гамма-линий, но более слабых – в 10^4 и более раз
Cs^{137}	29,9 лет	661,64	Другим излучением являются К-линии рентгеновского излучения от Ba^{137}
Ba^{133}	10,9 лет	81; 276,40; 302,85; 356; 383,85	Существует несколько других, но намного более слабых гамма-линий
Co^{60}	5,3 года	1173,23; 1332,51	
Na^{22}	2,8 года	511,01; 1274,51	Аннигиляционное излучение 511,01 кэВ
Fe^{55}	2,7 года	Рентгеновские лучи К-серии от Mn^{55} 5,9; 6,5	Часто используют для градуировки в области низких энергий
Cd^{109}	1,2 года	88,04	К-линии рентгеновского излучения Ag^{109} с энергией 22,16 и 24,9 кэВ
Mn^{54}	312 суток	834,8	Моноэнергетический источник
Zn^{65}	244 суток	511,01; 1115,5	Аннигиляционное излучение 511,01 кэВ
Co^{57}	271 суток	122,06; 136,47	Существуют две другие гамма-линии более высокой энергии, но значительно более слабые
Se^{75}	120 суток	121,12; 136; 264,65; 279,53	Существуют несколько других, но значительно более слабых гамма-линий

Уравнение (2) описывает предполагаемую форму функции для линейной

энергетической градуировки. Если известны положения x_1 и x_2 двух пиков полного поглощения, которым соответствуют значения энергий E_1 и E_2, то m и b могут быть вычислены из следующих выражений:

$$m = \frac{E_2 - E_1}{x_2 - x_1}, \tag{3}$$

$$b = \frac{x_2 E_1 - x_1 E_2}{x_2 - x_1}. \tag{4}$$

Для градуировки по двум точкам, чтобы избежать дальних экстраполяций вне области градуировки, необходимы два градуированных пика, которые должны располагаться на концах рассматриваемого энергетического диапазона. Когда проявляется неприемлемая степень нелинейности, могут быть использованы несколько линейных градуировок на более коротких энергетических интервалах. Спектры, измеренные с высоким разрешением, для большинства плутониевых образцов имеют девять хорошо разрешенных пиков в диапазоне энергий между 59,5 и 413,7 кэВ, поэтому можно построить восемь линейных градуировок на интервалах между соседними пиками; протяженность любого интервала не превышает 78 кэВ. Набор линейных градуировок для коротких участков может быть такой же точности, как единственная градуированная кривая с полиномом второго или более высокого порядка.

Когда в рассматриваемой энергетической области имеется более двух пиков, для подгонки градуированной линии ко всем пикам может быть использован метод наименьших квадратов. Использование этого метода позволяет определить параметры m и b для n пиков с помощью следующих выражений:

$$m = \frac{n \sum x_i E_i - \sum x_i \sum E_i}{\Delta}, \tag{5}$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum E_i - \sum x_i \sum x_i E_i}{\Delta}. \tag{6}$$

где $\Delta = n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$.

Большинство современных систем с многоканальными анализаторами имеют управляющее программное обеспечение, позволяющее производить калибровку по энергии в автоматическом режиме, самостоятельно вычисляя все необходимые коэффициенты по выбранному алгоритму. В большей части

рабочего энергетического диапазона положения пиков могут быть определены с погрешностью ~ 0,1 канала (~ 0,01 кэВ).

1.2.3 Эффективность детектирующей системы

Согласно выражению (1) для определения активности A_i определяемого изотопа в образце необходимо знать еще одну экспериментальную характеристику – эффективность детектирующей системы (ε). В связи с тем, что скорость счета определяется как количество зарегистрированных импульсов в пике полного поглощения фотоэлектронов ко времени измерения (набора) данного пика спектрометрической системой:

$$n_i = \frac{S}{T}, \tag{7}$$

то эффективность детектирующей системы может быть представлена эффективностью регистрации этого пика. Абсолютная эффективность регистрации пика полного поглощения представляет собой долю гамма-квантов, зарегистрированных в пике полного поглощения, от потока гамма-квантов, испущенных точечным источником в заданных условиях измерений (геометрии, материалов и так далее). Эта эффективность определяется в виде функции от энергии:

$$\varepsilon = \frac{\text{полное число зарегистрированных фотонов в пике полного поглощения}}{\text{полное число фотонов, испущенных источником}} \tag{8}$$

Полная эффективность регистрации фотонов может быть выражена в виде произведения четырех коэффициентов:

$$\varepsilon_{\text{полн.}} = \varepsilon_{\text{геом.}} \cdot \varepsilon_{\text{погл.}} \cdot \varepsilon_{\text{обр.}} \cdot \varepsilon_{\text{собст.}} \tag{9}$$

Геометрическая эффективность $\varepsilon_{\text{геом.}}$ представляет собой долю испущенных фотонов, которые достигают детектора (попадают в него). В простейшем случае, для точечного источника, эта доля определяется с помощью выражения:

$$\varepsilon_{\text{геом.}} = A/4\pi r^2 \tag{10}$$

где A – площадь поперечного сечения детектора;

r – расстояние между источником и детектором.

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

Теоретическое определение $\varepsilon_{\text{геом.}}$ становится тем сложнее, чем сложнее геометрия, описывающая взаимное положение измеряемого образца и детектора, а также самого измеряемого образца. Для большинства нетривиальных геометрий расчетное определение $\varepsilon_{\text{геом.}}$ может быть выполнено только с помощью численных методов решения переноса излучения, например, методом Монте-Карло.

Эффективность поглощения $\varepsilon_{\text{погл.}}$ учитывает влияние промежуточных материалов (таких как корпус детектора, специальные поглотители и тому подобные), которые поглощают часть входящего излучения перед тем, как оно провзаимодействует с детектором. Учет этого коэффициента особенно важен для низкоэнергетических фотонов, для которых эффекты поглощения наиболее выражены. Простейшая математическая интерпретация этого коэффициента имеет вид:

$$\varepsilon = exp\left[-\sum \mu_i(E_\gamma)\rho_i x_i\right], \tag{11}$$

где μ_i– массовый коэффициент поглощения i-го промежуточного материала;

ρ_i – плотность i-го промежуточного материала;

x_i – толщина i-го промежуточного материала.

Суммирование проводится по всем типам промежуточных материалов.

Эффективность образца $\varepsilon_{\text{обр.}}$ представляет собой обратную величину поправки на самопоглощение в образце. Это доля испущенных гамма-квантов, которые покидают материал образца. Например, в пластине толщиной x и с коэффициентом пропускания T, равным $exp[(-\mu\rho x)]$, эффективность образца равна:

$$\varepsilon_{\text{обр.}} = \frac{1-exp[(-\mu\rho x)]}{(-\mu\rho x)} = \frac{T-1}{lnT}. \tag{12}$$

Этот коэффициент зависит от состава каждого излучающего образца и его геометрии и также очень сложен для вычисления теоретическими методами.

Собственная эффективность $\varepsilon_{\text{собст.}}$ представляет собой вероятность того, что гамма-квант, который попадает в детектор, провзаимодействует и даст импульс в пик полного поглощения. Простейшая математическая интерпретация этого коэффициента имеет вид:

$$\varepsilon_{\text{собств.}} = 1 - exp(-\mu\rho x), \quad (13)$$

где μ – фотоэлектрический массовый коэффициент ослабления;

ρ – плотность чувствительного материала детектора;

x – толщина чувствительного материала детектора.

Это простое выражение дает заниженную оценку собственной эффективности, поскольку пик полного поглощения может также содержать события от многократного комптоновского рассеяния. В общем $\varepsilon_{\text{собств.}}$ является также слабой функцией r, вследствие регистрации гамма-квантов, двигающихся не по оси симметрии детектора.

Часто используемым термином является относительная эффективность, которая имеет два значения:

– эффективность относительно детектора с кристаллом NaI: обычно на практике указывают эффективность германиевого детектора для энергии 1332 кэВ (Co^{60}) в процентах от эффективности детектора NaI детектора размером 7,6×7,6 см на расстоянии между источником и детектором 25 см и при той же энергии гамма-излучения:

$$\varepsilon_{\text{собств.}}(Ge) = \frac{100\varepsilon_{\text{полн.}}(Ge,1332\text{кеВ})}{\varepsilon_{\text{полн.}}(NaI,1332\text{ кеВ})}. \quad (14)$$

Теоретическое значение $\varepsilon_{\text{полн.}}$ (NaI,1332 кеВ) на расстоянии 25 см равно 1,2·10-3. Таким образом, например, германиевый детектор с относительной эффективностью 30 % имеет теоретическую полную эффективность для энергии 1332 кэВ на расстоянии 25 см, равную $3{,}6\cdot10^{-4}$.

– кривая относительной эффективности: (также называется градуировкой по эффективности). Это составная кривая зависимости отношения зарегистрированной скорости счета к испущенной скорости счета от энергии представляется выражением:

$$\varepsilon_{\text{отн.}} = N \cdot \varepsilon_{\text{погл.}} \cdot \varepsilon_{\text{обр.}} \cdot \varepsilon_{\text{собст.}} \quad (15)$$

Коэффициент N подчеркивает то, что в большинстве аналитических ситуаций абсолютное значение полной эффективности является не таким важным, как относительные значения при различных энергиях. Эта эффективность также включает энергетически зависимый эффект самопоглощения в образце $\varepsilon_{обр.}$ и, таким образом, должна определяться для каждого измеряемого образца.

Полная относительная эффективность может быть вычислена полутеоретически или, что является более практичным, измерена с использованием образцовых источников гамма-излучения [3].

Обычно эффективности детектора измеряются и описываются, как полные эффективности фотопика для регистрации гамма-квантов от неослабляющих точечных источников. Следовательно, их зависимость от энергии определяется, в основном, $\varepsilon_{собст.}$ при высоких энергиях и $\varepsilon_{погл.}$ – при более низких энергиях. Геометрический коэффициент $\varepsilon_{геом.}$ определяет предельную амплитуду эффективности. Собственная эффективность и эффективность поглощения сильно зависят от энергии фотона, как показано на рисунке 1. На рисунке представлена типичная энергетическая зависимость эффективности для коаксиального *Ge*(*Li*) детектора.

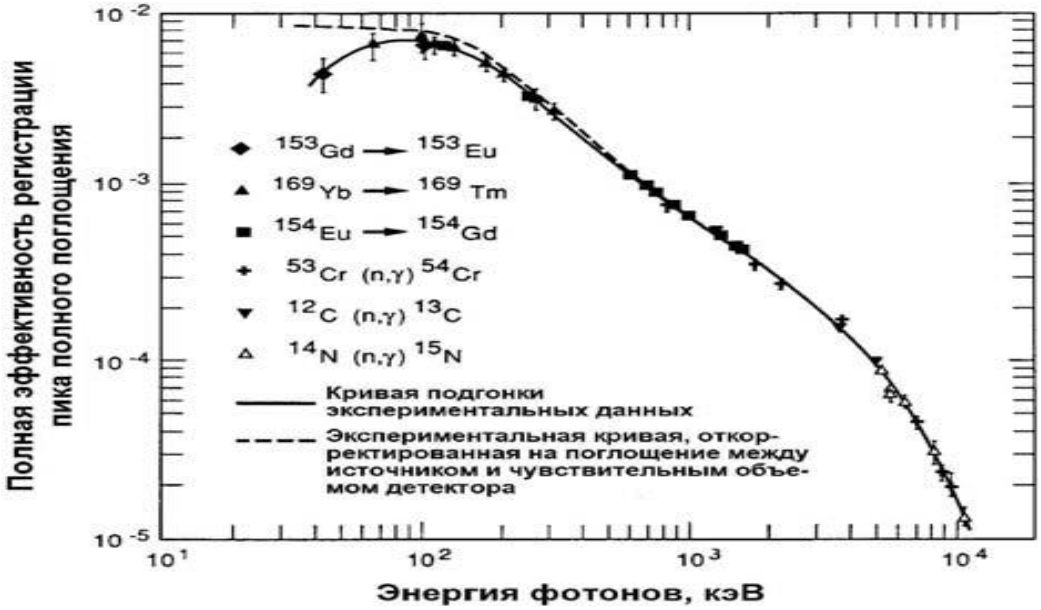

Рисунок 1 Полная эффективность регистрации пика полного поглощения для точечного источника на расстоянии 83 мм от поверхности коаксиального детектора *Ge*(*Li*) объемом 38 см^3

На основании данных, представленных на рисунке 1 могут быть сделаны следующие выводы:

− сильная энергетическая зависимость полной эффективности регистрации приводит к тому, что зарегистрированные интенсивности фотонов значительно отличаются от интенсивностей испущенных фотонов. Для выполнения количественного анализа, включающего сравнение интенсивностей различных гамма-квантов, необходимо всегда учитывать поправку энергетически зависимой эффективности;

− при выполнении анализа низкоэнергетических гамма-квантов следует использовать детекторы малой толщины. Это позволяет оптимизировать эффективность регистрации в области низких энергий и снизить эффективность регистрации нежелательных высокоэнергетических гамма-квантов;

− при выполнении анализа гамма-квантов с высокими энергиями для обеспечения достаточной эффективности регистрации более проникающего излучения должны использоваться детекторы большой толщины. Кроме того, выбранные поглотители на входе детектора могут уменьшить вклад в скорость счета от нежелательного низкоэнергетического излучения.

Хотя на рисунке 1 эти особенности проиллюстрированы в отношении полупроводниковых детекторов, эти заключения применимы также и к детекторам *NaI*. Например, измерения обогащения урана по линии 186 кэВ обычно выполняются со сцинтилляционным кристаллом размером 5·1,27 см, в то время как анализ плутония по линии 414 кэВ обычно делается с увеличенными по оси сцинтилляторами размером 5·5 см.

1.1.4 Измерения и получение количественных результатов

Несмотря на кажущуюся простоту проведения гамма-спектометрических анализов, получение с их помощью высокоточного результата, во многих случаях, является достаточно сложной задачей и требует настоящего исполнительского искусства от экспериментатора. Основная проблема

заключается в определении эффективности регистрации фотонов гамма-излучения. Суть проблемы заключается в том, что существует практически бесконечное разнообразие объектов измерения (образцов), их геометрии и геометрии их взаиморасположения с детектирующей системой, а, следовательно, составляющих поглощения в окружающей среде и самопоглощения для определения полной эффективности (см. соотношение 9). Поэтому абсолютный метод определения активности, основанный на ее определении из выражения (1) с использованием уравнения (7), может быть эффективно применим только в случае измерения точечных источников излучения. Под точечными источниками обычно понимаются источники, размеры которых являются пренебрежимо малыми с точки зрения необходимости учета самопоглощения и введения поправок на собственную геометрию образца. Абсолютно большая часть объектов измерения к точечным источникам не относится. Существует подход к проведению анализов, позволяющий избежать проблем, связанных с определением эффективности. Он заключается в изготовлении или приобретении образцовых материалов, повторяющих в большей или меньшей степени измеряемый образец, или набора материалов, с помощью которого стандарт для измерений может быть изготовлен. С помощью образцового материала (стандарта) спектрометрическая система может быть откалибрована по эффективности в условиях, когда ее применение для анализа контролируемых образцов будет давать приемлемые результаты. При этом, если речь идет об анализе одного отдельного изотопа, содержащегося как в стандарте, так и в измеряемом образце, то определение его активности или массы может вестись с помощью простого сравнения площадей пиков полного поглощения фотоэлектронов какой-либо выбранной энергии (сравнительный метод анализа):

$$\frac{A_x}{A_0} = \frac{S_x}{S_0} = \frac{n_x}{n_0}, \tag{16}$$

где A_x, S_x и n_x означают активность, площадь пика полного поглощения и скорость счета в области пика полного поглощения для анализируемого образца;

A_0, S_0 и n_0 – для стандарта.

Необходимым условием анализа сравнительным методом является не только эквивалентность всех параметров измерений, но и активностей исследуемых образцов. Более правильным является использование для сравнительных анализов нескольких стандартов с различными значения активностей. В этом случае рекомендуется строить калибровочный график. Значение активности неизвестного образца должно находиться внутри диапазона активностей используемых стандартов. Преимуществом сравнительного метода является возможность использования одноканальных анализаторов или ограниченного диапазона измерения энергии, что может значительно сократить время проведения анализов.

Свои ограничения в возможность проведения гамма-спектрометрических анализов накладывает также аппаратура. Ограничения в ее использовании могут быть условно разделены на два типа. Первый тип связан с особенностями формирования и анализа спектра излучения (фоновым излучением, рассеянием, формированием ложных пиков и их интерференцией и тому подобное). Второй – с временным разрешением измерительных трактов. В частности, с величиной «мертвого» времени и контроля количества просчетов.

Вследствие ограниченной разрешающей способности спектрометров и эффектов рассеяния γ-квантов в веществе пробы и детектора (особенно в сцинтилляционном детекторе) на спектрограммах не выделяются фотопики некоторых изотопов, присутствующих даже в значительных количествах. Это происходит, например, когда фотопик какого-либо изотопа находится в зоне максимума комптоновского распределения от другой интенсивной γ-линии. В некоторых случаях происходит обратная ситуация – на спектрограммах могут появляться дополнительные пики, вызванные различными физическими процессами в детекторе. Их появление осложняет проведение анализа изотопного состава образца.

Большие трудности могут возникнуть при идентификации радиоизотопного состава слабоактивных проб с соизмеримой активностью естественных и искусственных радиоизотопов. На спектрограммах таких проб

фотопики исследуемых радионуклидов маскируются фотопиками естественных радиоизотопов и во многих случаях имеют неправильную форму или трудно различимы на уровне общего фона от естественного гамма-излучения.

При измерении объемных проб особенно резко проявляется эффект накопления импульсов в «мягкой» области спектра, соответствующей малым энергиям γ-квантов, за счет комптоновского рассеяния в самом материале источника. В результате фотопики располагаются на наклонной подставке и их максимумы смещаются в сторону малых энергий от истинного положения.

Использование сцинтилляционных детекторов для анализа проб сложного состава, несмотря на его высокую эффективность ограничено, так как достаточно сложно провести правильную идентификацию состава пробы, а значит определить количественные параметры содержания в ней радионуклидов. Основным преимуществом полупроводниковых детекторов является высокое энергетическое разрешение, что открывает широкие возможности для идентификации изотопного состава проб и их количественного анализа.

Вся получаемая при гамма-спектрометрии полезная информация сосредоточена в пиках полного поглощения. Погрешность результата измерения определяется числом отсчетов в пике и отношением пик/фон. Фон могут создавать посторонние пики, частично или полностью перекрывающиеся с измеряемым пиком, а также рассеянные кванты более высокоэнергетических излучений, образующие комптоновский континуум, на котором располагается измеряемый пик.

Погрешность полученного значения числа отсчетов в пике зависит от рационального выбора пика-носителя информации, параметров используемого спектрометра (разрешающей способности и эффективности), условий измерений (внешний фон, загрузка аппаратуры). Обычно стремятся так организовать эксперимент, чтобы эффект был сосредоточен в узком энергетическом интервале и измерялся на малом фоне. Для этого требуется:

– использовать пик, изолированный от других пиков и расположенный в высокоэнергетической части спектра, где фон от

комптоновских рассеяний мал. Использование высокоэнергетического пика важно еще и потому, что такое излучение минимально ослабляется внутри исследуемого образца и окружающего его пространства;

– использовать аппаратуру высокого разрешения с *Ge*-детектором. Важное значение имеет и эффективность регистрации квантов в пике полного поглощения, от которой зависит скорость набора полезной информации. Следует отметить, что при увеличении объема детектора растет вероятность регистрации квантов не только в результате фотоэффекта, но и в результате многократных процессов, ведущих к полной потере энергии в детекторе;

– организовать надлежащую защиту аппаратуры от внешнего излучения, что особенно важно при проведении измерений на реакторе или в хранилищах. Для защиты детекторов гамма-излучения применяют многослойную защиту *Pb-Cd-Cu*: свинец ослабляет жесткое излучение, но в результате образуются рентгеновские кванты, которые в свою очередь поглощаются кадмием и медью;

– обеспечить приемлемую загрузку измерительного тракта, чтобы не допустить уширения пиков. Для регулировки загрузки можно изменять ширину коллимационного отверстия в защите, пропускающего излучение в детектор. Кроме того, на пути излучения в детектор можно установить фильтры (*Pb, Cd*), поглощающие низкоэнергетическое излучение. Тогда доля высокоэнергетических квантов в общем потоке возрастет (а общий поток, как отмечалось, ограничен), что увеличит скорость набора полезной информации;

– если измеряемый пик находится в области низких энергий, не следует использовать детектор с большим объемом. Эффективность небольшого детектора будет достаточно велика для регистрации мягкого гамма-излучения, а фон, обусловленный комптоновским рассеянием высокоэнергетического излучения, будет существенно ниже, чем в большом детекторе.

Принципы и методы обработки пиков гамма-излучения, также как состав и принципы работы электронного оборудования гамма-спектрометрических систем, являются самостоятельными дисциплинами, которые и не вводят в

содержание данного курса и могут быть изучены самостоятельно по материалам, имеющимся в перечне литературы.

Качество гамма-спектрометрических измерений определяется совокупностью параметров, к наиболее значимым из которых можно отнести:

- энергетическое разрешение;
- диапазон энергий регистрируемых квантов гамма-излучения;
- эффективность регистрации в пике полного поглощения;
- интегральная и дифференциальная нелинейность;
- пропускная способность спектрометрического тракта;
- временная стабильность;
- температурная стабильность.

Требуемые качества результатов измерений (точность, повторяемость, воспроизводимость) могут быть достигнуты только при надлежащей работе применяемой измерительной системы. Нестабильность показаний приборов может быть вызвана:

- изменениями фона;
- изменениями геометрии измерений;
- изменениями температуры и влажности;
- изменениями в электропитании приборов;
- "старением" элементов и блоков электроники;
- повреждениями детекторов;
- действиями оператора.

Подготовка к проведению измерений должна включать:

- аттестацию метода измерений – процесс, с помощью которого демонстрируют и доказывают способность метода давать корректные результаты;
- аттестацию лаборатории – получение сертификата на проведение определенного типа измерений;
- аттестацию оператора – проверка и подтверждение сотрудником достаточной квалификации для проведения определенных измерений.

Полученные им результаты анализируют (на соответствие Гауссову распределению и другое) и сравнивают с данными, полученные уже аттестованными специалистами.

Для обеспечения качества измерений применяют комплекс мер контроля, предусматривающих непрерывные и периодические наблюдения за работой измерительных приборов с применением стандартных образцов и источников и оценку непостоянства результатов и погрешностей отдельных измерений. Цели контроля – наблюдение за стабильностью процесса измерений и получение данных о погрешностях. Применяют следующие процедуры:

- калибровку аппаратуры для того, чтобы гарантировать точность (избежать смещений результатов) и оценить стандартные отклонения результатов калибровки. Калибровка связывает результаты проводимых измерений с национальной (международной) системой единиц, обеспечивая сопоставимость с первичными эталонами;
- частые проверки с использованием рабочих стандартных образцов или источников;
- независимые повторные измерения образцов для оценки случайных погрешностей анализов;
- межлабораторный обмен образцами (межлабораторные эксперименты), который подтверждает, что данные проводимых измерений согласуются с данными других лабораторий, в том числе применяющих другие методы и аппаратуру.

При гамма-спектрометрических измерениях контроль качества чаще всего осуществляют с помощью калибровочного источника. Контролируемыми параметрами являются положение вершины пика на шкале энергий и его полуширина. Доказательством нормальной работы спектрометра обычно считают совпадение результатов ряда контрольных измерений в пределах удвоенного среднеквадратического отклонения. При недопустимом смещении или уширении пика необходимо принять меры для исправления ситуации:

перенастроить измерительную систему, проверить геометрию измерения и так далее.

Для облегчения работы операторов и повышения качества измерений широко применяется внутренний контроль измерений. Часто такой контроль выполняется с помощью специального программного обеспечения, которое является дополнительным пакетом к программе обработки результатов измерений и управления электронной аппаратурой. Использование таких программ позволяет автоматически контролировать качество каждого измерения, если процедура их проведения является рутинной (повторяющейся).

ГЛАВА 3 Финансовый менеджмент

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

– разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;

– организация работ по научно-исследовательскому проекту;

– определение возможных альтернатив проведения научных исследований;

– планирование научно-исследовательских работ;

– оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

– определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [20].

В данной диссертационной работе проведена работа по измерению обстановки внутри помещения, отборе и анализе проб с помощью гамма-спектрометрического анализа, интерпретации результатов. Обработка результатов проводилась при использовании спектрометрического тракта, состоящего из коаксиального детектора из особо чистого германия (ОЧГ) и цифрового анализатора спектра DSA-1000.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является определение степени опасности загрязнения рабочего помещения, а также разработка методов по защите от радиационного излучения, для дальнейшей реконструкции хранилища.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности, пограничная и таможенная службы РФ.

Сегментировать рынок услуг по разработке оптимальной методики измерения обогащения урансодержащих образцов можно по степени потребности использования данной методики. Результаты сегментирования представлены в рисунке 6.

		Оценка радиологической обстановки пункта хранения ЯМ и РВ с помощью спектрометрического анализа			
		Атомная промышленность	Научная отрасль	Пограничная и таможенная службы	Экспортный контроль
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 6 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию оптимальной методики измерения

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В результате проведения измерений была определена минимально значимая удельная активность радионуклидов гамма-спектрометрическим методом. Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть другие методы определения МЗУА:

– измерение удельной активности в точечной геометрии;

– измерение удельной активности сцинтилляционным детектором.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 6. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять

1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$К = \sum B_i \cdot Б_i , \qquad (21)$$

где $К$ – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – балл i-го показателя.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$Б_ф$	$Б_{к1}$	$Б_{к2}$	$К_ф$	$К_{к1}$	$К_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Энергоэкономичность	0,04	5	3	3	0,2	0,12	0,12
4. Надежность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Уровень шума	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
6. Безопасность	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
7. Потребность в материальных ресурсах	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
8. Функциональная мощность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
9. Помехоустойчивость	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
10. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
2. Стоимость разработки	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
4. Финансирование разработанного метода	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Итого	1				4,96	3,86	3,66

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что метод, выбранный в данной диссертационной работе, имеет ряд преимуществ по сравнению с конкурентными методами. Измерение удельной активности в точечной геометрии не показывает общей картины, т.е. измерения справедливы только для данной точки области. Сцинтилляционный детектор не обеспечивает достаточной точности измерений.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [20].

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 7 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	+	+	+	+
В2	+	+	+	+	+
В3	+	+	–	+	+
В4	+	+	+	+	+
В5	+	+	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 8.

Таблица 8 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1. Актуальность выбранной темы. С2. Применение современного оборудования и программного кода. С3. Бюджетное финансирование С4. Наличие достоверных результатов измерений. С5. Возможность оптимизации измерительного процесса.	Слабые стороны проекта: Сл1. Ограниченное количество урансодержащих источников. Сл2. Ограниченное количество измерений. Сл3. Закрытость программного кода. Сл4. Длительный срок поставки материалов, необходимых при проведении измерительного процесса. Сл5. Отсутствие возможности ремонта детектора.

Продолжение таблицы 8

Возможности: В1. Использование для исследований инфраструктуры НИ ТПУ. В2. Разработка рекомендаций по определению МЗУА. В3. Возможность создания новых условий для проведения эксперимента. В4. Поддержка развития атомной энергетики со стороны государства. В5. Дополнительный спрос на результаты исследования.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Полное обеспечение условий проведения экспериментов. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики и использованием современных программных кодов.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Срок поставки и наличие материалов, необходимых для проведения экспериментов, хоть и играют роль, но в сущности незначительную. 2. Проблема ограниченного количества исследуемых источников и ограниченного количества времени измерений решается при помощи возможной поддержки со стороны государства и заинтересованных организаций.
Угрозы: У1. Возможность выхода из строя детектора. У2. Вероятность разработки подобных методик анализа изотопного состава другими организациями. У3.Задержка финансирования экспериментов. У4. Низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие. У5. Разработка новейших методик изотопного анализа.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Поломка детектора в совокупности с задержкой финансирования могут внести сбой в режим проведения экспериментов, но заблаговременная проверка детектора и поиск новых источников материальной поддержки могут решить создавшуюся проблему в кратчайшие сроки.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Проведение подобных исследований другими организациями, развитие новейших методов изотопного анализа, ограниченное количество измерений, сбой в поставках комплектующих – всё это представляет собой наиболее уязвимые места разработки. Однако рассмотренные возможности проекта могут снизить влияние перечисленных выше недостатков.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества разработанной методики измерений значительно преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

Рисунок 7 – Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2016	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2016	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2016	
4	Подбор и изучение материалов	10.02.2016	Отчёт

Продолжение таблицы 9

5	Календарное планирование работ	12.02.2016	План работ
6	Изучение методических материалов	05.03.2016	Отчёт
7	Освоение программного обеспечения оборудования	05.03.2016	Отчёт
8	Проведение экспериментов	15.02.2016-30.03.2016	Отчёт
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	28.03.2016	Отчёт
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2016	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	14.02.2016-30.04.2016	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2016	
13	Подготовка к защите	27.04.2016-25.05.2016	

3.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ [20].

Линейный график представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2016	3.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2016	5.02.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	5.02.2016	10.02.2016	Руководитель, студент

Продолжение таблицы – 10

4	Подбор и изучение материалов по теме	28	10.02.2016	10.03.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	2	12.03.2016	14.03.2016	Руководитель, студент
6	Изучение методических материалов	28	10.02.2016	10.03.2016	Студент
7	Освоение программного обеспечения оборудования	2	01.03.2016	05.03.2016	Студент
8	Проведение экспериментов	40	10.02.2016	22.03.2016	Студент
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	4	20.03.2016	24.03.2016	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2016	30.03.2016	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	77	14.02.2016	30.04.2016	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2016	27.04.2016	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	29	27.04.2016	25.05.2016	Студент

В таблице 11 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_к$, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	2														
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	5														
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	28														
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	2														
6	Изучение методических материалов	Студент	28														
7	Освоение программного обеспечения оборудования	Студент	2														
8	Проведение экспериментов	Студент	40														
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Студент	4														
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	1														
11	Составление пояснительной записки	Студент	77														
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент	1														
13	Подготовка к защите	Студент	29														

– Руководитель – Студент

3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

– материальные затраты;

– затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

– основная заработная плата исполнителей темы;

– дополнительная заработная плата исполнителей темы;

– отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

– затраты научные и производственные командировки;

– контрагентные расходы;

– накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_{\text{Т}}) \cdot \sum_{i=1}^{m} Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}\,, \qquad (22)$$

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

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 12.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$C = Ц_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2{,}05 \cdot 0{,}5 \cdot 540 = 553{,}5$

где $Ц_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,05 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 554 рубля.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	–	270 кВт·ч	2,05	553,5
Бумага	SvetoCopy	110	0,38	41,8
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Pilot BPS-GP	1	50	50
Доступ в интернет	–	4 месяца	350	1400
Азот	ГОСТ 9293-74 (99,999%)	50 л	25	1250
Всего за материалы				3460,3
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье $С_м$				3460,3

3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ.

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится германиевый детектор, стоимость которого составляет 3500000 рублей, назначенный срок службы – 15 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (23)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (3500000 / 5475) = 640 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 45 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 640 \cdot 40 = 25600 \text{ руб.}$$

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (24)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (25)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{\text{дн}} = (З_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (26)$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб. дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: – выходные дни; – праздничные дни	 52 14	 104 14
Потери рабочего времени: – отпуск; – невыходы по болезни	 48 –	 24 –
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 5850 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$З_{дн} = (5850 \cdot 11{,}2) / 223 = 293{,}8 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$З_{осн} = 293{,}8 \cdot 40 = 11752 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

– оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

– иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью старшего преподавателя. Оклад старшего преподавателя составляет 16752 рубля.

Надбавки к заработной плате составляют 10000 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$З_{осн} = 16752 \cdot 1,3 + 10000 = 31777,6 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$З_{дн} = (31777,6 \cdot 10,4) / 251 = 1316,68 \text{ руб / день.}$$

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн},$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	31777,6	11752

Продолжение таблицы 14

Дополнительная зарплата	4766,64	1762,8
Зарплата исполнителя	36544,24	13514
Итого по статье $C_{зп}$	50059,04	

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (27)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{внеб} = 0{,}271 \cdot (31777{,}6 + 4766{,}64) = 9903{,}48 \text{ руб.}$$

3.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (28)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{накл}$ = 30 %.

Накладные расходы составляют:

$$C_{накл} = 0,3 \cdot (31777,6 + 4766,64) = 10963,3 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	3460,3
2. Затраты на специальное оборудование	25600
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43529,6
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6529,44
5. Отчисления во внебюджетные фонды	9903,5
6. Накладные расходы	10963,3
Бюджет затрат исследования	99986,14

3.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 8.

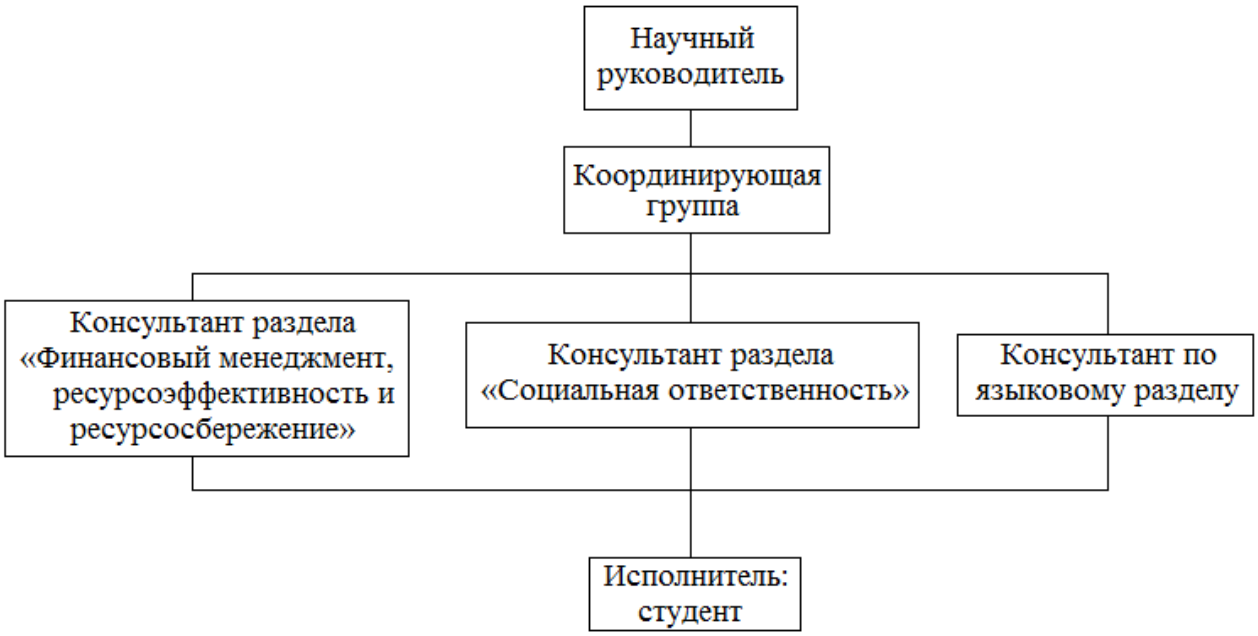

Рисунок 8 – Организационная структура научного проекта

3.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соцответственност	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И

Продолжение таблицы 16

Календарное планирование работ	О				И
Изучение методических материалов					И
Освоение программного обеспечения оборудования					И
Проведение экспериментов	О				И
Выполнение расчётов и анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

– ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;

– исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);

– согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 2.6). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{Ф_{pi}}{Ф_{\max}}, \quad (29)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$Ф_{pi}$ – стоимость i-го варианта исполнения;

$Ф_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^{р} = \frac{Ф_{р}}{Ф_{\max}} = \frac{99986,14}{99986,14} = 1;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{фина1}^{а1} = \frac{Ф_{а1}}{Ф_{\max}} = \frac{102010}{99986,14} = 1,02; \quad I_{фина1}^{а1} = \frac{Ф_{а1}}{Ф_{\max}} = \frac{75412,5}{99986,14} = 0,75;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \,, \tag{30}$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент *i*-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка *i*-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	5	4
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	2
4. Энергосбережение	0,2	5	5	3
5. Надёжность	0,15	5	4	3
6. Материалоёмкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	5	4,83	3

$I_{тп}$ = 5·0,25 + 5·0,2 + 5·0,05 + 5·0,2 + 5·0,15 + 5·0,15 = 5;

Аналог 1 = 5·0,25 + 5·0,2 + 5·0,05 + 5·0,2 + 4·0,15 + 4·0,15 = 4,7;

Аналог 2 = 3·0,25 + 4·0,2 + 2·0,05 + 3·0,2 + 3·0,15 + 3·0,15 = 3,15.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^{p}$) и аналога ($I_{финаi}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^{p} = \frac{I_m^p}{I_{финр}^{p}}; \; I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}}; \tag{31}$$

В результате:

$$I^{p}_{финр} = \frac{I^{p}_{m}}{I^{p}_{финр}} = \frac{5}{1} = 5;\;\; I^{a1}_{фина1} = \frac{I^{a1}_{m}}{I^{a1}_{фина1}} = \frac{4{,}7}{1{,}02} = 4.6;\;\; I^{a2}_{фина2} = \frac{I^{a2}_{m}}{I^{a2}_{фина2}} = \frac{3.15}{0.75} = 4{,}2.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$Э_{ср} = \frac{I^{p}_{финр}}{I^{ai}_{финаi}}.$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,02	0,75	1
П2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,15	5
3	Интегральный показатель эффективности	4,6	4,2	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1,19	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Список публикаций

1. Кузнецов М.С., Красновский А.А. Оценка радиологической обстановки пункта хранения ЯМ и РВ с помощью спектрометрического анализа // Актуальные вопросы ядерного нераспространения, безопасность и экология ядерной отрасли: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 1-3 июня 2016 г. – Томск: НИ ТПУ, 2016 – С. 195.