

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

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: Ядерные физика и технологии

Кафедра: Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование возможности использования аттестованных смесей при проведении контрольных измерений ядерных материалов

УДК 621.039.53/54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4В	Вахрушева Юлия Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ НИ ТПУ	Степанов Б.П.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Физико-энергетические установки	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	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.
P2	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.
P3	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.
P4	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.
P5	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.

P6	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.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	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 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

О. Ю. Долматов

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	]Вахрушевой Юлии Сергеевне

Тема работы:

Разработка модели системы безопасности ядерного объекта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.02.2016 № 1618/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– описание технологических процессов на предприятии; – требования к особенностям проведения измерений характеристик ядерных материалов; – оборудования аналитической лаборатории.
--------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– сбор исходных данных для формирования требований к процессу измерения характеристик ядерных материалов; – изучение вопросов разработки и приготовления аттестованной смеси; – выделение особенностей проведения измерений удельной активности плутония-239.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	М. В. Верховская
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева
Иностранный язык	Я. В. Ермакова
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Технологические особенности проведения измерения характеристик ядерных материалов	
Метрологическая аттестация методики выполнения измерений и внутренний оперативный контроль	
Образцы для оценки характеристик погрешности измерений	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	Б. П. Степанов			01.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Вахрушева Юлия Сергеевна		01.02.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 128 стр., 4 рис., 15 табл., 38 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: аттестованная смесь, стандартный образец, плутоний, методика выполнения измерений, метрологические характеристики, гексафторид урана.

Объектами исследования являются гексафторид урана и закись-окись урана. Предмет исследования – аттестованная смесь плутония.

Цель работы – оценка возможности использования аттестованной смеси плутония-239 в качестве образца для аттестации МВИ удельной активности изотопов плутония в гексафториде и закиси-окиси урана.

В процессе исследования проводилась разработка методики приготовления аттестованной смеси, расчет метрологических характеристик и контроль качества выполняемых измерений.

В результате исследования разработана методика приготовления аттестованной смеси плутония-239 и исследована возможность аттестации методики выполнения измерений с помощью аттестованной смеси.

Область применения: аналитический контроль гексафторида.

Эффективность работы заключается в полученном выводе: после сравнительного анализа применения АС и СО использование АС целесообразно, в будущем возможно расширение диапазона методики.

Значимость работы состоит в том, что есть степень внедрения на «ПО ЭХЗ»

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

стандартный образец состава или свойств вещества: средство измерений в виде определённого количества вещества или материала, предназначенное для воспроизведения и хранения размеров величин, характеризующих состав или свойства этого вещества (материала), значения которых установлены в результате метрологической аттестации, используемое для передачи размера единицы при поверке, калибровке, градуировке средств измерений, аттестации методик выполнения измерений и утвержденное в качестве стандартного образца в установленном порядке.

методика (метод) измерений: совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

аттестация методик (методов) измерений: исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям.

точность измерений: показатель качества измерений, отражающий близость результатов измерений к истинным значениям. Чем меньше общая погрешность результатов измерений, тем выше точность.

правильность измерений: показатель качества измерений, отражающий близость к нулю систематической составляющей погрешности.

воспроизводимость измерений: показатель качества измерений, отражающий близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных по одной и той же МВИ, но в разное время, на разных экземплярах средств измерений, разными исполнителями, в разных лабораториях.

аттестованное значение АС: значение аттестуемой характеристики АС, установленное при аттестации АС.

достоверность контроля: показатель качества измерений, отражающий вероятность принятия годным в действительности дефектного образца и/или вероятность принятия дефектным в действительности годного образца.

сходимость измерений: показатель качества измерений, отражающий близость друг к другу результатов измерений, полученных на одном и том же образце (пробе) или однородных образцах в одинаковых условиях (практически в одно и то же время, на одном средстве измерений, одним исполнителем).

аттестованная смесь: это средство измерений в виде смеси веществ, не предназначенное для серийного производства, метрологические характеристики которого установлены методом аттестации по процедуре приготовления. Аттестованную смесь готовят на месте применения в соответствии с методикой, регламентированной в утвержденной документации.

методика приготовления АС: установленная совокупность требований, операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение материала АС с установленными метрологическими характеристиками.

аттестация АС по расчетно-экспериментальной процедуре приготовления (аттестация АС): установление значений метрологических характеристик АС расчетным путем на основе использования известных или специально исследованных в процессе разработки АС характеристик и количественных соотношений исходных веществ, применяемых для приготовления АС путем их смешивания.

метрологические характеристики АС: характеристики, предназначенные для определения результатов измерений, выполняемых с применением АС, а также для оценивания погрешностей этих результатов.

аттестуемая характеристика АС: величина, характеризующая содержание определенного компонента вещества (материала) АС, значение которой подлежит установлению при аттестации АС.

погрешность аттестованного значения АС (погрешность АС): отклонение аттестованного значения АС от истинного значения аттестуемой характеристики экземпляра АС, а также любой его части (доли, навески), используемой для измерений.

погрешность процедуры приготовления АС: составляющая погрешности аттестованного значения АС, обусловленная инструментальными, технологическими и методическими погрешностями процедуры приготовления АС.

Используемые в работе обозначения и сокращения:

СО – стандартный образец;

АС – аттестованная смесь;

МВИ – методика выполнения измерений;

ВОК – внутренний оперативный контроль;

ОСО – отраслевой стандартный образец;

СОП – стандартный образец предприятия;

СИ – средство измерений;

ОРР – образец рабочего раствора;

СГУиК – система государственного учета и контроля;

ГФУ – гексафторид урана;

ОГФУ – обедненный гексафторид урана;

ЗОУ – закись-окись урана;

ОК – образец для контроля;

НСП – неисключенная систематическая составляющая погрешности;

НД – нормативная документация;

МВИ – методика измерений;

ГОСТ – государственный стандарт;

ОСТ – отраслевой стандарт;

ТУ – технические условия;

ГСОЕИ – государственная система обеспечения единства измерений;

ОСОЕИ – отраслевая система обеспечения единства измерений;

РД – руководящий документ.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
 2. ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.
 3. ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
 4. ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
 5. ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.
 6. ГОСТ 3.1404 – 86 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием.
 7. ГОСТ 3.1407 – 86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки.
- ГОСТ 7.0.12 – 2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати.

8. ГОСТ 7.32 – 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

9. ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Введение

Ядерные технологии подразумевают технологии безопасного обращения с ядерными материалами (ЯМ), а именно безопасное производство ЯМ, их хранение, использование и транспортировка, возможность повторного использования регенерированных ЯМ или в случае невозможности дальнейшего использования их захоронение.

К ядерным материалам относятся вещества, с помощью которых может протекать самоподдерживающаяся ядерная реакция, сопровождающаяся выделением большого количества энергии.

В настоящее время связь ядерных технологий с вопросами безопасного обращения с ЯМ является важной составляющей с ядерной энергетики. Термин «безопасность» в отношении ЯМ включает в себя радиационную и ядерную безопасность, а также безопасность относительно распространения ядерного оружия.

Радиационная безопасность представляет собой защищенность от поражающих факторов прямого облучения различными видами ионизирующего излучения (альфа-, бета-, гамма-излучения, нейтронного облучения).

Под ядерной безопасностью понимается недопущение возможности возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления, иными словами недопущение критического состояния системы, содержащей ЯМ. При нарушении ядерной безопасности результатом может быть ядерный или тепловой взрыв, или вспышка излучения и как следствие переоблучение персонала [1].

В отношении распространения ЯМ под безопасностью понимается защищенность ЯМ от возможности хищения с целью создания ядерных взрывных устройств или ядерного оружия.

Ядерные технологии тесно связаны с делящимися ядерными материалами, которые, в свою очередь, могут быть использованы в качестве заряда ядерного взрывного устройства. Поэтому одной из главных задач развития и эксплуатации ядерных технологий является контроль за ЯМ на всех стадиях ЯТЦ с целью недопущения их использования в незаконных целях [1].

Согласно федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» НП-030-12, государственный учет и контроль ЯМ осуществляется на основе результатов измерений характеристик ЯМ, а также проверки достоверности этой информации и ее соответствия фактическому наличию ЯМ в местах их нахождения. Измерения ядерных материалов проводят на основании разработанных методик выполнения измерений с применением выбранного метода. Для осуществления контроля ЯМ, а также поддержания ядерного нераспространения используются разрушающие и неразрушающие методы анализа.

Цель работы – разработка методики измерения удельной активности плутония в урансодержащих материалах на основе использования аттестованной смеси радионуклида плутония-239.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- ознакомление с существующими методами и методиками выполнения измерений (МВИ) характеристик ядерных материалов, изучение требований к используемым МВИ, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области использования атомной энергии;

- изучение НД по разработке и аттестации МВИ, а также изучение требований к стандартным образцам (СО) и аттестованным смесям (АС);
- разработка метода приготовления и аттестации АС;
- оценка возможности использования АС при проведении аттестации МВИ.

1. Технологические особенности проведения измерения характеристик ядерных материалов

Элементы с порядковыми номерами более 92, названные трансурановыми, в природе практически не встречаются и искусственно созданы человеком. Плутоний с порядковым номером 94 – один из первых элементов этого ряда, с 1945 г. получают в промышленных количествах благодаря тому, что его изотоп плутоний-239 применяется как источник атомной энергии и является наряду с ураном-235 важнейшим материалом ядерного оружия. Остальные трансурановые элементы пока получают в небольших лабораторных количествах.

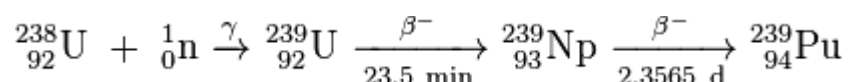
Известны изотопы плутония с массовыми числами от 232 до 246. Все эти изотопы радиоактивны. Большинство из них излучают α -частицы, в частности плутоний-239, но некоторые обладают β - и мягким γ -излучениями или испытывают К-захват с испусканием рентгеновского излучения. Практически важен один изотоп, а именно плутоний-239.

Плутоний-239 является искусственно полученным элементом и его можно получить двумя способами, а именно: в ядерных реакторах, специально предназначенных для этой цели, или попутно при получении тепла в энергетических ядерных реакторах [2].

1.1 Технологии получения урана-235 и плутония-239

Плутоний в промышленном масштабе получают в ядерных реакторах, специально предназначенных для этой цели, или попутно при получении тепла в энергетических ядерных реакторах. В этих реакторах в качестве исходного материала используется природный уран, содержащий три изотопа, из которых два, уран-235 и уран-238, принимают участие в ядерных процессах образования плутония. Ядро урана-235, сконцентрированного в реакторе в количестве,

превышающем его критическую массу, при захвате медленного теплового нейтрона претерпевает реакцию деления, в результате которой образуются два ядра меньшей массы, выделяется энергия и вместо одного поглощенного нейтрона вылетают 2-3 новых вторичных нейтрона. Это вторичные нейтроны, замедляясь в замедлителе, с одной стороны, обеспечивают непрерывный ход цепной реакции деления урана-235, а с другой – поглощаются ядрами урана-238, которые переходят в уран-239 и далее путем β -распадов, в плутоний-239 по реакции



Таким образом, сырьевым материалом для получения плутония является уран-238, а уран-235 – источником нейтронов для реакции превращения урана-238 в плутоний-239.

Плутоний из урана-238 образуется также и в энергетических реакторах на медленных нейтронах с обогащением до 1,5-2 % и более ураном-235 или в энергетических реакторах на быстрых нейтронах с делящимися материалами – плутония-239 или урана-233 в присутствии урана-238 как исходного вещества для получения изотопов плутония [3-4].

Ядерный топливный цикл (ЯТЦ) – это ряд последовательных стадий, которые проходит ядерное топливо в процессе изготовления, использования и переработки.

Основными этапами ЯТЦ являются [1]:

1. Добыча урановой руды и выщелачивание урана из руды.
2. Изготовление топлива:
 - а) получение уранового концентрата в виде U_3O_8 (закись-окись урана);
 - б) конверсия U_3O_8 в UF_6 (гексафторид урана);
 - в) обогащение урана изотопом ${}^{235}\text{U}$;
 - г) изготовление твэлов и ТВС.

3. Производство тепла и электроэнергии (АЭС).
4. Временное хранение облученных ТВС (ОТВС) на АЭС.

Далее возможны два варианта: открытый ЯТЦ или замкнутый ЯТЦ. В случае открытого ЯТЦ:

- 5а. Транспортировка и захоронение ОТВС в геологических формациях.

В случае замкнутого ЯТЦ:

- 5б. Транспортировка и химическая переработка ОТВС.

6. Выделение радиоактивных отходов (РАО), их переработка и захоронение.

7. Многократный возврат (рецикл) регенерированного урана вторичного ядерного топлива на стадию изготовления твэлов и ТВС.

На рисунке 1.1 представлена технологическая схема перемещения топливного материала внутри уран-плутониевых ЯТЦ. Схема является принципиальной и отражает все возможные стадии производств.

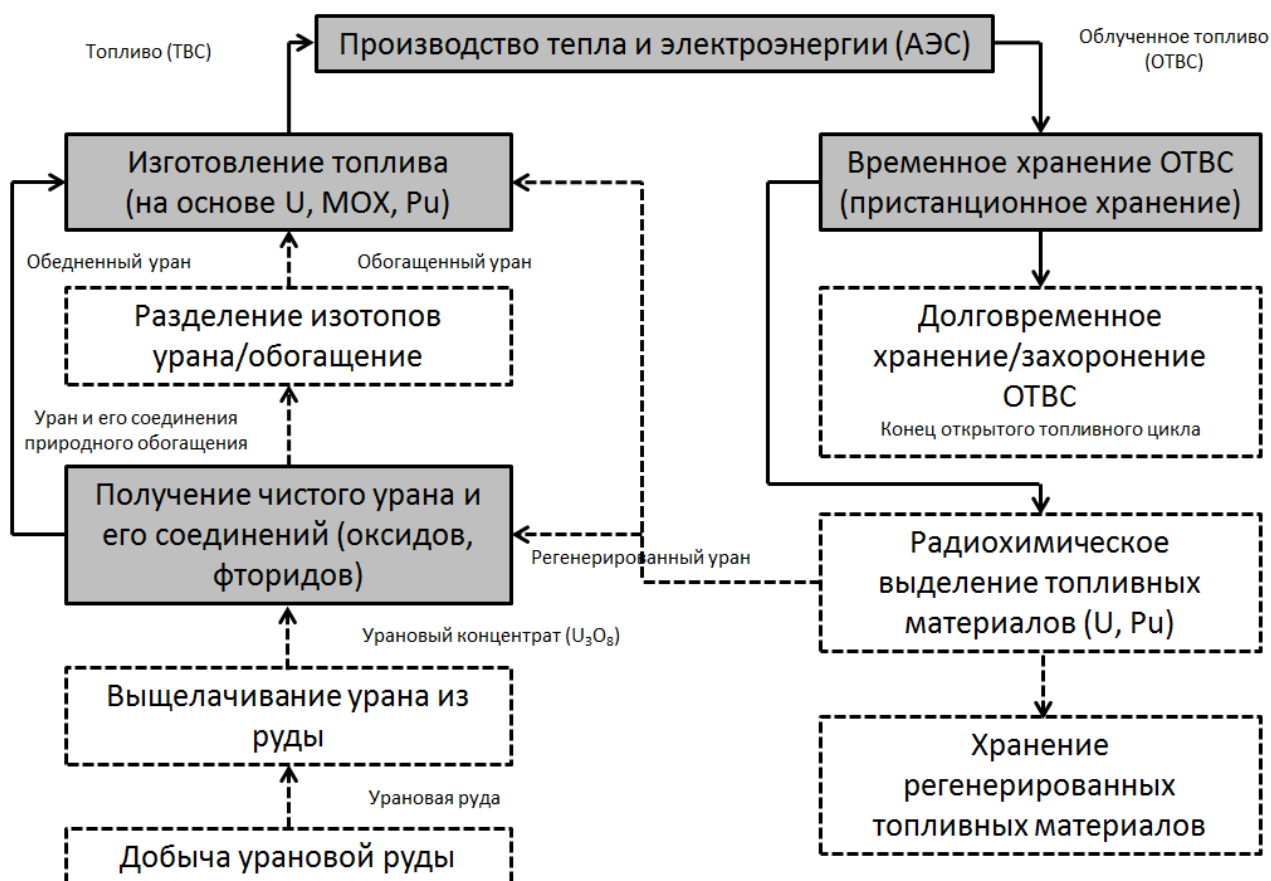


Рисунок 1.1 – Технологическая схема перемещения топливного материала внутри уран-плутониевых ЯТЦ.

Реализация ЯТЦ имеет два принципиальных подхода, а именно: циклы могут быть открытыми и замкнутыми. На схеме четыре элемента, которые выделены серым являются обязательными для всех возможных ЯТЦ уран-плутониевого цикла. Остальные элементы можно назвать необязательными.

Из схемы видно присутствие плутония на двух стадиях: изготовление топлива на основе плутония или MOX-топлива и радиохимическое выделение плутония на стадии переработки ОЯТ. В первом случае, как говорилось выше, применяются специальные ядерные реакторы, которые предназначены для этой цели. Во втором случае плутоний входит в состав облученного ядерного топлива и его выделение из облученного урана происходит на стадии переработки ОЯТ.

Переработка ОЯТ осуществляется для целей:

- выделения плутония и оставшегося урана с последующим хранением или повторным использованием;
- отделения продуктов деления и трансурановых элементов для обработки как радиоактивных отходов [1].

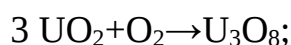
Выделение плутония из ОЯТ примесей происходит на предприятии по химической переработке отработанных ТВЭЛов. Поступив на предприятие, сборки с облученными ТВЭЛами перед химической переработкой проходят ряд механических операций по разделке, извлечению конструкционных элементов и топливной композиции. Далее отработанное топливо идет в цепочку для растворения с последующим извлечением урана и плутония и очистков от продуктов деления. В процессе очистки активность снижается до уровня, сопоставимого с активностью естественного урана. Продукцией завода по химической переработке являются уран в виде таких соединений, как: двуокись урана и уранилнитрат, а также соединения плутония. Также на данном этапе возможно выделение некоторых продуктов деления или трансурановых элементов, которые могут использоваться в различных отраслях хозяйства [5].

Любой технологический этап переработки сырья для получения готовой продукции характеризуется большим количеством ядерных материалов, изменяющих изотопный состав. Например, около 7000 т ОЯТ выгружается со всех атомных станции мира. Более 90 % материалов, которые входят в состав ОЯТ, являются пригодными для дальнейшего использования в промышленности. Также отработанное топливо содержит радиоактивные вещества, образующиеся в результате его облучения нейтронами в реакторе АЭС, которые представляют потенциальную опасность. Поэтому стоит вопрос контроля количества и состава отработавшего топлива. Для выделения плутония из облученного урана (переработки ОЯТ) существует ряд методов, а именно: водные (гидрометаллургические) и безводные

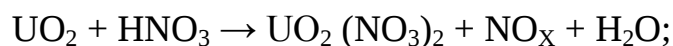
(пиromеталлургические). Водные методы переработки ОЯТ представляют собой: экстракционные технологии, которые основаны на извлечении из раствора урана и плутония органическими соединениями; избирательное осаждение реагентами, основанное на выпадении из растворов плохо растворимых соединений урана и плутония; избирательный ионный обмен. Безводные методы включают пирохимические процессы (газофторидная технология) и пиromеталлургические процессы, которые основаны на различии в переносе урана, плутония и продуктов деления в расплавах металлов и солей [4].

Рассмотрим водный метод на примере экстракционной технологии переработки ОЯТ (PUREX процесс). Основными стадиями данной технологии являются:

- разборка ТВС и резка твэлов;
- процесс волоксации (предварительное окисление ОЯТ), что способствует выходу газовых ПД и трития



- растворение ОЯТ в кипящей азотной кислоте



- подготовка раствора ОЯТ к экстракции

Экстракция – это разделение вещества между двумя несмешивающимися фракциями: легкая органическая фракция (ТБФ + разбавитель) и тяжелая водная фракция (кислотный раствор ОЯТ).

- отделение плутония от урана.

Плутоний, содержащийся в растворе ОЯТ, находится в 3–, 4– и 6– валентном состояниях. Разделение урана от плутония основано на том, что U^{6+} , Pu^{6+} и Pu^{4+} хорошо растворимы как в водной фазе, так и в органической, а Pu^{3+} плохо растворим в органической фазе. При восстановлении плутония до

3–валентного состояния он полностью переходит в водный раствор и выводится из процесса, а уран остается в органической фазе.

При отделении плутония от урана 6–валентный плутоний восстанавливают сначала до 4–валентного состояния, а затем и до 3–валентного.

При промывке органической фазы восстановительным раствором в водную фазу уйдет 3–валентный плутоний, а уран останется в органической фазе. При реэкстракции органической фазы слабым раствором азотной кислоты уран перейдет в водную фазу (реэкстракт).

Этапы одного цикла экстракции–реэкстракции:

1. Растворение ОЯТ в азотной кислоте.
2. Экстракция соединений урана и плутония из раствора с помощью ТБФ. Уран и плутоний переходят в органическую фазу.
3. Реэкстракция восстановительным раствором. 6– и 4–валентный плутоний переходит в 3–валентное состояние и уходит в водную фазу.
4. Реэкстракция урана из органической фазы разбавленной азотной кислотой. Уран уходит в водную фазу [4].

1.2 Методы измерения и анализа характеристик ядерных материалов

Неотъемлемой частью системы учета и контроля являются методики и оборудования, которые позволяют измерить характеристики образца без нарушения его свойств и целостности, что позволяет вернуть материал в технологический процесс и сократить потери на проведение требуемых измерений. В рамках системы учета и контроля ядерных материалов стоит выполнение следующих задач [6]:

- обеспечение контроля за обращением ядерных материалов;
- обеспечение сохранности, своевременного выявления и предотвращения потерь, несанкционированного использования и хищений ядерных материалов;
- предоставление информации о наличии и перемещении ЯМ;
- определение наличного количества ядерных материалов в местах их нахождения.

Для выполнения данных задач используются неразрушающие и разрушающие методы анализа. Данные методы анализа подробно рассмотрены в приложении А.

Неразрушающий анализ (НРА) – определение вида и/или количества ЯМ в образце без изменения характеристик образца или проникновения в него.

В системе учета и контроля неразрушающие методы используются в целях обнаружения потерь, проведения физических инвентаризаций, а также для количественных и качественных измерений с целью определения свойств материала [7].

Разрушающие методы, в свою очередь дают более точную информацию об исследуемом материале, и применяется для материалов в объемной (балк) форме с целью определения отсутствия в партии нарушений технологий, влияющих на проверяемые параметры. Такой контроль экономически затратный. Однако, данный метод непригоден в случае, когда информация нужна немедленно. Когда требуется провести быстрые и недорогие контрольные исследования применяют методы неразрушающего анализа.

В настоящее время создан широкий набор приборов и методов для обнаружения, идентификации, анализа и проверки ЯМ, находящихся в разных физических и химических формах. Оборудование для НРА могут различаться как по размерам, так и по сложности: от портативных приборов, используемых

инспекторами для проверок ЯМ, до больших заводских систем, применяемых операторами в их повседневной работе. Требуется экспериментальное подтверждение подлинности данных, выдаваемых этими системами. Эти данные служат для контроля за ЯМ, осуществляемого государством и МАГАТЭ.

Для определения плутония применяются разрушающие методы анализа (химические, физико-химические и радиохимические процессы), которые включает следующие этапы:

- отбор проб;
- химическая подготовка образца;
- измерения.

Результаты разрушающих методов характеризуются высокой точностью, но имеют высокую трудоемкость и более высокую стоимость чем неразрушающие методы.

Разрушающие анализы проводят в случае проверки результатов неразрушающих измерений, для проведения особо важных контрольных измерений и для аттестации эталонов.

1. Отбор проб.

Методы пробоотбора зависят от физических и химических свойств материала; степени и типа неоднородности материала; способа перемешивания и других методов предварительной подготовки, таких как: размер, форма. В промышленности ядерных материалов используются большие количества различных веществ, достигающих сотни тонн, этим и объясняется необходимость пробоотбора. На анализ отправляется порядка 1–2 кг материала, анализу подвергается гораздо меньшее количество, единицы граммов/миллиграммов. Поэтому возникает необходимость отбора из огромной массы исследуемого объекта небольшого количества, то есть средней пробы.

Понятие пробы подразумевает представительную часть исследуемого объекта [6, 8].

Для разрушающих методов анализа отбирается представительная проба, которая строго соответствует среднему составу всего материала, который подлежит контролю, а так же масса пробы определяется с заданной точностью.

На этапе отбора проб, в случае растворения пробы ее необходимо растворить. Также уран и плутоний следует отделить от продуктов деления.

В ядерной промышленности может использоваться случайный пробоотбор в случае недостаточной однородности материала. Данная проба ограничивает пробоотбор обычным зачерпыванием из каждой партии контейнеров материала для дальнейшего сравнения. Следовательно, увеличивает количество взятых проб для проведения анализа и выявления возможных различий. Выбор способа и техники отбора проб зависит от природы материала, который необходимо контролировать, требований к точности результатов, объема измерений, и его легкости для взятия проб и безопасности работ по пробоотбору. Каждое предприятие ЯТЦ использует разные методы отбора проб и ее подготовки к анализу.

Подводя небольшой итог можно сделать два небольших вывода. На обогатительных и перерабатывающих предприятиях фигурируют растворы, скрап и отходы ЯМ. Растворы достаточно однородны, поэтому с помощью относительно несложных операций пробоотбора можно получают представительные пробы. Скрап и отходы ЯМ неоднородны, что несет за собой большую погрешность пробоотбора. В этом случае проводится предварительная гомогенизация и применяется случайный метод отбора проб для получения представительного результата [4].

2. Растворение образцов ядерных материалов.

Исследуемый материал на практике подвергают полному растворению, поскольку даже незначительные осадки могут привести к значительным потерям целевого элемента. При растворении плутония и его соединений может возникнуть проблема, которая связана с образованием и разрушением чрезвычайно химически стойкого диоксида, обладающего еще и чрезвычайно высокой температурой плавления.

Смешанные диоксиды урана и плутония показывают высокую стойкость к химическому воздействию, но все же скорость их растворения выше, чем у чистых плутониевых препаратов.

3. Методы разделения элементов.

Если методы прямого обнаружения не могут дать правильный результат из-за мешающего влияния отдельных примесей, то прибегают к разделению смесей. В радиохимии распространены следующие методы разделения: методы соосаждения, методы ионного обмена, методы экстракции и электрохимические методы [6].

4. Методы определения плутония

За частую на практике для определения плутония в уран-содержащих примесях применяют радиохимические методы. Основные методы приведены в пункте 1.3.

1.3 Радиохимические методы измерения материалов

Радиохимический анализ – это раздел аналитической химии, включающий совокупность методов выделения радионуклидов из сложных образцов для определения качественного и количественного содержания радиоактивных изотопов. В отличие от радиометрического анализа, целью которого является нахождение содержания радиоактивных элементов с помощью физических приборов, цель радиохимического анализа – определение

содержания радиоактивных элементов с применением химических методов отделения и очистки [6].

Радиохимическая переработка ОЯТ осуществляется с целью извлечения плутония, урана и других важных компонентов очистки от продуктов деления.

Радиохимические методы составляют основу всех разрушающих методов анализа ядерных материалов.

Плутоний и трасплутониевые элементы являются радиоактивными материалами, при работе с ними необходимо применять средства защиты от вредных воздействий. При работе с высокоактивными веществами применяют специальную защиту и операции выполняют дистанционно. Но в большинстве случаев, при выполнении аналитических работ, используются небольшие количества материалов при низком уровне радиоактивности и поэтому, обычно, вполне достаточно применения защитных камер (боксов) с перчатками. Часто эти боксы монтируют в ряд таким образом, чтобы все аналитические операции можно было выполнять без изъятия пробы из них. Другой проблемой при работе с ЯМ является критичность (ядерная опасность). Собранные в одном месте делящиеся материалы, например, в виде остатков проб или отходов могут создать критическую массу, способную привести к возникновению цепной реакции деления. Поэтому в аналитических лабораториях необходимо тщательно контролировать массу используемых делящихся материалов.

В зависимости от цели анализа различают качественный анализ и количественный анализ. Задачей первого является обнаружение и идентификация компонентов анализируемого образца, второго – определение их концентраций или масс [6-8].

1. Качественное определение плутония

Качественное определение плутония в сложных по химическому составу объектах проводится довольно редко. Часто для этой цели используется цвет самих водных растворов ионов плутония.

Цвет раствора с плутонием зависит как от его валентности, так и от природы аниона, причём существенное влияние оказывает способность плутония образовывать комплексы с кислотным анионом.

Плутоний в различных окислительных состояниях образует большое число труднорастворимых соединений как с неорганическими, так и с органическими реагентами. Так, например, трехвалентный плутоний осаждается избытком аммиака или щелочи в виде гидроксида голубого цвета, а четырехвалентный плутоний осаждается в виде гидроксида бурого цвета из нитратных, хлоридных, сульфатных и перхлоратных растворов. Кроме того, плутоний образует целый ряд труднорастворимых соединений – йодаты, фосфаты, оксалаты и многие другие, в том числе и соединения с органическими реагентами. Однако эти реакции, так же как цветные реакции, недостаточно специфичны, так как многие элементы – уран, нептуний, торий и цирконий – ведут себя аналогично плутонию.

2. Химические методы определения плутония

К химическим методам определения относятся гравиметрические (весовые) и титриметрические (объемные). Первые чаще заключаются в осаждении труднорастворимых соединений, последующем их прокаливании с целью достижения определенной весовой формы, взвешивании и пересчете на элемент. Весовые методы обладают высокой точностью – до 0,1 %. Недостатками являются большая продолжительность и невысокая чувствительность. Объемные методы основаны на измерении объема реагента-титранта с точно известной концентрацией, пошедшего на титрование определяемого иона в растворе до точки эквивалентности, и последующего расчета количества определяемого элемента по аналитической реакции.

Химические методы определения плутония применяются относительно редко. В настоящее время методы весового анализа применяют для

определения миллиграммовых или граммовых количеств плутония в случаях, когда требуется высокая точность (0,1–0,2 отн. %). Большинство весовых методов основано на осаждении плутония из растворов в виде соединений четырехвалентного плутония. В этом валентном состоянии плутоний образует большое количество труднорастворимых соединений. Методы осаждения трех- или шестивалентного плутония используются для определения содержания одной валентной формы плутония в присутствии другой. Весовые методы определения плутония заключается в осаждении иона плутония в виде труднорастворимого соединения и переводение его в весовую форму, чаще всего это PuO_2 . Титриметрические (объемные) методы определения используются редко, основаны главным образом на окислительно-восстановительных реакциях вследствие поливалентности плутония [9].

2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для поиска средств финансирования для проведения любого научного эксперимента необходимо провести оценку коммерческой ценности разработки. Каждому ученому необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуются для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, в данном разделе осуществляется проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение целей данного раздела обеспечивается решением таких задач, как:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [26].

2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является оценка возможности использования аттестованной смеси плутония-239, приготовленной на основе образцового раствора, в качестве образца для аттестации методики измерения удельной активности изотопов плутония в гексафториде и закиси-оксида урана.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности, специализированные ВУЗы.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений выполнен в помощью технологии QuaD, в основе которой лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1. 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.
2. Показатели оценки качества разработки:
 - динамический диапазон;
 - вес;
 - ремонтпригодность;
 - энергоэффективность;
 - долговечность и эргономичность;
 - унифицированность;

– уровень материалоемкости разработки и др.

Таблица 4.1 – 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	
Показатели оценки качества разработки					
1.Правильность измерений	0,10	60	100	0,60	0,0600
2. Воспроизводимость	0,10	90	100	0,90	0,0900
3. Надежность	0,05	55	100	0,55	0,0275
4. Сходимость измерений	0,05	50	100	0,50	0,0250
5. Уровень материалоемкости разработки	0	15	100	0,15	0
6. Точность измерений	0,05	30	100	0,30	0,0150
7. Безопасность	0,10	95	100	0,95	0,0950
8. Потребность в вспомогательных ресурсах	0,05	30	100	0,30	0,0150
9. Погрешность измерений	0,05	20	100	0,20	0,0100
10. Простота работы	0,10	70	100	0,70	0,0700
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
11. Конкурентоспособность метода	0	40	100	0,40	0
12. Применение на рынке	0	10	100	0,10	0
13. Перспективность разработки	0	25	100	0,25	0
14. Стоимость разработки	0,10	65	100	0,65	0,0650
15. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	25	100	0,25	0,0125
16. Наличие сертификации разработки	0,10	90	100	0,90	0,0900
Итого	1	775	1600	7,7	5,75

Рассмотрим порядок расчета на примере первого критерия.

Найдем относительное значение нашего критерия: $60/100=0,6$, далее рассчитаем его средневзвешенное значение: $0,1 \cdot 0,6=0,06$. Аналогичным образом проводим вычисления для остальных критериев.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot Б_i, \quad (9)$$

где $П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – средневзвешенное значение i -го показателя.

Произведя расчеты было получено значение $П_{ср} = 45$.

Исходя из полученного значения $П_{ср}$, можно утверждать, что разработанная в данной диссертационной работе методика имеет среднюю перспективность для ее исследования и дальнейшего продвижения на рынок. Следует учесть во внимание узкую направленность применения разработанной методики.

4.1.2 Проведение SWOT-анализа

На этом этапе работы проведен SWOT-анализ. Составленная матрица SWOT приведена в приложении А.

Исходя из таблицы В.1 можно утверждать, что на данный момент преимущества разработанной методики измерений значительно преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

2.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

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



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

4.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2– 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 по теме	10.02.2016	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2016	План работ
6	Изучение особенностей расчета метрологических характеристик АС	13.02.2016	Отчёт
7	Рассмотрение теории приготовления АС, аттестации МВИ	14.02.2016	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- 25.04.2016	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2016	Пояснительная записка
13	Подготовка к защите	27.04.2016- 25.05.2016	Презентация

4.2.3 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.

Линейный график представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Календарный план проекта

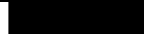
Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2016	3.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2016	5.02.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	5.02.2016	10.02.2016	Инженер, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2016	12.02.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2016	13.02.2016	Руководитель, студент
6	Изучение особенностей расчета метрологических характеристик	1	13.02.2016	14.02.2016	Инженер, студент
7	Рассмотрение теории расчетов	1	14.02.2016	14.02.2016	Студент
8	Проведение экспериментов	33	9.02.2016	11.03.2016	Инженер, студент
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	2	10.03.2016	12.03.2016	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2016	30.03.2016	Инженер, руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2016	25.04.2016	Студент
12	Проверка правильности	1	26.04.2016	27.04.2016	Руководитель, студент

	выполнения ГОСТа пояснительной записки				
13	Подготовка к защите	29	27.04.2016	25.05.2016	Студент

На основе таблицы 4.3 строится календарный план-график.

В таблице 4.4 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 4.4 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _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	2														
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1														
6	Изучение методики расчета реактора	Студент	1														
7	Рассмотрение теории расчетов	Студент	1														
8	Проведение экспериментов	Студент	45														
9	Выполнение расчётов и анализ полученных	Студент	2														

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, 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 4.5.

Таблица 4.5 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Средства измерений, вспомогательные и материалы, реактивы, образцовые растворы	1	40000	40000
Шариковая ручка	2	20	40
Бумажные листы	500	0,4	200
Карандаш грифельный	1	10	10
Ластик	1	15	15
Картриджи	1	500	500
Набор чертежных инструментов	1	30	30
Электроэнергия (кВт/ч)	102,8	2,35	241,67
			Итого: 41036,67

Расчёт затрат на специальное оборудование для научных экспериментальных работ

В расчёт затрат на специальное оборудование для научных экспериментальных работ включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T,$$

где $C_{\text{об}}$ – суммарная стоимость всего необходимого оборудования (руб);
 T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (200000 / 1825) = 109,58 \text{руб/дн.}$$

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

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 109,58 \cdot 45 = 4930 \text{руб.}$$

Расчет основной заработной платы исполнителей

Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

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

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб.дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Инженер
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней:			
– выходные дни;	52	104	199
– праздничные дни	14	14	-
Потери рабочего времени:			
– отпуск;	48	24	48
– невыходы по болезни	–	–	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223	247

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 5070 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (5070 \cdot 11,2) / 223 = 254,6 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 254,6 \cdot 45 = 11457 \text{ руб.}$$

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 доцента составляет 23264 рубля.

Надбавки к заработной плате составляют 15000 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 23264 \cdot 1,3 + 15000 = 45243 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (45243 \cdot 10,4) / 251 = 1874,61 \text{ руб / день.}$$

Заработная плата инженера предприятия состоит из оклада 39700 рублей и стимулирующих надбавок в размере 7000 рублей, также районный коэффициент 1.6.

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = 39700 \cdot 1,6 + 7000 = 70520 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{дн}} = (70520 \cdot 10,4) / 247 = 2969,3 \text{ руб / день.}$$

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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

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

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя, инженера и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент	Инженер
Основная зарплата	45243	11457	70520
Дополнительная зарплата	6786,45	1145,7	10578
Зарплата исполнителя	52029	12602,7	81098
Итого по статье $C_{зп}$	145729		

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:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (52029) = 14099,85 \text{ руб.}$$

В статью накладных расходов 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 другое.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

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

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (52029) = 15608,7 \text{ руб.}$$

4.4 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 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	41037
2. Затраты на специальное оборудование	4930
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	145729
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18509
5. Отчисления во внебюджетные фонды	14099
6. Накладные расходы	15608
Бюджет затрат исследования	239912

4.5 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 [28].

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 4.2.



Рисунок 4.2 – Организационная структура научного проекта

4.6 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в приложение В таблице В.2.

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.

4.7 Определение ресурсной эффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (11)$$

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^b – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения [29].

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.9.

Таблица 4.9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	3	2
3. Помехоустойчивость	0,3	3	4	4

4. Энергосбережение	0,1	4	5	4
5. Надежность	0,2	5	3	4
6. Материалоемкость	0,1	5	5	5
ИТОГО	1	4,1	3,8	3,6

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (12)$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{242000}{250000} = 0,968; I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{245000}{250000} = 0,98; I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{250000}{250000} = 1.$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\Phi}^a}, \quad (13)$$

$$I_{финр}^p = \frac{4,1}{0,968} = 4,24; I_{финр}^{a1} = \frac{3,8}{0,98} = 3,87; I_{финр}^{a2} = \frac{3,6}{1} = 3,6$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\Xi_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_m^p}, \quad (14)$$

Таблица 4.10 – Сравнительная эффективность анализа

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,8	3,6	4,1
2	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	3,87	3,6	4,24
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,018	1	1,034

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта выше других аналогов.

Таким образом, итоговая себестоимость НИР составила 239912 рубля, время, необходимое для выполнения работы, составило 105 календарных дня.

Список публикаций студента

1. Борболин А.А., Вахрушева Ю.С., Гораль С.В., Кузьменко Н.Н. Разработка методики приготовления аттестованных смесей радионуклидов ядерных материалов / А.А. Борболин, Ю.С. Вахрушева, С.В. Гораль, Н.Н. Кузьменко // Сборник тезисов XVII Международной научно-практической конференции / НИ ТПУ, Томск. – Томск, 2016. – С.60.
2. Методология проектирования молодежного научно-инновационного пространства как основа подготовки современного инженера [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Международной молодежной научной школы. Россия, Томск, 02-04 апреля 2014г. / А. В. Годовых, Вахрушева, Ю. С. Application of the vega-2 program during construction of effective security systems / НИ ТПУ, Томск. – Томск, 2014. – С. 255-258. – Режим доступа: свободный.
3. Методология проектирования молодежного научно-инновационного пространства как основа подготовки современного инженера [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Международной молодежной научной школы. Россия, Томск, 27-29 марта 2013г. / А. В. Вахрушева, Ю. С. Степанов Б.П. The conditions for a computerized system creation for nuclear materials accounting and control/ НИТПУ, Томск. – Томск, 2013. – С. 120-122. – Режим доступа: свободный.
4. Халявин И. В., Вахрушева Ю. С., Степанов Б. П. Применение ПК «ВЕГА-2» при построении эффективных систем безопасности» / И. В. Халявин, Ю. С. Вахрушева, Б. П. Степанов // Сборник тезисов IV школы-конференции молодых атомщиков Сибири / НИ ТПУ, Томск. – Томск, 2013. – С. 54
5. Вахрушева Ю. С., Годовых А. В. Формирование условий функционирования компьютеризованной системы учета и контроля ЯМ / Ю. С.

Вахрушева, А. В. Годовых // Сборник тезисов III школы-конференции молодых атомщиков Сибири / НИ ТПУ, Томск. – Томск, 2012. – С. 42.

Список используемых источников

1. Аспэ В.А., Шмелев А.Н. Ядерные технологии: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2001. 128 с.
2. Вольский А.Н., Стерлин Я.М. Metallургия плутония: учеб. Пособие М.: Изд-во «Наука», 1967. 251 с.
3. Тураев Н.С. Химия и технология урана/ Н.С. Тураев, И.И. Жерин. М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2006. 396 с.
4. Основы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов: Учебное пособие / Э.Ф. Крючков, А.В. Бушуев, В.Б. Глебов, Н.И. Гераскин, А.В. Измайлов, В.В. Кондаков. М.: МИФИ, 2007. – 544 с.
5. Ядерная энергия, ядерный топливный цикл и прикладные ядерные технологии/ Под ред. Бойко В. И., Силаева М. Е., ТПУ, - Томск: Издательство ТПУ, 2011. –282 с.
6. Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов/ Под ред. Бойко В. И., Силаева М. Е., ТПУ, - Томск: Издательство ТПУ, 2011. – 356 с.
7. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. Справочник/ Пер с англ.; Под ред. Райлли Д., Энслина Н., Смита Х., Крайнера С. -М: ВНИИА, 2007. – 703 с.
8. Справочник по методам измерений ядерных материалов/ Под ред. Дональда Роджерса. Всероссийский научно исследовательский институт автоматики (ВНИИА), 2007. 712 с.
9. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов: учебное пособие / И.И. Жерин, Г.Н., Амелина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 196 с.

10. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Стандартиформ, 2011. – 20 с.
11. ОСТ 95 10351-2001. Стандарт отрасли. ОСОЕИ. Общие требования к методикам выполнения измерений. – М.: Стандартиформ 2005. – 48 с.
12. ОСТ 95 10430-2003. ОСОЕИ. Порядок проведения аттестации методик выполнения измерений. – М.: Стандартиформ 2003. – 24 с.
13. ОСТ 95 10353-2008. Стандарт отрасли. ОСОЕИ. Алгоритмы оценки метрологических характеристик при аттестации методик выполнения измерений. – М.: Стандартиформ 2008. – 129 с.
14. ОСТ 95 10289-2005. ОСОЕИ. Внутренний контроль качества измерений (с Изменением N 1). – М.: Стандартиформ 2007. – 54 с.
15. Раннев Г. Г., Тарасенко А. П. Методы и средства измерений //М.: Издательский центр “Академия. – 2004.
16. Закон РФ. Об обеспечении единства измерений //Принят. – 1995. – Т. 27. – С. 93.
17. Шишкин И. Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством //М.: Изд-во стандартов. – 1990. – Т. 342.
18. ГОСТ Р 8.609-2004 ГСИ. Стандартные образцы системы государственного учета и контроля ядерных материалов. Основные положения. – М.: Стандартиформ 2005. – 11 с.
19. Гаврилов Б. М., Обысов Н. А. Особенности обеспечения единства измерений в области использования атомной энергии //Мир измерений. – 2013. – С. 4.
20. Основные правила учета и контроля ядерных материалов (ОПУК). НП-030-01. - М.: Госатомнадзор России, 2001.
21. Метрологическое обеспечение производства: Метод. материалы подготовки экспертов по аттестации МВТ (I этап) / В.А. Борисов, В.Б. Горшков, В.П. Игнатов, М.Л. Карпюк. Обнинск, 2009. 118 с.

22. РД 95 10 365 89. Руководящий документ. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок проведения и содержание метрологической аттестации стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов
23. МИ 2334-2002. ГСОЕИ. Смеси аттестованные. Общие требования к разработке. – М. Госстандарт России. – 14 с.
24. РМГ 60-2003. ГСОЕИ. Смеси аттестованные. Общие требования к разработке. – М.: Стандартиформ 2007. – 15 с.
25. Отраслевая инструкция. Плутоний. Методика радиохимического определения в гексафториде и закиси-оксида урана, ОИ 001.470-200
26. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений. //Методы менеджмента качества. – 2003. №1. – с.22-25.
27. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. //Методы менеджмента качества. – 2002. №7. – с. 22-28.
28. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
29. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
30. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. Пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – 83с.
31. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
32. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09.Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7.07.2009 №47).

33. Васин В.К., Кириллова Г.В., Звигинцева Е.А. Защита от электромагнитных и лазерных излучений: Учеб. Пособие. Ч.1. Электромагнитные поля. – М.: РГОТУПС, 2002. – 48с.
34. Дворник А. М. Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. – 2010.
35. Кузнецов В. М. Основные проблемы и современное состояние безопасности предприятий ядерного топливного цикла Российской Федерации. – М : Агентство Ракурс Продакшн, 2002.
36. Долин П. А. и др. Электробезопасность. – М. : Гардарики, 2003.
37. Сидоров А. И. и др. Требования к экспериментальным установкам для изучения влияния различных факторов на первичные критерии электробезопасности //Электробезопасность. – 2016. – №. 4. – С. 15-17.
38. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ.