

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Расчетная оценка дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ

УДК 621.039.5:004.942

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Таракаенко П. В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Беденко С. В.	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения

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 Ядерные физика и технологии
 Кафедра Физико-энергетические установки

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Таракаенко П.В.

Тема работы:

Расчетная оценка дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	1618/с от 26.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2016
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> - Топливо UO₂; - Начальное обогащение урана 3%; - Содержание эрбия 0,7%; - Глубина выгорания – 35 ГВт·сут/(тU); - Выдержка – 10 лет; - Контейнер – ТУК-109.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> - Проведение литературного обзора по тематике НИР; - Определение изотопного состава ОЯТ и ядерных данных, характеризующих радиоактивные превращения всех изотопов в ОЯТ (ORIGEN-ARP); - Создание расчетной 3D-модели (MCU5); - Проведение физико-математического моделирования ядерно-физических процессов, протекающих в системах хранения; - Анализ расчетных данных.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	<ul style="list-style-type: none"> - Презентация – 13 слайдов; - Чертеж ТВС РБМК – 1 лист.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор, проведение расчетов по оценке дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ	Беденко С. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Беденко С. В.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Таракаенко П.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Таракаенко П.В.

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – календарный план-график реализации проекта.
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный план проекта
5. Бюджет проекта
6. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Таракаенко П.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0АМ4Г	ФИО Таракаенко П.В.
-----------------	------------------------

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаробезопасность; – требования при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Таракаенко П.В.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 6 рис., 26 табл., 16 источников, 2 прил.

Ключевые слова: реактор большой мощности канальный; транспортно-упаковочный комплект; тепловыделяющая сборка; мощность экспозиционной дозы; спектральные и дифференциальные характеристики поля нейтронного излучения; финансовый менеджмент; социальная ответственность.

Объектом исследования является отработавшее ядерное топливо реактора РБМК третьего поколения с глубиной выгорания 35 ГВт·сут/(тU).

Цель работы – определение радиационной безопасности при хранении в ТУК-109 отработавшего ядерного топлива третьего поколения, а также получение информации о составе и характеристиках наведенной и накопленной в ТУК радиоактивности за период эксплуатации.

В процессе исследования проведен расчёт изменения изотопного состава материалов реакторной установки в процессе ее работы, создана расчетная 3D-модель, соответствующая реальной геометрии конструкции транспортного контейнера ТУК-109, проведены расчетные исследования пространственного распределения поля нейтронного и γ -излучения, формирующегося в рабочем объеме контейнера в период эксплуатации, проведен расчет спектральных и интегральных характеристик источников фотонного излучения элементов конструкции транспортного контейнера ТУК-109 после снятия с эксплуатации. Произведен расчет стоимости выполнения ВКР, оценена ресурсоэффективность выбранного технического; соблюдены все требования по охране труда при выполнении данной работы.

В результате исследования были получены значения нейтронного потока во всём объеме ТУК при загрузке в него ОЯТ с глубиной выгорания 35 ГВт·сут/(тU), а также получена мощность экспозиционной дозы, формируемая источниками фотонного излучения в различных зонах конструкции контейнера через 2 и 10 лет после снятия его с эксплуатации хранения ОЯТ.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время, при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: ядерные реакторы, хранилища ОЯТ.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

Обозначения и сокращения

- РБМК – реактор большой мощности канальный;
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;
- АМБ – «Атом мирный большой», водографитовый канальный реактор;
- ЭГП – энергетический гетерогенный петлевой реактор;
- БН – энергетический реактор на быстрых нейтронах;
- ТУК – транспортно-упаковочный комплект;
- УКХ – упаковочный комплект хранения;
- ТВС – тепловыделяющая сборка;
- ОТВС – отработанная тепловыделяющая сборка;
- РАО – радиоактивные отходы;
- ОЯТ – отработанное ядерное топливо;
- ХОЯТ – хранилище отработанного ядерного топлива;
- ГХК – Горно-химический комбинат;
- АЭС – атомная электростанция;
- SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы);
- НТИ – научно-техническое исследование;
- ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;
- ВЧ – высокие частоты;
- УВЧ – ультравысокие частоты;
- СВЧ – сверхвысокие частоты.

Оглавление

Введение.....	11
1 Состояние исследования.....	14
1.1 Проблемы хранения ОЯТ в России.....	14
1.2 Хранение ОЯТ на ГХК.....	15
1.2.1 Транспортирование ОЯТ.....	16
1.2.2 Централизованное хранение ОЯТ.....	18
1.3 Контейнерное хранение как альтернативное решение.....	22
1.3.1 Обеспечение безопасности.....	23
1.3.2 Техничко-экономические преимущества.....	25
1.3.3 Российский опыт и перспективы использования.....	26
2 Расчет спектральных и дифференциальных характеристик полей излучения в системе хранения ТУК-109.....	29
2.1 Методика расчета.....	29
2.1.1 Расчет изотопного состава ОЯТ.....	29
2.1.2 Расчет источников излучения в ОЯТ.....	30
2.1.3 Источники нейтронного излучения в ОЯТ.....	30
2.1.4 Источники γ -излучения в ОЯТ.....	31
2.1.5 Спектральный состав излучения ОЯТ.....	31
2.2 Расчетная 3D-модель транспортного контейнера.....	32
2.3 Результаты расчетов спектральных и интегральных характеристик источников и полей излучения.....	34
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	41
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	42
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	43
3.1.2 SWOT-анализ.....	45
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	48
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	48
3.2.2 Контрольные события проекта.....	48

3.2.3 План проекта.....	49
3.3 Бюджет научного исследования	52
3.3.1 Расчёт материальных затрат.....	53
3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ.....	54
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	54
3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	56
3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	57
3.3.6 Накладные расходы.....	58
3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	58
3.4 Организационная структура проекта.....	59
3.5 Матрица ответственности	60
3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
4 Социальная ответственность.....	65
4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	66
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих.....	67
4.2.1 Организационные мероприятия.....	67
4.2.2 Технические мероприятия.....	68
4.2.3 Условия безопасной работы.....	70
4.3 Электробезопасность.....	72
4.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	73
Заключение.....	76
Список публикаций.....	77
Список использованных источников.....	79
Приложение А ФЮРА.14.04.02.214 ТВС реактора РБМК.....	82
Приложение Б Status of research.....	83

Введение

Примерно половина электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях России, приходится на долю реакторов РБМК. Несмотря на масштабные планы развития ядерной энергетики на базе реакторов ВВЭР, реакторы РБМК будут играть важную роль еще в течение десятков лет. Повышение безопасности и эффективности их эксплуатации было и остается насущной необходимостью.

На станциях с реакторами типа РБМК-1000 уран-эрбиевое топливо с обогащением 2,4 % по урану U^{235} используют с 1996 года. Срок службы таких ТВС длился четыре года. В настоящий момент время их работы в активной зоне было увеличено в 1,5 раза, а обогащение урана в тепловыделяющих сборках было доведено до 2,8 %.

При переходе на использование топлива второго поколения был подготовлен комплект документов для обоснования внесения изменений в сертификат на конструкцию контейнера ТУК-109, включающий обоснование безопасности при хранении и транспортировании ОЯТ РБМК-1000 в контейнере ТУК-109 с начальным обогащением по U^{235} по массе до 2,8 % и глубиной выгорания топлива до 30 ГВт·сут/тU.

Перспективным направлением дальнейшего совершенствования загрузки реакторов РБМК является повышение обогащения урана. Для компенсации роста неравномерности энерговыделения повышается также содержание эрбия в топливе. При повышении обогащения до 3 % в РБМК-1000, дополнительный экономический эффект сравним с эффектом перехода со штатного на уран-эрбиевое топливо с принятым сейчас обогащением.

Актуальным возникает вопрос обеспечения безопасного хранения данного перспективного ядерного топлива.

Согласно новой концепции обращения с отработавшим ядерным топливом, ОЯТ РБМК вывозят с площадок АЭС и хранят в сухом хранилище на Горно-химическом комбинате. Однако не стоит полностью отказываться от

контейнерного хранения, так как оно обладает рядом неоспоримых преимуществ.

Возникает необходимость в установлении безопасности долгосрочного хранения ОЯТ с повышенной глубиной выгорания в транспортно-упаковочных комплектах.

Целью диссертационной работы является определение радиационной безопасности при хранении в ТУК-109 отработавшего ядерного топлива третьего поколения, а также получение информации о составе и характеристиках наведенной и накопленной в ТУК радиоактивности за период эксплуатации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- проведение литературного обзора по тематике научно-исследовательской практики;
- определение изотопного состава ОЯТ и ядерных данных, характеризующих радиоактивные превращения всех изотопов в ОЯТ (ORIGEN-ARP);
- создание расчетной 3D-модели (MCU5);
- проведение физико-математического моделирования ядерно-физических процессов, протекающих в системах хранения;
- анализ расчетных данных.

Научная новизна основных результатов диссертационной работы состоит в следующем:

- рассчитаны спектры (α, n)-реакции, спонтанного деления, фотонного излучения, как функция времени ОЯТ РБМК-1000 третьего поколения;
- рассчитаны спектральные и интегральные характеристики полей нейтронного излучения по зонам, формирующегося в рабочем объеме контейнера при загрузке в него данного ОЯТ;

- рассчитаны спектральные и дифференциальные характеристики источников фотонного излучения в элементах конструкции контейнера через 2 и 10 лет после снятия его с эксплуатации.

Результаты выполненных расчетов указывают на радиационную безопасность хранения ОЯТ РБМК-1000 третьего поколения в контейнере ТУК-109. Нет необходимости в модернизации или разработке нового контейнера для данного перспективного ядерного топлива.

Полученная информация о наведенной активности однозначно позволяет решать вопрос о продолжении эксплуатации ТУК в штатном режиме, разработке технического и технологического регламента по выводу ТУК из эксплуатации, включая демонтаж и захоронение отдельных узлов.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- V Школа-конференция молодых атомщиков Сибири, Томск, 22-24 октября 2014 г.;
- X Международный ядерный форум «Безопасность ядерных технологий: транспортирование радиоактивных материалов – «АТОМТРАНС-2015», Санкт-Петербург, 5-9 октября 2015 г.
- VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», Томск, 1-3 июня 2016 г.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 3 научных работах и докладах, из них 1 статья опубликована в ведущем научно-техническом журнале, включенном в перечень ВАК: «Известия вузов. Физика» 2015 г.

Автор выражает благодарность за научные консультации и техническую помощь в проведении расчетных исследований к.ф.-м.н. С.В. Беденко.

1 Состояние исследования

1.1 Проблемы хранения ОЯТ в России

Еще некоторое время назад в России ожидался недостаток мощностей по хранению ОЯТ энергетических реакторов типа ВВЭР-1000 и РБМК-1000.

Существующие хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) на площадках АЭС с реакторами РБМК-1000 практически были заполнены, даже с учетом внедрения технологических решений по увеличению их вместимости. Ввод в эксплуатацию пристроек для контейнерного хранения ОТВС к существующим ХОЯТ на Ленинградской (2010 год), Курской (2010 год) и Смоленской АЭС (2014 год) частично решил проблему хранения ОЯТ и позволил на несколько лет продолжить эксплуатацию реакторов. В 2010 году на ФГУП «Горно-химический комбинат» была введена в эксплуатацию первая очередь строящегося централизованного «сухого» хранилища камерного типа с вместимостью по урану 8600 т; туда осуществлялся вывоз ОЯТ с Ленинградской и Курской АЭС с использованием сертифицированных транспортных упаковочных комплектов ТУК-109. На отработку технологий, в том числе перегрузки ОЯТ из ТУК-109, подготовки его к долговременному хранению и размещению в камере, потребовалось несколько лет, ввиду этого был расширен объем контейнерных отделений хранения на всех АЭС и изготовлено соответствующее количество упаковочных комплектов [1, 2].

ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 после трех-пятилетнего технологического хранения на площадках АЭС транспортируется в контейнерах ТУК-10 и ТУК-13 в централизованное хранилище водного типа на ГХК. Используемая технология хранения ОЯТ в воде требует значительных эксплуатационных затрат, возрастающих со временем, и ограничения срока хранения [3].

Технология обращения с ОЯТ реакторов типа АМБ-100, АМБ-200 и ЭГП-6 достаточно разнообразна, однако не имеет законченного цикла. Условия водного хранения такого ОЯТ не в полной мере отвечают современным требованиям безопасности [4].

По отношению ко всему объему ОЯТ – существующему и ожидаемому в будущем – отработаны технологии хранения и переработки только топлива ВВЭР-440 и БН-600. ОЯТ таких реакторов после приреакторного хранения на энергоблоках АЭС поступает на переработку на ФГУП ПО «Маяк».

Однако общие объемы ОЯТ, включенного в номенклатуру перерабатывающего завода на ПО «Маяк», не превышают 5% от всего накопленного ОЯТ и 14% от ежегодно образующегося на АЭС России. В соответствии с концепцией ГК «Росатом» по обращению с ОЯТ, в ближайшее время не планируется сооружение новых промышленных перерабатывающих мощностей. Только в 2025 году, после отработки инновационных технологий в создающемся на ГХК опытно-демонстрационном центре, должен быть введен в эксплуатацию промышленный завод по переработке ОЯТ.

Альтернативным решением является промышленное захоронение ОЯТ. Однако в России пока нет соответствующих технологий, международный опыт захоронения топлива в промышленных масштабах также отсутствует. Кроме того, экономические затраты на захоронение как минимум в 20 раз превышают расходы на обращение с ОЯТ по существующим технологиям. Непроработанность технологий не позволяет в принципе оценить бремя для будущих поколений при захоронении ОЯТ.

1.2 Хранение ОЯТ на ГХК

Общая цель обеспечения безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) заключается в надежной защите персонала, населения (настоящего и будущего поколений людей) и окружающей среды от радиационного воздействия [5].

На ФГУП «ГХК» это достигается созданием необходимых условий, обеспечивающих безопасность при обращении с ОЯТ на всех этапах технологического процесса: транспортирование, прием, перегрузка, технологическое хранение ОЯТ [6].

1.2.1 Транспортирование ОЯТ

Транспортирование ОЯТ осуществляется по железной дороге литерными вагон-контейнерными поездами в составе локомотива, вагонов сопровождения для размещения вооруженной охраны и обслуживающего персонала, вагонов прикрытия и вагонов с ОЯТ.

ОЯТ на ФГУП «ГХК» доставляется с российских и зарубежных АЭС в транспортных упаковочных комплектах (ТУК). ТУК представляет собой толстостенный металлический (стальной) цилиндрический корпус, герметично закрываемый крышкой. Внутренняя и наружная полость корпуса контейнера, стыкуемая с крышкой, облицованы коррозионностойкой сталью. Пространство между корпусом и оболочкой ТУК заполнено специализированными материалами, выполняющими роль нейтронной защиты.

Для перевозки ОЯТ РУ РБМК-1000 используются:

- ТУК-109 (вместимость 144 ампулы с пучками ТВЭлов ОЯТ);
- ТУК-109Т (максимальная вместимость 155 ампул с пучками ТВЭлов ОЯТ). За счет примененной в ТУК-109Т гибридной схемы разгрузки достигаются более безопасные условия обращения с ОЯТ (сокращается время разгрузки эшелона с ОЯТ за счет уменьшения количество манипуляций с ОЯТ, а также снижаются дозовые нагрузки на персонал).

Для перевозки ОЯТ РУ ВВЭР-1000:

- ТУК-10В-1, ТУК-10В-3 (вместимость 6 ОТВС);
- ТУК-13В, ТУК-13/1В (вместимость 12 ОТВС).

Все транспортеры и ТУК сертифицированы и отвечают национальным требованиям и требованиям МАГАТЭ по безопасности, как при нормальной эксплуатации, так и при аварийных ситуациях: падение с высоты 9 метров на бетонное основание, падение с высоты 1 метр на металлический штырь, нахождение в очаге огня при температуре не менее 800 °С в течение 30 минут.

За более чем 30 летнюю практику осуществления ФГУП «ГХК»

перевозок ОЯТ не произошло ни одной аварии, происшествия и инцидента.

Радиационная безопасность при транспортировании ОЯТ обеспечивается наличием нескольких физических барьеров безопасности:

- непосредственно ОЯТ (таблетки из обогащенного диоксида урана) надежно изолировано от внешней среды оболочкой твэла;
- ОТВС помещаются в герметично закрываемый ТУК. Кроме того, в случае транспортирования ОЯТ РУ РБМК-1000, при загрузке ТУК, создаются три дополнительных барьера безопасности, за счет помещения пучков твэлов в специальные ампулы, а ампулы в герметично закрываемый упаковочный комплект хранения, который в свою очередь помещается в защитно-демпфирующий корпус;
- ТУК помещаются в специальные транспортные вагон-контейнеры, удовлетворяющие требованиям безопасности при транспортировании ОЯТ.

Выполнение указанных технических условий исключает выход радиоактивных веществ за пределы вагон-контейнера, при осуществлении транспортных операций.

Ядерная безопасность обеспечивается за счет использования в конструкции ТУК особых нейтронно-поглощающих материалов и пространственного шага размещения ОТВС внутри ТУК.

Таким образом, любое размещение ТУК в составе спецэшелонов, используемых на ФГУП «ГХК» для перевозки ОЯТ, не приведет к возникновению самоподдерживающейся цепной реакции деления, как при нормальных условиях транспортирования ОЯТ, так и в аварийных ситуациях, что подтверждено соответствующими заключениями по ядерной безопасности, выданными отделом ядерной безопасности ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ».

1.2.2 Централизованное хранение ОЯТ

После осуществления основных транспортно-технологических операций (прием, перегрузка, входной контроль) ОЯТ помещается на длительное технологическое хранение в действующий комплекс долгосрочного централизованного хранения ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000 и РБМК-1000 [7].

Комплекс долгосрочного централизованного хранения ОЯТ состоит из трех хранилищ:

- «мокрое» хранилище ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000;
- «сухое» хранилище камерного типа ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000 (ввод в эксплуатацию - конец 2015 года);
- «сухое» хранилище камерного типа ОЯТ реакторных установок РБМК-1000 (в 2012 году введен в эксплуатацию пусковой комплекс, полное развитие – конец 2015 года).

Учитывая мировой и российский опыт по хранению ОЯТ, как в приреакторных бассейнах выдержки, так и в централизованном хранилище ОЯТ, можно выделить пять основных параметров, которые необходимо обеспечить в процессе хранения [8]:

- обеспечение надежного способа отвода тепла от хранимого топлива.
- обеспечение температурного режима на оболочке твэлов при хранении в среде инертного газа не более 300°С для топлива РБМК-1000 и 350 °С для топлива ВВЭР-1000.
- максимальное снижение риска падения ОТВС при использовании грузоподъемных механизмов.
- обеспечение сейсмической устойчивости и долговечности строительных конструкций хранилища на срок более 50 лет.
- обеспечение надежности физических барьеров безопасности.

«Мокрое» хранилище ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000 введено в эксплуатацию в 1985 году, как первая очередь завода по переработке ОЯТ

реакторных установок ВВЭР-1000. Вместимость хранилища, после проведенной реконструкции, составляет более 8000 т. Конструктивно заложена возможность герметизации каждого отсека хранения для его освидетельствования и ремонта.

На хранение в «мокрое» хранилище ОЯТ поступает с четырех российских (Нововоронежской, Балаковской, Ростовской, Калининской), трех украинских (Южно-Украинской, Хмельницкой, Ровенской) и болгарской (АЭС «Козлодуй») атомных станций.

В «мокрое» хранилище ФГУП «ГХК» принимаются ОТВС после промежуточного хранения в приреакторных хранилищах ОЯТ. Промежуточное «мокрое» хранение отработавшего ядерного топлива на АЭС (выдержка) является обязательным этапом обращения с ОЯТ. Снижение радиоактивности и остаточного тепловыделения во время выдержки способствует обеспечению безопасности на дальнейших стадиях топливного цикла.

На «мокром» хранилище ФГУП «ГХК» проведены работы по его реконструкции. Основной целью реконструкции хранилища было качественное увеличение уровня безопасности: повышена сейсмоустойчивость; произведена замена кранов; увеличена производительность и надежность системы охлаждения.

Одна из приоритетных задач – увеличение ёмкости хранилища ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 для обеспечения ритмичного вывоза отработавшего топлива с АЭС. Для решения этой задачи на ГХК в несколько этапов был проведен комплекс работ, включающий в себя замену чехлов хранения с 12-ти местных на 16-ти местные чехлы хранения. В настоящее время проводится работа по внедрению 20-ти местных чехлов хранения. В рамках реконструкции мокрого хранилища ОЯТ также введены в эксплуатацию дополнительные отсеки для хранения ОЯТ, что позволило существенно увеличить вместимость хранилища для ОЯТ ВВЭР-1000 по сравнению с проектной мощностью.

Суммарное значение вероятности запроектных аварий с тяжёлыми радиационными последствиями на «мокром» и «сухом» хранилищах,

приводящих к превышению уровней, установленных нормами радиационной безопасности для принятия неотложных решений по обязательной эвакуации населения, составляет $0,9 \cdot 10^{-6}$ в год и $2,7 \cdot 10^{-11}$ в год соответственно.

Данные результаты свидетельствуют о соответствии уровня безопасности «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива и «сухого» хранилища отработавшего ядерного топлива на ФГУП «ГХК» нормативному критерию «Общих положений обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла».

В 2012 году введен в эксплуатацию пусковой комплекс «сухого» хранилища ОЯТ РБМК-1000.

Проект «сухого» хранилища прошел международную экспертизу в компании SGN (Франция). Предложения, указанные в экспертном заключении, учтены при сооружении хранилища.

В апреле 2012 года был принят первый эшелон с ОЯТ с Ленинградской АЭС. В настоящее время «сухое» хранилище работает в штатном режиме.

В технологическом процессе используется уникальное оборудование российской разработки, не имеющее аналогов в мире. Все технологические операции, связанные с перемещением ОЯТ, выполняются в автоматизированном режиме, что позволяет значительно снизить радиационную нагрузку на персонал. ОТВС хранятся в ампулах, помещенных в пенал и гнездо хранения, тем самым, с учетом оболочки твэла, обеспечивается четыре барьера безопасности [9]. Отвод тепла от гнезд хранения осуществляется пассивным методом – конвекцией. Технологические параметры «сухого» хранения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры «сухого» хранения

	РБМК-1000	ВВЭР-1000
среда охлаждения	наружный воздух	наружный воздух
среда хранения	N ₂ +He	N ₂ +He
максимальная температура на поверхности гнезда, °С	145	147
максимальная температура оболочек ТВЭЛОВ, °С	248	308

Максимальное сейсмическое воздействие для площадки размещения хранилищ 7 баллов по шкале MSK-64. Строительные конструкции «мокрого» хранилища сохраняют целостность при 8,0 баллах по шкале MSK-64, а строительные конструкции «сухого» хранилища сохраняют целостность при 9,6 баллах по шкале MSK-64.

Можно определить четыре основных постулата по всеобъемлющему повышению безопасности по обращению с ОЯТ [10, 11]:

- обеспечение безопасных условий для вывоза ОЯТ с площадок АЭС и размещение на объектах централизованного хранения;
- использование пассивных систем отвода тепла («сухие» хранилища);
- применение многобарьерных систем изоляции ОТВС в герметичных пеналах и узлах хранения;
- создание систем предупреждения, оповещения и управления запроектными авариями и локализации их последствий.

Для дальнейшего повышения безопасности при обращении с ОЯТ целесообразна переработка ОЯТ и замыкание ядерного топливного цикла.

1.3 Контейнерное хранение как альтернативное решение

Основополагающие международные принципы обращения с ОЯТ и РАО предполагают не налагать чрезмерного бремени на будущие поколения, как в экономическом отношении, так и по безопасности. Для долговременного хранения ОЯТ это означает выполнение следующих условий:

- срок гарантированного долговременного хранения должен быть максимально возможным, по крайней мере, не менее жизни одного поколения;
- к окончанию этого срока должна быть обеспечена возможность или постепенно, без крупных затрат модернизировать хранилище по мере старения соответствующего оборудования и появления новых требований безопасности, или постепенно перейти к захоронению и/или переработке ОЯТ, если это окажется предпочтительней.

При выборе оптимальных вариантов длительного хранения эти требования следует дополнить следующими положениями:

- хранение должно быть контролируемым, так как сегодня нет достоверных данных по изменению состояния ОЯТ при хранении в течение продолжительного срока (более 30 лет);
- в процессе и по окончании срока хранения должна быть обеспечена возможность извлечения ОЯТ для возможности переработки, захоронения или перехода к более эффективным технико-экономическим условиям хранения;
- хранение должно осуществляться в сухой среде, чтобы не допустить образования дополнительных РАО.

С учетом правовой неопределенности и неясности отношения правительств и населения субъектов РФ к размещению на своей территории ОЯТ из других регионов, технологии хранения должны позволять осуществлять размещение ОЯТ, в основном, в местах его образования. С другой стороны, они

должны обеспечивать возможность оперативного перемещения ОЯТ в другие регионы – в централизованные хранилища и затем на переработку.

Технология хранения ОЯТ в хранилищах контейнерного типа с использованием контейнеров двухцелевого назначения (для хранения и транспортирования) позволяет оптимально обеспечить выполнение всех условий долговременного хранения ОЯТ с максимальной гарантией безопасности.

Долговременный срок хранения обеспечивается конструкцией контейнеров. Конструкционная надежность и материалы контейнеров позволяют хранить в них ОЯТ в течение от 50 до 100 и более лет.

Контроль состояния ОЯТ обеспечивается в тестовых контейнерах и на контрольных образцах ОЯТ на стендах, имитирующих условия хранения в контейнере. Обеспечивается контроль среды хранения, влияющей на состояние ОЯТ, и состояния контейнеров, с возможностью замены при необходимости. Контейнеры с ОЯТ можно оперативно доставить к местам исследования.

Возможность извлечения ОЯТ обеспечивается конструкцией контейнера. Его можно транспортировать в место извлечения ОЯТ – как в целях контроля состояния топлива, так и для захоронения или переработки.

При таком хранении обеспечиваются и контролируются все параметры сухой среды хранения с возможностью ее замены.

При необходимости возможна постепенная модернизация отдельных элементов и контейнеров в целом.

Постепенность перехода к захоронению или переработке обеспечивается модульным типом хранения.

1.3.1 Обеспечение безопасности

Ядерная безопасность при контейнерном хранении достигается за счет применения дистанцирующих и поглощающих элементов внутри контейнера, а также размещением ОТВС в пеналах, что обеспечивает их изоляцию друг от

друга вне зависимости от времени и практически любых проектных и запроектных внешних воздействиях. Контакт между ОЯТ различных контейнеров в случае аварий природного или техногенного характера принципиально невозможен.

Радиационная безопасность в отношении излучения от ОЯТ обеспечивается защитой контейнера, а многобарьерная система герметизации гарантирует практически нулевой выход активности. Возможен контроль состояния уровня радиоактивности в контейнерном хранилище и выявление отдельного контейнера с нарушением системы его герметизации.

Теплоотвод от ОЯТ осуществляется без использования принудительных систем за счет естественной вентиляции.

Практически не требуется вспомогательных систем для поддержания безопасных условий хранения и контроля безопасности.

Важнейшей чертой технологии являются гарантии безопасности. Они обеспечиваются следующими особенностями [12]:

- вся система невосприимчива к природным катаклизмам, включая наводнения, землетрясения и т.д.;
- транспортные аварийные условия, на которые рассчитаны контейнеры, превышают аварийные воздействия при хранении;
- транспортные требования к конструкции контейнеров едины во всем мире и четко классифицированы, их выполнение подтверждается общепринятыми методами расчетов и тестированием, включая натурные аварийные испытания, что практически невозможно для хранилищ других типов;
- обоснование безопасности практически не зависит от конкретных условий эксплуатации, что позволяет применять при разработке контейнеров весь накопленный отечественный и зарубежный опыт и максимально использовать формализованные процедуры независимой сертификации;

- есть возможность контроля и замены дефектных элементов конструкций, в том числе отдельных дефектных контейнеров или постепенно всей серии в случае ошибок в конструктивных решениях или необходимости модернизации с изменением требований - безопасности;
- заводские условия изготовления контейнеров, выполняющих основную роль в обеспечении безопасности хранилища, позволяют гарантировать качество как контейнеров, так и всей системы безопасности.

1.3.2 Техничко-экономические преимущества

Контейнеры с ОЯТ можно размещать на площадках ядерных объектов, в региональных, межрегиональных, централизованных хранилищах без жестких требований к площадкам и с возможностью перемещения контейнеров с ОЯТ с минимальными дополнительными расходами.

Ввод в эксплуатацию хранилищ или модулей обеспечивается с максимальной дискретностью без значительных капитальных затрат.

Имеются возможности модернизации, изменения различных технических решений и установки дополнительных систем контроля при эксплуатации.

В хранилищах обеспечивается учет ядерных материалов и контроль физической защиты – визуально, инструментально, документально.

Максимально упрощены проблемы вывода хранилищ из эксплуатации с возможностью практически полной утилизации использованных материалов и доведения площадок хранения до состояния «зеленой лужайки».

Важнейшими экономическими преимуществами контейнерной технологии являются [12]:

- возможности создания конкурентной среды различных предприятий – разработчиков и производителей контейнеров;

- простота реализации проекта хранилища как объекта капитального строительства, что приводит к высокой скорости сооружения и минимизации рисков превышения сметных лимитов;
- оптимальная технологическая унификация: используется одна основная единица оборудования – контейнер;
- в случае использования двухцелевых контейнеров одновременно решаются две задачи – хранение и транспортирование.

В целом, по общим отечественным и зарубежным оценкам, при объемах хранения ОЯТ до 10000 тонн по урану экономическое преимущество контейнерного хранения неоспоримо.

1.3.3 Российский опыт и перспективы использования

В настоящее время уже накоплен значительный опыт реализации проектов сооружения контейнерных хранилищ ОЯТ российских реакторов.

За рубежом введены в эксплуатацию контейнерные ХОЯТ на чешских АЭС «Дукованы» с реактором ВВЭР-440 (1992-1995 годы) и «Темелин» с ВВЭР-1000 (2006-2011 годы), болгарской АЭС «Козлодуй» с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 (2005-2011 годы), Игналинской АЭС в Литве с РБМК-1500 (2005-2011 годы). Одним из примеров успешного внедрения технологии контейнерного обращения с ОЯТ является проект сооружения атомной станции «Белене» в Болгарии, подрядчиком которого является ЗАО «Атомстройэкспорт». Проект АЭС «Белене» предусматривает создание контейнерного хранилища для обеспечения хранения ОЯТ в течение 50 лет.

В России завершено строительство пристройки для контейнерного хранения ОТВС к ХОЯТ на Ленинградской АЭС; в первой половине 2010 года были проведены ее комплексные испытания. Пристройка состоит из отделений разделки ОТВС на два пучка твэлов и загрузки их в упаковочный комплект УКХ-109, подготовки УКХ-109 к долговременному сухому хранению ОЯТ и

хранения УКХ-109. В дальнейшем пристройки были сооружены и на других АЭС с реакторами РБМК-1000.

Кроме того, в России накоплен положительный опыт эффективной реализации контейнерных технологий для ОЯТ транспортных ядерных энергетических установок. Их внедрение позволило:

- ускорить разработку и внедрение единых норм и правил по безопасности хранения ОЯТ в контейнерах двухцелевого назначения, что, кроме исключения неоправданных требований по безопасности к вспомогательным системам хранилищ и, соответственно, лишних расходов, способствовало привлечению широкого круга отечественных и зарубежных разработчиков и изготовителей, а следовательно, образованию необходимой конкурентной среды;
- ускорить разработку и внедрение межведомственной системы экспертиз (создание Главгосэкспертизы) и единой системы сертификации в области контейнеров для хранения и транспортирования ОЯТ;
- обеспечить условия для максимальной координации создания контейнеров, обмена информацией в области их конструирования и обоснования безопасности, использования имеющихся разработок и расчетных методик, а также испытаний контейнеров на действующих стендах;
- определить точные и открытые исходные данные по проблеме ОЯТ, включая его характеристики; установить условия и процедуры тендеров на разработку, изготовление и внедрение технологий контейнерного хранения ОЯТ.

С учетом вышеизложенного в России сложились все условия для обеспечения максимального ускорения практического внедрения технологий контейнерного обращения с ОЯТ с сохранением возможности модернизации в техническом, организационном и финансовом планах.

Несмотря на выбор руководства отрасли в пользу централизованного хранения ОЯТ, не стоит забывать о контейнерном хранении. К контейнерному хранению можно обратиться в любой момент, например, в случаях:

- заполнения существующих «сухих» и «мокрых» хранилищ;
- появления дополнительных объёмов ОЯТ, в том числе из-за рубежа;
- при возникновении чрезвычайных ситуаций на централизованном хранилище.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований [21, 22].

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 потребуется для выхода на рынок и т.д. [23].

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе проведен расчет спектральных и дифференциальных характеристик поля излучения, формирующегося в ТУК-109 при загрузке в него ОЯТ с глубиной выгорания 35 ГВт/тU. Расчеты проводились с помощью программных комплексов ORIGEN-ARP и MCU.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования являются известные значения поля нейтронного излучения во всём объёме ТУК при хранении ОЯТ, а также значения мощности экспозиционной дозы, формируемой источниками фотонного излучения в различных зонах конструкции контейнера через 2 и 10 лет после снятия его с эксплуатации хранения ОЯТ.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные научные отрасли.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результаты сегментирования представлены на рисунке 3.

		Расчетная оценка дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ	
		Атомная промышленность	Научная отрасль
Потребность	Сильная		
	Слабая		

Рисунок 3 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию проведенных расчетов

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценивать сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть методы расчета нуклидного состава с помощью специальных расчетных программ:

- определение нуклидного состава с помощью WIMS;
- определение нуклидного состава с помощью PULSAR.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 12. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Скорость расчета	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
2. Требования к ПЭВМ	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,2
3. Надежность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
4. Использование актуальных баз данных	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Погрешность расчетов	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
6. Обратная связь с разработчиком ПО	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
7. Обновление ПО	0,01	2	4	4	0,02	0,04	0,04
8. Простота использования	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
2. Стоимость разработки	0,1	5	1	1	0,5	0,1	0,1
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Финансирование разработанного метода	0,05	5	2	2	0,25	0,1	0,1
Итого	1				4,47	3,27	3,36

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что использованный в данной магистерской диссертации метод расчета нуклидного состава ОЯТ является наиболее оптимальным для использования в практических целях. Конкурентные методы определения состава с помощью пакетов программ является экономическим невыгодным и не может учитывать всех факторов таких как погрешность расчета и актуальность баз данных с величинами микросечений.

3.1.2 SWOT-анализ

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

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

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

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

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

В таблице 13 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	+	+	–	+	+
B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

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

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 14.

Таблица 14 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Научная новизна.</p> <p>C2. Современная технология.</p> <p>C3. Возможность контроля процесса расчета.</p> <p>C4. Наличие актуальных данных по нуклидному составу ОЯТ</p> <p>C5. Получение спекльных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в объеме ТУК.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Наличие человеческого фактора.</p> <p>Сл2. Возможность появления погрешности расчета.</p> <p>Сл3. Продолжительное время расчетов.</p> <p>Сл4. Высокий уровень знаний для выполнения расчетов.</p> <p>Сл5. Нехватка экспериментальных данных по сечениям некоторых нуклидов в определенных интервалах энергий нейтронов</p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 14 – SWOT-анализ

<p>Возможности: В1. Использование расчетов для атомной промышленности и научной отрасли. В2. Возможность расчета различного топлива. В3. Актуальность темы для публикации в научных журналах. В4. Повышение безопасности хранения ОЯТ РБМК с повышенным выгоранием. В5. Дополнительный спрос на результаты расчетов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Научная новизна, и, как следствие, публикации в цитируемых научных журналах. 2. Получение спектральных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в любой момент времени.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Возникновение ошибок из-за длительных расчетов; Данный фактор при внимательной работе можно устранить. 2. Требование наличия обширных знаний по расчётам в специализированных программах.</p>
<p>Угрозы: У1. Недостаточная точность расчетов. У2. Низкий спрос на результаты при отсутствии публикаций. У3. Отсутствие источников для проверки полученных результатов. У4. Падение интереса к совершенству топливных загрузок в реакторах РБМК. У5. Появление совершенных технологий в атомной отрасли.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Несмотря на то, что реакторостроение развивается в сторону ВВЭР, реакторы РБМК еще долго будут оказывать влияние на атомную отрасль, повышение безопасности эксплуатации на всех этапах было и остается насущной необходимостью. 2. Несмотря на возможные неточности расчётов, они являются необходимыми для принятия решения о внедрении нового топлива на РБМК.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Наиболее уязвимые места – высокие требования к знаниям инженера для расчётов, уменьшение погрешности расчётов зависит от баз данных, заполнение которых не зависит от инженера.</p>

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

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР), представленная на рисунке 4, представляет детализацию укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

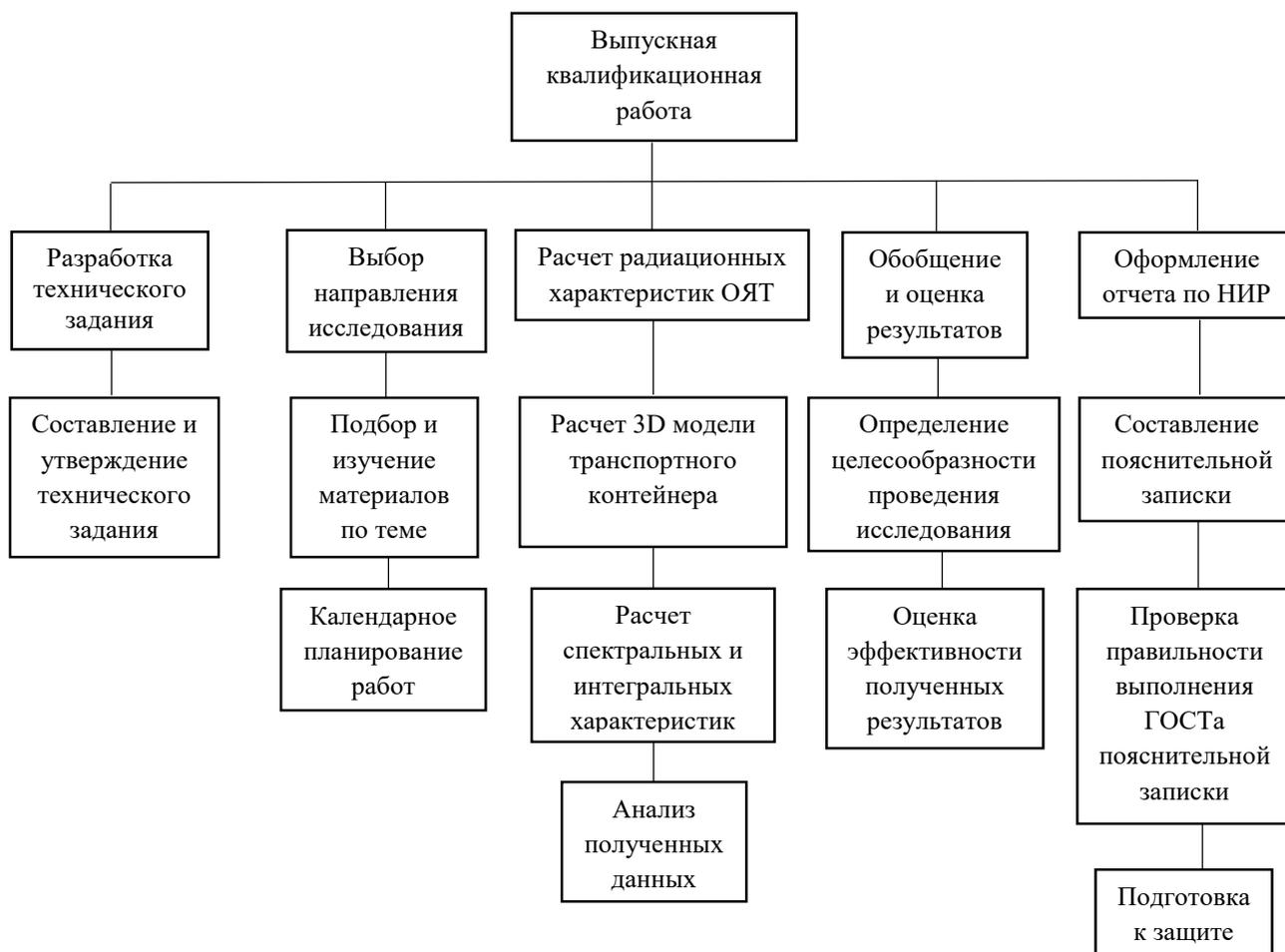


Рисунок 4 – Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 15.

Таблица 15 – 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	Расчет радиационных характеристик ОЯТ в ORIGEN-ARP	13.02.2016	Отчёт
7	Расчет 3D модели ТУК в MCU	14.02.2016	Отчёт
8	Расчет спектральных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в ТУК	15.02.2016-30.03.2016	Отчёт
9	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	
13	Подготовка к защите	27.04.2016-25.05.2016	

3.2.3 План проекта

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

Линейный график представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2016	3.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2016	5.02.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	5.02.2016	10.02.2016	Руководитель, студент
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	Расчет радиационных характеристик ОЯТ в ORIGEN-ARP	1	13.02.2016	14.02.2016	Студент
7	Расчет 3D модели ТУК в MCU	1	14.02.2016	14.02.2016	Студент
8	Расчет спектральных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в ТУК	45	15.02.2016	30.03.2016	Студент
9	Анализ полученных данных	2	28.03.2016	30.03.2016	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2016	30.03.2016	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2016	25.04.2016	Студент

Продолжение таблицы 16 – Календарный план проекта

12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2016	27.04.2016	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	29	27.04.2016	25.05.2016	Студент

В таблице 17 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 17 – 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	1	2													
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	1	2													
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	5	1	2	3												
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	2	1	2													
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1	1	2													
6	Расчет радиационных характеристик ОЯТ в ORIGEN-ARP	Студент	1	1	2													
7	Расчет 3D модели ТУК в MCU	Студент	1	1	2													
8	Расчет спектральных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в ТУК	Студент	45	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Продолжение таблицы 17 – Календарный план проекта

№ 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	
9	Анализ полученных данных	Студент	2															
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	1															
11	Составление пояснительной записки	Студент	72															
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент	1															
13	Подготовка к защите	Студент	29															

▨ – Руководитель ■ – Студент

3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [24]. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (2)$$

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 приобретение канцелярских товаров, оплаты доступа в интернет, электроэнергия. Расчёт электроэнергии проведен по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2,05 \cdot 0,5 \cdot 960 = 984, \quad (3)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 984 рубля.

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	Ballet	500	0,30	150
Печать на листе А4	–	250	3	750
Ручка	ВІС	1	10	10
Доступ в интернет	–	3 месяца	450	1350
Всего за материалы				2260
Транспортно-заготовительные расходы				0
Электроненергия				984
Итого по статье C_M				3244

3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ

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

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится ноутбук, стоимость которого составляет 40000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (4)$$

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

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (40000 / 1825) = 21,91 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 117 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 21,91 \cdot 117 = 2563,5 \text{ руб.}$$

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (5)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (6)$$

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

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (7)$$

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.

В таблице 19 представлен баланс рабочего времени.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

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

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:

$$Z_{\text{осн студ}} = 254,6 \cdot 117 = 29788,2 \text{ руб.}$$

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 доцент, кандидат физико-математических наук. Оклад составляет 23264 рубля.

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

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 23264 \cdot 1,3 + 10000 = 40243,2 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (40243,2 \cdot 10,4) / 251 = 1667,44 \text{ руб / день.}$$

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (8)$$

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 и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	40243,2	29788,2 руб.
Дополнительная зарплата	6036,48	2978,8
Зарплата исполнителя	46279,68	32767
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	79046,68	

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (9)$$

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:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (40243,2 + 6036,48) = 12541,79 \text{ руб.}$$

3.3.6 Накладные расходы

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

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:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (40243,2 + 6036,48) = 13883,9 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, которая является нижним пределом затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	3244
2. Затраты на специальное оборудование	2563,5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	70125,4
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9015,28
5. Отчисления во внебюджетные фонды	12541,79
6. Накладные расходы	13883,9
Бюджет затрат исследования	111373,87

3.4 Организационная структура проекта

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

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель). Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 5.

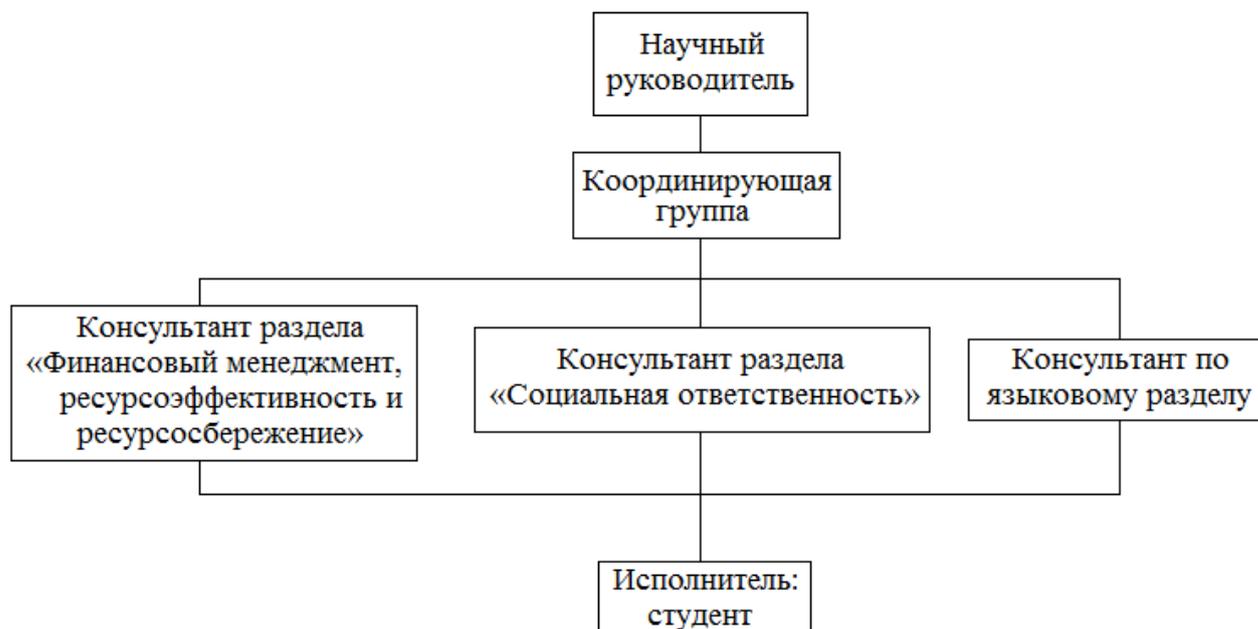


Рисунок 5 – Организационная структура научного проекта

3.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Расчет радиационных характеристик ОЯТ в ORIGEN-ARP					И
Расчет 3D модели ТУК в MCU					И
Расчет спектральных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в ТУК	О				И
Анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И

Продолжение таблицы 22 – Матрица ответственности

Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.6). 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:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – 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

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{111373,87}{111373,87} = 1;$$

Для аналогов (с использованием ПО, которое стоит 10000 руб и 15000 руб) соответственно:

$$I_{финал}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{121373,87}{111373,87} = 1,09; \quad I_{финал}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{126373,87}{111373,87} = 1,13;$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (12)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,4	5	3	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	2	2
3. Помехоустойчивость	0,1	5	4	4
4. Надёжность	0,25	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	5	3,1	2,9

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,45;$$

$$\text{Аналог 2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,2.$$

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; \quad I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}}; \quad (13,14)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{1} = 5; \quad I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{3,45}{1,09} = 3,16; \quad I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фина2}}^{a2}} = \frac{3,2}{1,13} = 2,83.$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}} \quad (15)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,09	1,13	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,45	3,2	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,16	2,83	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,58	1,76	1

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

Список публикаций

Тезисы докладов научных конференций

1. Спектральные и дифференциальные характеристики источников излучения элементов, образующихся в элементах конструкции систем хранения облученной топливной керамики нового поколения / С.В. Беденко [и др.] // V Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, 22-24 октября 2014 г. // Актуальные вопросы ядерного нераспространения, безопасность и экология ядерной отрасли / Томский политехнический университет. – г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2014. – С. 45.

2. Использование СВС технологии для улучшения характеристик современных контейнеров для транспортировки и хранения РАО [Электронный ресурс] / А. Ю. Бородай [и др.] // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи : материалы III российской молодежной научной школы-конференции, г.Томск, 21-23 октября 2015 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) ; ред. кол. Е. П. Богданов, Т. В. Усачева. – Томск: СКАН, 2015. – [С. 173-176]. – Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C50/051.pdf>

3. Анализ возможности использования материалов СВС для улучшения характеристик контейнеров для транспортировки и хранения РАО [Электронный ресурс] / А. Ю. Бородай [и др.] // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность : материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2-4 декабря 2015 г., Томск 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) [и др.] ; ред. кол. В. В. Литвак [и др.]. – Т. 1. – [С. 413-415]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C15/V1/162.pdf>

4. Расчетная оценка дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ / П.В. Таракаенко // VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», сборник тезисов докладов Томск, 1-3 июня 2016 г. // Актуальные вопросы ядерного нераспространения / Томский политехнический университет. – г. Томск.

Статьи научных журналов перечня ВАК

Спектральные и дифференциальные характеристики источников полей излучения, образующихся в элементах конструкции систем хранения облученной топливной керамики нового поколения [Электронный ресурс] = SPECTRAL AND DIFFERENTIAL CHARACTERISTICS OF THE SOURCE OF RADIATION FIELDS, PRODUCED IN THE ELEMENT OF DESIGN STORAGE IRRADIATED FUEL NEW GENERATION OF CERAMICS / С. В. Беденко [и др.] // Известия вузов. Физика : научный журнал / Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ). – 2015. – Т. 58, № 12/3. – [С. 9-15]. – Заглавие с экрана. – Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.