

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 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Измерение изотопного состава урана с помощью программного кода FRAM	

УДК 621.039.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Г	Гончаров Дмитрий Федорович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ФЭУ ФТИ	М.С. Кузнецов			

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		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	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.
Р2	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.
Р3	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.
Р4	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.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	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	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	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).
Р9	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.
Р10	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.

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	Гончарову Дмитрию Федоровичу

Тема работы:

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	HPGe-детектор на основе гибридного криостата, стандартные изотопные источники урана, порошки и растворы нитрата уранила, программный код FRAM, рекомендуемая литература
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение: цель работы, область применения разрабатываемой проблемы, её научное, техническое и практическое значение. Основная часть: обзор литературных источников, выбор статистического метода для анализа результатов, разработка программы исследований и их проведение, анализ полученных результатов
Перечень графического материала	Схема спектрометрического тракта
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ася Александровна Сечина

Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
нет	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ФЭУ ФТИ	Кузнецов М.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Г	Гончаров Дмитрий Федорович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Гончарову Дмитрию Федоровичу

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, освещение, электромагнитные поля, ионизирующее излучение; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защита (коллективные и индивидуальные).
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	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Гончаров Дмитрий Федорович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2Г	Гончаров Дмитрий Федорович

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих

Нормы и нормативы расходования ресурсов

Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Анализ конкурентных технических решений

Планирование научно-исследовательских работ

Бюджет научно-технического исследования

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. График проведения и бюджет НИ

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Г	Гончаров Д.Ф.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 68 страниц, 18 таблиц, 7 рисунков, 2 приложения.

Ключевые слова: ядерный материал, гамма-спектрометрия, обогащение урана, FRAM, система учета и контроля, система контроля и управления доступом, полупроводниковый детектор, гамма-линия, пик полного поглощения.

Объектом исследования являются стандартные изотопные источники урана, порошки и растворы нитрата уранила.

Целью дипломной работы является оптимизация процесса анализа изотопного состава урана при использовании спектрометрического тракта на основе HPGe детектора и кода FRAM, посредством определения влияния различных факторов на результаты измерений.

В процессе работы проводились исследования по определению обогащения урановых образцов в зависимости от времени, набора параметров и агрегатного состояния. Анализ полученных результатов проводился при помощи статистических методов. Эксперименты выполнялись с использованием детектора из особо чистого германия на базе гибридного криостата фирмы Canberra и программным кодом PC-FRAM.

В результате были выявлено влияние на результаты измерения таких факторов, как время измерений и агрегатное состояние образцов. Также, были рассмотрены различные наборы параметров программы FRAM, позволяющие применять для различных образцов наиболее подходящие параметры, для снижения погрешности при измерениях.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: удовлетворительная точность измерения при проведении измерений с оптимизацией по времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЯМ – ядерный материал

СКО – среднеквадратичное отклонение

ОСО – образец стандартного изотопного состава

ПФ – производственный фактор

ОПФ – опасным производственным фактором

ВПФ – вредными производственными факторами

СВЧ – сверхвысокочастотное излучение

ИИИ – источник ионизирующего излучения

СИЗ – средства индивидуальной защиты

ЭМИ – электромагнитное излучение

FRAM – Fixed-Energy, Response Function Analysis with Multiple Efficiency

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
1 ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЯ	14
1.2 Детекторы гамма-излучения	15
1.3 Программный пакет FRAM	16
1.3.1 Особенности	16
1.3.2 Описание	16
1.3.3 Принцип анализа	17
1.3.4 Метод соотношения пиков полного поглощения	19
1.3.5 Результаты	22
1.4 Коаксиальные германиевые детекторы со стандартными электродами	22
1.4.1 Особенности	22
1.4.2 Описание	23
2 ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	24
2.1 Геометрия измерений	24
2.2 Обработка результатов	24
2.3 Программа экспериментов	25
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	32
3.1 Технология QuaD	32
3.2 Анализ конкурентных технических решений	34
3.3 Планирование научно-исследовательских работ	36
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	36
3.3.3 Техническая готовность темы	38
3.3.2 Разработка календарного плана работ	39
3.4 Бюджет научно-технического исследования	40
3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	41
3.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы	42
3.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страхование)	43
3.4.4 Накладные расходы	44
3.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	44
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	45
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	48
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	48
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на спектрометре и ПЭВМ	50
4.2.1 Организационные мероприятия	50
	11

4.2.2 Технические мероприятия	50
4.2.3 Условия безопасной работы	52
4.3 Электробезопасность	54
4.4 Пожарная и взрывная безопасность	57
4.5 Радиационная безопасность	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64
Приложение А Календарный план-график проведения НИР	67
Приложение Б ФЮРА.14.03.02.076.СХ Спектрометрический тракт	
Схема принципиальная	68

ВВЕДЕНИЕ

Во всей сфере атомной энергетики используется делящийся материал – материал, содержащий один или несколько делящихся нуклидов и способный при определенных условиях обеспечить достижение критичности, что может привести к самопроизвольной цепной реакции. Для контроля данных материалов необходимы специальные методики анализа. С развитием технологий все большее распространение получают методы неразрушающего анализа. Главной задачей таких исследований является решение вопросов, касающихся предотвращения незаконного оборота ядерного материала в целях поддержания режима нераспространения. Тем самым обеспечиваются гарантии штатного и безопасного использования ядерных материалов, что в свою очередь создает благоприятный имидж для развития ядерных технологий и расширения области и сфер их использования.

Одним из таких методов является гамма-спектрометрический анализ ядерных материалов. В силу ряда своих особенностей гамма-спектрометрический анализ нашел широкое применение как в производственных условиях, так и в области контроля за ядерными материалами, включая таможенную и пограничную службы. Данный метод является основным при определении изотопного состава ядерных материалов и обогащения урана. Точное определение уранового обогащения является сложной задачей. Высокообогащенные материалы представляют угрозу, так как могут быть использованы в создании ядерной бомбы, поэтому требования к защите таких материалов намного выше. Принято считать оружейным ураном, т.е. материалом, пригодным для создания ядерной бомбы, уран с обогащением свыше 20%[4]. Сложность данной задачи заключается в том, что небольшие изменения в условиях анализа в отношении геометрии системы образец-детектор, параметров детектирования, гомогенности образца, его химического состава, массы, формы и т.д. по отношению к калибровочному стандарту, в результаты могут быть внесены значительные погрешности, точный учет

которых является трудновыполнимым. Поэтому в области измерения изотопного состава и обогащения существует потребность в использовании унифицированных алгоритмов, позволяющих реализовать математически сложные методики расчетов в автоматическом режиме и обеспечить тем самым приемлемую точность анализов. Для решения указанной задачи используется специализированное программное обеспечение.

Для проведения подобных измерений используются различные пакеты программ, одним из которых является PC-FRAM (FRAM). Одним из преимуществ данного программного кода является его относительная открытость. Для получения наиболее точных результатов, существует возможность сделать уникальный набор параметров, который бы наилучшим образом подходил к образцу с данным обогащением.

Проблемой данного программного кода является его сложность в использовании: наличие различных наборов параметров, каждый из которых влияет на погрешность. Громоздкая архитектура программного кода требует длительное обучение пользования данной программой.

В дипломной работе выполнена серия экспериментов, целью которых являлось определение степени влияния различных факторов и их совокупности на результаты анализов. Обработка полученных экспериментальных данных выполнена с помощью статистических методов.

Целью дипломной работы является оптимизация процесса анализа изотопного состава урана при использовании спектрометрического тракта на основе HPGe-детектора и кода FRAM.

Задачи, решаемые при выполнении дипломной работы:

- обзор теоретических данных и методов гамма-спектрометрического анализа для определения обогащения урана;
- изучение программного кода FRAM и его параметров для проведения измерений;
- разработка программы исследований и их проведение;
- анализ полученных результатов.

1 ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЯ

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 энергий служат для идентификации изотопного состава материалов. При объединении с измерениями интенсивностей излучения они могут предоставить информацию о количестве имеющегося материала. Обогащенное урановое топливо, например, имеет интенсивное гамма-излучение с энергией 186 кэВ, которое связано с альфа-распадом урана, и обогащение ^{235}U может быть определено с помощью измерения интенсивности этого гамма-излучения. Образцы плутония в общем случае содержат изотопы ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{242}Pu , а также продукты распада, которые дают вклад в чрезвычайно сложную смесь характеристических энергий гамма-излучения. Данные о распаде облученного топлива, извлеченного из реактора, могут быть получены при измерении относительных интенсивностей гамма-излучения, связанного с продуктами деления и активации. Для этого типа измерений практически важным является гамма-излучение ^{137}Cs энергией 662 кэВ. Чтобы зарегистрировать гамма-излучение, оно должно взаимодействовать с детектором так, чтобы передать всю или часть энергии гамма-кванта. Основой всех систем регистрации гамма-излучения является сбор электрического заряда, пропорционального переданной детектору энергии, чтобы получить импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна энергии гамма излучения. В спектрометрах гамма излучения эти импульсы сортируются с помощью соответствующей электроники, такой, как одноканальный или многоканальный анализатор. С помощью многоканальных анализаторов информация о гамма-излучении, имеющем различные значения энергии, может быть выведена в графическом виде на дисплей или печать, чтобы получить энергетический

спектр гамма-излучения, который представляет подробную информацию для анализируемого материала.

1.2 Детекторы гамма-излучения

Наиболее широко используются сцинтилляционные детекторы – обычно кристаллы иодида натрия (NaI) или твердые полупроводниковые детекторы – обычно кристаллы особо чистого германия (Ge) или теллурида кадмия (CdTe). NaI детекторы могут иметь большой объем и, в общем случае, они имеют более высокие эффективности регистрации гамма-излучения, чем Ge детекторы. Их использование для задач УиК ЯМ включает, например, проверку обогащения ^{235}U для свежего топлива, а также наличие отработавшего топлива с помощью регистрации гамма-излучения продуктов деления. Их способность различать гамма-излучение по энергиям, тем не менее, относительно низкая, и из трех вышеперечисленных типов детекторов у них самое низкое энергетическое разрешение. Германиевые детекторы имеют энергетическое разрешение намного превосходящее энергетическое разрешение NaI детекторов, и они больше пригодны для задачи разрешения сложных спектров гамма-излучения и получения информации об изотопном составе материалов. Используют Ge детекторы различной формы и размеров: от небольших планарных до больших коаксиальных детекторов (80-90 мм³). Недостатком этих детекторов является то, что они должны работать при очень низкой температуре, которая обычно достигается при охлаждении жидким азотом. Стандартные CdTe детекторы (или детекторы CdZnTe) не требуют охладителя. Из трех типов детекторов они имеют наибольшую внутреннюю эффективность регистрации. Недавние технологические достижения существенно улучшили разрешение CdTe. Имеющиеся стандартные объемы таких детекторов до 1997г. были относительно небольшими (20 мм³ и 60 мм³). Тем не менее, портативность и малые размеры сделали их особенно удобными для использования в условиях ограниченного пространства, таких как: при проверочных измерениях сборок свежего топлива,

конструкция которых позволяет вводить регистрирующий зонд внутрь сборки, и рядом с упакованными пучками отработавшего топлива, хранящимися под водой. Недавно были получены CdZnTe детекторы больших объемов (до 1500 мм³), с существенно большей эффективностью регистрации.

Такой метод обладает рядом преимуществ: высокая точность и оперативность измерений, с его помощью возможно осуществлять качественный и количественный анализ, а также данный метод является методом неразрушающего анализа. Точность подобных измерений является очень важной характеристикой. Что касается оперативности метода, то время измерений занимает считанные минуты, что не маловажно при поточных измерениях.

1.3 Программный пакет FRAM

1.3.1 Особенности

К особенностям данного программного пакета можно отнести следующее:

- определяет изотопный состав плутониевых и урановых образцов;
- использует спектры, измеренные германиевыми детекторами;
- для анализа областей со сложными пиками реализует утонченные алгоритмы подгонки пиков и разрешения мультиплетов;
- не требует калибровки по эффективности регистрации;
- учитывает матрицу образца, его толщину и характеристики контейнера;
- разработано Лос-Аламосской Национальной Лабораторией и поставляется по лицензии компанией Канберра Индастриз.

1.3.2 Описание

FRAM (Fixed-Energy, Response Function Analysis with Multiple Efficiency, Анализ функции отклика при фиксированной энергии с множественной эффективностью) – это программа для анализа спектров амплитуд импульсов,

полученных с детекторов гамма-излучения высокого разрешения. Изначально программа использовалась для определения изотопного состава плутония в специальных ядерных материалах. Архитектура программы позволяет легко перенастраивать её для измерения содержания и распределения других изотопов в различных образцах. В задачах учёта и контроля специальных ядерных материалов FRAM дополняет калориметрический метод и метод счёта нейтронных совпадений, позволяя интерпретировать их результаты в единицах полной массы плутония. Программа FRAM – простой, удобный и экономичный инструмент для работы в составе одноканальной спектрометрической системы на базе как планарного, так и коаксиального германиевого детектора. Используя, например, коаксиальный детектор, с помощью такой системы и с одним набором параметров можно измерять различные типы материалов: плутоний, смесь плутония с ураном, чистый уран, защищенные плутониевые образцы. Программа также может быть легко адаптирована пользователем к нестандартным типам материалов и необычным условиям измерения без длительных и дорогостоящих модификаций кода.

1.3.3 Принцип анализа

Программа FRAM анализирует фотопики в спектре гамма-излучения плутониевого образца, зарегистрированного детектором из особо чистого германия. Этот спектр содержит линии нуклидов ^{238}Pu – ^{241}Pu , ^{241}Am и, зачастую, ^{235}U и/или ^{237}Np . Для расчёта изотопного состава FRAM комбинирует данные, полученные из спектра с известными фундаментальными параметрами – такими, как периоды полураспада и квантовые выходы линий. Такой подход обеспечивает независимость результатов анализа от размеров, формы и химического состава образца, геометрии измерения и параметров контейнера и не требует калибровки с помощью стандартных образцов. Основное требование, предъявляемое при анализе образцов с помощью программы FRAM – однородность распределения изотопов плутония в объёме образца – обычно

удовлетворяется. Это позволяет улучшать результаты элементного анализа гетерогенных образцов, полученных пирохимическим методом. Функция множественной эффективности FRAM позволяет также обрабатывать другие типы образцов с неоднородным элементным распределением. При этом физические и химические характеристики образцов могут быть неоднородны или даже неизвестны. Например, измеряемый образец может содержать смесь порошка и твёрдых фрагментов, и программа FRAM вполне применима, если изотопный состав плутония в нём был одинаковым. FRAM прежде всего аналитическая программа, но тем не менее она имеет функции эмуляции многоканального анализатора и визуализации спектра. Типичный экран программы FRAM показан на рисунке 1.1, он состоит из панели управления, окна спектра и окна результатов. Спектр в соответствующее окно может выводиться в различных видах, туда могут выводиться и результаты подгонки каждого пика.

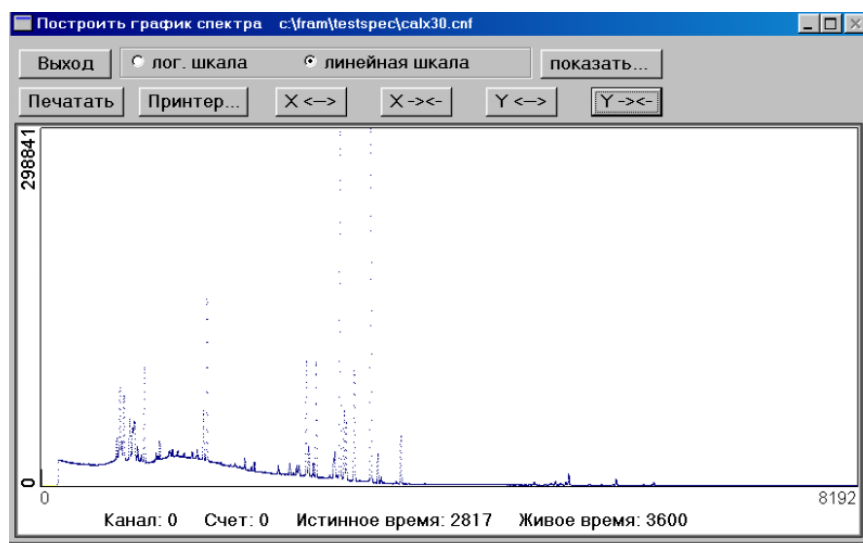


Рисунок 1.1 – Окно программы с изображением спектра образца и результатами его анализа

Для расчёта изотопного состава FRAM комбинирует данные, полученные из спектра с известными фундаментальными параметрами – такими, как периоды полураспада и квантовые выходы линий. Формула для расчета обогащения используемая в программном пакете:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{T_{1/2_1}}{T_{1/2_2}} \cdot \frac{BR_2}{BR_1} \cdot \frac{RE_2}{RE_1}, \quad (1.1)$$

где N_1, N_2 – атомный номер изотопа;

C_1, C_2 – площадь фотопика;

$T_{1/2_1}, T_{1/2_2}$ – периоды полураспада соответствующих изотопов, сек;

BR_1, BR_2 – доля разветвления;

RE_1, RE_2 – показатель чувствительности детектирования[3].

1.3.4 Метод соотношения пиков полного поглощения

Согласно методике отношения пиков требует измерить отношения интенсивностей гамма-излучения основных изотопов и использовать эту информацию для определения обогащения урана. В простейшем случае низкого обогащения по ^{235}U , изотопы ^{235}U и ^{238}U , в сущности, являются единственными компонентами образца. Так как сумма их изотопных содержаний f в этом случае равна единице, атомарное содержание ^{235}U (из уравнения 2) составляет

$$E_a = f_{235} = \frac{N_{235}}{N_{235} + N_{238}} = \left(1 + \frac{f_{238}}{f_{235}}\right)^{-1}, \quad (1.2)$$

Если в образце присутствуют в значимых количествах изотопы ^{234}U или ^{236}U , можно измерить другие отношения гамма-пиков от этих изотопов. Тогда выражение для атомарного содержания ^{235}U должно включать в себя эти другие отношения.

Трудным вопросом в методике отношения пиков является определение изотопного отношения $\frac{f_{238}}{f_{235}}$. Наиболее интенсивными пиками гамма-излучения ^{238}U являются пики от его дочернего изотопа $^{234\text{m}}\text{Pa}$, находящиеся в энергетическом диапазоне от 700 до 1000 кэВ (из табл. 1.1). Большая разница энергии между гамма-квантами $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (^{238}U) и гамма-квантами 186 кэВ от ^{235}U делает необходимой существенную поправку на отличие относительной эффективности детектора, включая поглощение квантов в материалах образца и контейнера. Построение графика относительной эффективности как функции энергии требует измерения интенсивности известных пиков в заданном энергетическом диапазоне. Для измерений обогащений урана необходимо

определить скорости счета для нескольких гамма-пикув от двух основных изотопов (^{235}U и ^{238}U) и нормировать результаты измерений на общую кривую эффективности.

В одном из применений этой методики нормировочный коэффициент k между кривыми относительной эффективности для интенсивностей гамма-излучения ^{235}U и ^{238}U определяется методом последовательных приближений. Тогда атомарное содержание в уравнении (1.2) будет находится с помощью выражения:

$$E_a = \left[1 + \frac{\lambda_{238}}{\lambda_{235}} \right]^{-1}, \quad (1.3)$$

где λ_a – постоянная времени радиоактивного распада изотопа массой A ;
 k – отношение активностей двух интересующих изотопов, определенное методом последовательных приближений:

$$k = A(^{238}\text{U}) / A(^{235}\text{U}), \quad (1.4)$$

При построении кривой относительной эффективности учитывают слабые пики гамма-излучения 258,3 кэВ от $^{234\text{m}}\text{Pa}$ и 63,3 кэВ от ^{234}Th для распространения данных по эффективности к гамма-излучению продуктов распада ^{238}U на область энергии, в которой преобладают гамма-кванты ^{235}U .

Аналогичный способ был применен для спектрометрии гамма-излучения с высоким разрешением в узком диапазоне энергии от 89 до 99 кэВ. В одном из подходов для изотопных измерений были использованы линии, расположенные в области от 92,4 до 93,4 кэВ: интенсивности линий 92,4 и 92,8 кэВ от ^{234}Th были использованы в качестве меры концентрации ^{238}U в образце, а линия тория K_{a1} с энергией 93,35 кэВ применялась как мера концентрации ^{235}U . Вклад ^{238}U в линию 93,35 кэВ был учтен при градуировке. Рентгеновская K_a -линия урана использовалась при градуировке по энергии и эффективности. При лабораторных исследованиях было достигнуто согласие с результатами масс-спектроскопического анализа лучше, чем 1 %. При другом подходе использовалась рентгеновская K -линия 89,9 кэВ тория от распада ^{235}U и дублет

92 кэВ гамма-излучения ^{234}Th . Результаты согласуются со стандартными величинами в пределах 1 %.

Оба способа использования областей низкоэнергетических пиков основываются на равновесии между дочерним ^{234}Th и материнским ^{238}U изотопами. Так как период полураспада изотопа ^{234}Th составляет 24 дня, равновесие обычно достигается через период времени от 120 до 168 дней (97 и 99 % от равновесной активности, соответственно) после химического разделения. Узкий энергетический диапазон снижает до минимума неопределенность зависящей от энергии относительной эффективности регистрации фотопиков, а предварительное определение этой эффективности для каждого образца делает эту методику измерения обогащения менее зависимой от знания материала матрицы.

Описанные методы имеют преимущество в том, что измеряется отношение пиков. Это позволяет определять обогащение урана без использования стандартных образцов обогащения или без определения зависящих от геометрии измерения градуировочных постоянных. При этом образцы не обязаны удовлетворять критерию "бесконечной" толщины. Кроме того, поправки на относительную эффективность делаются для каждого образца и включают поглощение не только в материале образца, но и в контейнере и во всех внешних поглотителях. Недостатками этой методики являются:

- низкая интенсивность излучения дочерних продуктов ^{238}U для высокоэнергетического метода;
- необходимость установления векового равновесия между ^{238}U и его дочерними продуктами;
- необходимость изотопной однородности образца.

Необходимость изотопной однородности проявляется в случаях, когда в контейнере наряду с измеряемым материалом может оказаться остаток материала от других образцов, например, при измерении баллонов с UF_6 , в которых уран от предыдущих партий может отложиться на стенках баллона.

Методы определения обогащения урана по отношению пиков могут, в принципе, также применяться для "бесконечных" образцов. Однако в этих случаях методы отношения пиков более трудоемки и продолжительны и обычно не имеют преимущества перед другими методиками измерения обогащения, которые проще, быстрее и менее дороги [3].

1.3.5 Результаты

Для технологических измерений или измерений по контролю качества результатом принимается собственно изотопный состав образца. Для задач учёта и контроля ядерных материалов конечным результатом чаще являются две производные величины: удельная тепловая мощность – P_{ueff} (Ватт на грамм Pu) и эффективное содержание ^{240}Pu – $240P_{\text{ueff}}$. Эти величины рассчитываются по измеренному изотопному составу и известным ядерным константам и используются для интерпретации результатов калориметрического анализа (P_{eff}) и анализа методом счёта нейтронных совпадений ($240P_{\text{ueff}}$).

1.4 Коаксиальные германиевые детекторы со стандартными электродами

1.4.1 Особенности

К особенностям детектора из особо чистого германия относят:

- энергетический диапазон от 40 кэВ до 10 МэВ;
- высокое разрешение, хорошая форма пика;
- отличное временное разрешение;
- высокая перегрузочная способность;
- диодная защита полевого транзистора;
- защита от подачи напряжения на неохлажденный детектор;
- индикатор перегрузки.

1.4.2 Описание

Встречаются различные названия традиционного коаксиального германиевого детектора: детектор из чистого германия, детектор из высокочистого германия (HPGe-детектор), германиевый детектор с собственной проводимостью, детектор из особо чистого германия (ОЧГ). Независимо от названия детектор представляет собой цилиндр из германия с контактом n-типа на внешней поверхности цилиндра и контактом p-типа на внутренней поверхности коаксиального «колодца». Суммарный уровень примесей в германии составляет 10^{10} атомов/см³, поэтому при подаче на детектор напряжения смещения в объеме кристалла детектора возникает электрическое поле, а ток утечки очень мал. В результате фотонного взаимодействия в кристалле образуются электронно-дырочные пары, которые перемещаясь под действием электрического поля к электродам соответствующей полярности, где собирается заряд пропорциональный энергии зарегистрированного фотона. На собирающих электродах зарядочувствительный предусилитель преобразует собранный заряд в импульс напряжения, пропорциональный энергосодержанию в детекторе. Как правило, контакты (электроды) n- и p-типа представляют собой соответственно диффундированный литий и имплантированный бор. Толщина внешнего литиевого контакта n-типа обычно составляет 0,5 мм. Толщина внутреннего контакта составляет 0,3 мкм. Имплантированный бор можно заменить поверхностно-барьерным контактом, при этом результаты будут такими же.

Коаксиальный германиевый детектор компании CANBERRA можно хранить и транспортировать без охлаждения. Однако долгосрочная стабильность характеристик детектора лучше всего обеспечивается при его хранении при температуре жидкого азота. Стойкость и живучесть детекторов этого типа расширяет рамки их применения, включая использование в полевых условиях в составе портативных спектрометров. Рабочий диапазон энергий коаксиального германиевого детектора – от 40 кэВ до 10 МэВ.

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Быстрое и точное определение изотопного состава урана необходимо во многих задачах. Мировая тенденция к ядерному разоружению, наряду с растущим беспокойством по поводу возможного применения делящихся материалов не в мирных целях, увеличивает значимость таких измерений в задачах ядерной безопасности. Для решения такого рода задач необходимы оперативные и точные измерения, для исключения возможных ошибок персонала. Тем самым будут обеспечены гарантии штатного и безопасного использования ядерных материалов.

3.1 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) 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.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность. - правовая защищенность и др.

Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;

- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

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

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 3.1).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по столбальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 3.1.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Энергоэффективность	0,1	100	100	1	10
2.Точность результатов	0,1	90	100	0,9	9
3.Оперативность	0,1	80	100	0,8	8
4.Унифицированность	0,1	80	100	0,8	8
5.Надежность	0,1	95	100	0,95	9,5
6.Помехоустойчивость	0,05	70	100	0,7	3,5
7.Безопасность	0,15	95	100	0,95	14,25
8.Конкурентоспособность	0,05	50	100	0,5	2,5
9.Цена	0,1	30	100	0,3	3

Продолжение таблица 3.1

10. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	50	100	0,5	2,5
11. Простота эксплуатации	0,05	70	100	0,7	3,5
12. Уровень материалоемкости	0,05	60	100	0,6	3
Итого	1	615		8,7	76,75

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i B_i, \quad (3.1)$$

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. По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения. Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенно снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов. Перспектива данной разработки равна 76,75 и разработку можно считать перспективной.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 3.2. В качестве

конкурирующих разработок были приняты: K1 – FRAM, K2 – MGA(MGAU). 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 единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.2)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6
Критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Энергоэффективность	0,1	5	5	0,5	0,5
2.Точность результатов	0,1	5	4	0,5	0,4
3.Оперативность	0,1	4	4	0,4	0,4
4.Унифицированность	0,1	5	3	0,5	0,4
5.Надежность	0,1	4	4	0,4	0,4
6.Помехоустойчивость	0,05	5	5	0,25	0,25
7.Безопасность	0,15	5	5	0,75	0,75
8.Конкурентоспособность	0,05	3	4	0,15	0,2
9.Цена	0,1	4	4	0,4	0,4
10.Финансовая эффективность	0,05	4	4	0,2	0,2
11.Простота эксплуатации	0,05	4	5	0,2	0,25
12.Уровень материалоемкости	0,05	4	4	0,2	0,25
ИТОГ		52	51	4,45	4,4

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Прогноз потребности представляет собой оценку количества и качества сотрудников, которые понадобятся организации в будущем для реализации намеченных целей. Чтобы оценить потребности в человеческих ресурсах необходимо сделать прогноз спроса на услуги фирмы и товары. Прежде чем, выделить необходимое количество человеческих ресурсов, нужно составить поэтапно план проведения работ и наименование работ, в каждом из которых будет задействовано определенное количество рабочих. Данные представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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 особенностями программного кода FRAM	студент
	6	Освоение программного кода FRAM	руководитель, студент
	7	Проведение экспериментов	студент
	8	Проведение расчетов и анализ полученных данных	студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, студент
	10	Определение целесообразности проведения НИР	руководитель студент

Продолжение таблицы 3.3

Оформление отчёта по НИР	11	Составление пояснительной записки	студент
	12	Подготовка темы к защите	руководитель студент

3.3.2 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:

$$t_{ож i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (3.3)$$

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

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

$t_{\max i}$ – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{C_i}, \quad (3.4)$$

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

$t_{ож i}$ – 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 табл. 3.4.

3.3.3 Техническая готовность темы

Определение технической готовности темы позволяет точно знать, на каком уровне выполнения находится определенный этап или работа. Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \times 100 \cdot \%, \quad (3.5)$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в %;

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

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы Γ_i , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1}^i T_{pi}}{T_p} \times 100\%, \quad (3.6)$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы.

Результаты расчетов удельной работы и технической готовности темы сведены в табл. 3.4.

3.3.2 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 Ганта. Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k, \quad (3.7)$$

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:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} \quad (3.8)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – 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 табл. 3.4.

На основе данных таблицы 3.4 построен календарный план-график, называемый диаграммой Ганта, представленные в таблице А.1 (Приложение А).

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 последний семестр. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.4 – Временные показатели проведения НИР

	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	Исполнители	T_p , раб. дн.	T_k , кал. дн	Y_i , %	Γ_i , %
1	4	8	5,6	руководитель	5,6	8	6,64	6,64
2	12	20	15,2	руководитель студент	7,6	11	9,02	15,66
3	2	5	3,2	руководитель	3,2	5	3,80	19,45
4	2	4	2,8	руководитель студент	1,4	2	1,66	21,12
5	4	7	5,2	студент	5,2	8	6,17	27,28
6	5	8	6,2	руководитель студент	3,1	5	3,68	30,96
7	13	20	15,8	студент	15,8	23	18,74	49,70
8	12	16	13,6	студент	13,6	20	16,13	65,84
9	4	8	5,6	руководитель студент	2,8	4	3,32	69,16
10	3	5	3,8	руководитель студент	1,9	3	2,25	71,41
11	18	22	19,6	студент	19,6	29	23,25	94,66
12	7	12	9	руководитель студент	4,5	7	5,34	100,00

3.4 Бюджет научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Основные работы для ВКР проводились в лаборатории на спектрометрическом оборудовании и персональном компьютере. Потребление электроэнергии спектрометрической установки в месяц: 84 кВт·ч. Работа велась в течении 4 месяцев.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 84 \cdot 4 \cdot 2,93 = 984 \quad (3.9)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,93 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 336 рубля.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Электроэнергия	кВт·ч	336	2,93	984
Азот	л	34	30	1020
Канцелярские товары				1500
Доступ в интернет	месяц	4	350	1400
Итого, руб.:	4904			

3.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научного руководителя и студента. При расчете зарплаты используется система ТПУ. Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Для научного руководителя на должности старшего преподавателя месячный должностной оклад составляет (16751 руб.). Месячный должностной оклад работника с учетом районного коэффициента (1,3 для г.Томск) составляет 21776 руб. Для студента 3000 руб., с учетом районного коэффициента (1,3 для г.Томск) составляет (3900 руб.).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$З_{зпi} = \frac{(D + D \cdot K)}{F}; \quad (3.10)$$

где D - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы);

K – районный коэффициент (для Томска – 30%);

F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Для руководителя:

$$C_{зп1} = \frac{(21776 + 21776 \cdot 0,3)}{22} = 989,8 \text{ руб.}$$

Для студента:

$$C_{зп2} = \frac{(3000 + 3000 \cdot 0,3)}{22} = 177,2 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$C_{осн.зп} = \sum t_i \cdot C_{зпi}, \quad (3.11)$$

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

$C_{зпi}$ - среднедневная заработная плата работника, выполняющего i-ый вид работ, (руб./день).

Таблица 3.7 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб.дн.	Основная заработная плата, руб
Руководитель	21776	989,8	30,1	29792,9
Студент	3900	177,2	75,5	13378,6
Итого, руб.	43172			

3.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страхование)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}; \quad (3.12)$$

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

На 2014 год в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в таблице 3.8.

Таблице 3.8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	21776	3783
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	30	30
Сумма отчислений	6533	1170
Итого, руб.:	7703	

3.4.4 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25 – 35% от суммы заработной платы, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$P_{\text{накл}} = (З_{\text{внеб}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{осн}}) \cdot K_{\text{нр}} \quad (3.13)$$

где $k_{\text{накл}}$ –коэффициент накладных расходов, равный 25%.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = (7703 + 29793 + 13379) \cdot 0,25 = 12719 \text{ руб.}$$

3.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	4904
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43172
Отчисления во внебюджетные фонды	7703
Накладные расходы	12719
Бюджет затрат НТИ	68498

3.5 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 ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин}^{исп_i} = \frac{\Phi_{p_i}}{\Phi_{max}}, \quad (3.14)$$

где $I_{фин}^{исп_i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{p_i} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{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 размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{фин}^{исп_i} = \frac{68498}{68498} = 1.$$

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

$$I_{p_i} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.15)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Оценка характеристик исполнения проекта

	Весовой коэффициент параметра	Оценка
1. Энергоэффективность	0,1	5
2. Точность результатов	0,1	5
3. Оперативность	0,1	4
4. Унифицированность	0,1	5
5. Надежность	0,1	4
6. Помехоустойчивость	0,05	5
7. Безопасность	0,15	5
8. Конкурентоспособность	0,05	3
9. Цена	0,1	4
10. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	4
11. Простота эксплуатации	0,05	4
12. Уровень материалоемкости	0,05	4
ИТОГ	1	52

$$I_{p_i} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,45.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исн1} = \frac{I_{p_{исн1}}}{I_{исн1}}, I_{исн2} = \frac{I_{p_{исн2}}}{I_{исн2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исн1}}{I_{исн2}} \quad (3.16)$$

Таблица 3.11 – Эффективность разработки

Показатели	Оценка
Интегральный финансовый показатель разработки	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45
Интегральный показатель эффективности	0,22

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Гончаров Д.Ф. Изучение зависимости точности результатов измерения обогащения от времени анализа с использованием программного пакета FRAM // Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей: сборник научных трудов X(XLII) Международной научной конференции. – Кемерово, 2015. – 289 с.

2. Гончаров Д.Ф. Изучение влияния набора параметров программного пакета FRAM на точность измерения // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2015. – 265 с.

Приложение А Календарный план-график проведения НИР

**Приложение Б ФЮРА.14.03.02.076.СХ Спектрометрический
тракт Схема принципиальная**