

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
Изучение возможности использования модифицированного транспортного упаковочного контейнера для хранения и транспортировки радиоактивных отходов УДК 621.039.75

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5В	Овечкин Евгений Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ФЭУ	Селиваникова О.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	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
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

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 (специальность): 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра: Физико-энергетических установок

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Овечкин Евгений Викторович

Тема работы:

Изучение возможности использования модифицированного транспортного упаковочного контейнера для хранения и транспортировки радиоактивных отходов
Утверждена приказом директора

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – литературные источники; – руководство по эксплуатации программы MERCURAD
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – проанализировать существующую классификацию РАО в России и за рубежом; – изучить опыт обращения с РАО в различных странах мира; – проанализировать параметры радионуклидного загрязнения реакторного графита; – произвести расчет мощности эффективной дозы при различной толщине стенки контейнера для средне- и низкоактивных РАО

Перечень графического материала	– презентация; – чертёж.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Кабрышева О.П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Storage and Disposal of Radioactive Wastes / Хранение и захоронение радиоактивных отходов	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ФЭУ	Селиваникова О.В.			30.01.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Овечкин Евгений Викторович		30.01.2017

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Овечкин Евгений Викторович

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Овечкин Евгений Викторович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0AM5B	ФИО Овечкин Евгений Викторович
-----------------	-----------------------------------

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»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

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
0AM5B	Овечкин Евгений Викторович		

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

Уровень образования Магистр

Кафедра Физико-энергетические установки

Период выполнения (весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела / вид работы	Максимальный балл раздела (модуля)
1.02.2017-3.02.2017	Разработка технического задания	
3.02.2017-5.02.2017	Составление и утверждение технического задания	
5.02.2017-10.02.2017	Выбор направления исследований	
10.02.2017-13.02.2017	Подбор и изучение материалов по теме	
13.02.2017-23.02.2017	Анализ международной и национальной классификации РАО	
23.02.2017-28.02.2017	Изучение возможных путей появления РАО	
28.02.2017-6.03.2017	Изучение программы MERCURAD	
6.03.2017-14.04.2017	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	
14.04.2017-30.04.2017	Обобщение и оценка результатов	
30.04.2017-01.06.2017	Составление пояснительной записки	
01.06.2017-12.06.2017	Подготовка к защите	

Составил:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ФЭУ	Селиваникова О.В.			30.01.2017

Согласовано:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		30.01.2017

Реферат

Магистерская диссертация содержит 129 страниц, 11 рисунков, 25 источников, 38 таблиц, 3 приложения, 1 спецификация, 1 сборочный чертеж.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, обращение с радиоактивными отходами, контейнер для радиоактивных отходов.

Объектом исследования является обращение с радиоактивными отходами.

Цель работы: изучить возможность использования модифицированного транспортного упаковочного контейнера для хранения и транспортировки среднеактивных РАО.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующую классификацию РАО в России и за рубежом;
- изучить опыт обращения с РАО в различных странах мира;
- проанализировать параметры радионуклидного загрязнения реакторного графита;
- произвести расчет мощности эффективной дозы при различной толщине стенки контейнера для средне- и низкоактивных РАО.

Полученные результаты: с помощью программы MERCURAD были рассчитаны мощности доз для контейнеров различной формы из чистой стали и стали с удельной активностью по Co^{60} и Cs^{137} 5 Бк/г. Результаты расчётов показывают, что удельная активность по Co^{60} и Cs^{137} в 5 Бк/г не существенно влияет на толщину стенки контейнера.

Рекомендации по внедрению: возможность использовать результатов работы для АЭС с УТР.

Обозначения и сокращения

АЭС – атомная электростанция

ЕС – Европейский союз

МАГАТЭ – Международной агентство по атомной энергетике

НЗК – защитный невозвратный контейнер

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо

РАО – радиоактивные отходы

РБМК – реактор большой мощности канальный

РВ – радиоактивные вещества

ТУК – транспортный упаковочный контейнер

УГР – уран-графитовый реактор

ЯТЦ – ядерный топливный цикл

Содержание

Введение	12
1 Основная часть	14
1.1 Классификация РАО в России и за рубежом	14
1.1.1 Международная классификация РАО МАГАТЭ	14
1.1.2 Классификация РАО в России	17
1.2 Обращение с РАО в различных странах мира	18
1.2.1 Обращение с РАО в России	18
1.2.2 Обращение с РАО в США	24
1.2.3 Обращение с РАО в Европе	26
1.3 Территориальные загрязнения России	32
1.4 Источники радиационного загрязнения	33
1.4.1 Загрязнения от атомных взрывов	34
1.4.2 Загрязнение от атомной промышленности	37
1.4.3 Загрязнения от ядерных и радиационных аварий	37
1.4.4 Аварии на атомном флоте	43
1.4.5 Наука и медицина как источник радиационного загрязнения	44
1.4.6 Террористическая угроза	45
1.5 Прирост объёмов РАО	46
1.5.1 Действующие реакторы	47
1.5.2 Остановленные реакторы	50
1.5.3 Снятие с эксплуатации энергоблоков АЭС	51
2 Аналитический обзор	53
2.1 Методика расчета	53
3 Практическая часть (Результаты проведенного исследования)	56
3.1 Расчёт контейнеров для средне- и низкоактивных РАО	56
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	65
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	65
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	66

4.1.2 SWOT-анализ.....	68
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	71
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта	71
4.2.2 Контрольные события проекта	71
4.2.3 План проекта.....	72
4.3 Бюджет научного исследования.....	75
4.3.1 Расчёт материальных затрат	75
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	76
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды	78
4.3.4 Накладные расходы.....	79
4.3.5 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта	79
4.4 Организационная структура проекта	80
4.5 Матрица ответственности.....	81
4.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	82
5 Социальная ответственность	86
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	86
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих	88
5.2.1 Организационные мероприятия	88
5.2.2 Технические мероприятия	88
5.3 Электробезопасность	93
5.4 Пожарная и взрывная безопасность	95
Заключение	97
Список публикаций.....	98
Список использованных источников	99
Приложение А	102
Приложение Б.....	103
Приложение В	105

Введение

Радиационный фон Земли за последние 70 лет подвергся существенным изменениям: к концу 30-х годов 20-го века во всём мире было около 10-12 г радия, полученного в чистом виде. На сегодняшний момент источники ионизирующего излучения и радиоактивные вещества применяются во многих сферах деятельности человека: в промышленности, в медицине, в науке, в оборонительном комплексе.

За последние годы на Земле появилось большое количество радиоактивных отходов (РАО). С каждым годом их объём только увеличивается. Одной из проблем, связанных с РАО, является то, что в настоящее время множество АЭС в мире выработали свой ресурс и подлежат демонтажу. По данным Международного агентства по атомной энергии порядка 65 реакторов атомных электростанций (АЭС) и 260 реакторов, используемых в научных целях, подлежат демонтажу. В ближайшие годы в России планируется вывод из эксплуатации ряда реакторных установок, среди которых реакторы РБМК. При выводе из эксплуатации одного РБМК 1800 тонн графита становится РАО. Ввиду этого появляется проблема транспортировки, захоронения, утилизации и складирования радиоактивных отходов.

Проблема обращения с РАО подразумевает оценку различных категорий, а также методов их утилизации. Кроме этого существуют требования, касающиеся защиты окружающей среды от воздействия отходов. Одна из основных задач ликвидации РАО является их изоляция от биосферы на длительное время. Захоронение в геологическую среду, широко предлагается учёными, исследующими проблему РАО [1].

Целью данной работы является изучение возможности использования модифицированного транспортного упаковочного контейнера для хранения и транспортировки среднеактивных РАО.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующую классификацию РАО в России и за рубежом;
- изучить опыт обращения с РАО в различных странах мира;
- проанализировать параметры радионуклидного загрязнения реакторного графита;
- произвести расчет мощности эффективной дозы при различной толщине стенки контейнера для средне- и низкоактивных РАО.

Результаты работы могут найти применение в атомной промышленности.

1 Основная часть

1.1 Классификация РАО в России и за рубежом

Проблема радиоактивных отходов, т.н. «проблема РАО» заключается в том, большое количество накопленных радиоактивных веществ и недостаточность средств и технических решений по обращению с ними повышают риск радиационных аварий. Особенно острой и актуальной эта проблема, в частности для России, стала в последние годы, т.к. в настоящее время корпорация «Росатом» ведёт активное строительство АЭС за границей [2]. Помимо этого Россия поставляет топливо на каждый шестой реактор в мире. И отработанное ядерное топливо с этих реакторов возвращается в Россию [3].

Определение класса отходов – первое действие при обращении с радиоактивными отходами. Радиоактивные отходы подразделяются на классы для того, чтобы упростить выбор соответствующего способа захоронения.

1.1.1 Международная классификация РАО МАГАТЭ

Основное требование ко всем радиоактивным отходам – отходы должны обрабатываться, перерабатываться, храниться, транспортироваться и захораниваться так, чтобы в течении всего срока их потенциальной опасности и вредного воздействия на организм человека и окружающую среду не превышало пределов, установленных соответствующими нормативными документами, в независимости от того, где, когда и в какой форме радиоактивные отходы образуются.

Для согласованности деятельности национальных систем, связанных с работой с радиоактивными отходами, МАГАТЭ занимается усовершенствованием классификации отходов. В основе классификации отходов МАГАТЭ лежит учет вариантов окончательного захоронения радиоактивных отходов. Основным признаком классификации служит

длительность распада нуклида т.к. требования к технологии захоронения отходов во многом определяются временем, в течение которого отходы представляют опасность. Согласно этой системе классификации отходы подразделяются на следующие категории.

Отходы, освобожденные от контроля. Отходы, содержащие такие низкие концентрации радионуклидов, что они могут быть освобождены от ядерного регулирующего контроля, поскольку радиологическая опасность отходов незначительна. Пределы содержания радионуклидов устанавливаются органами государственного регулирования. Эти пределы рассчитываются из условия, что при всех сценариях облучения индивидуальная доза не должна превышать 10 мкЗв в год.

Низко и среднеактивные отходы. Отходы, содержащие такие количества радионуклидов, что необходимы меры для защиты персонала и населения. Этот класс охватывает очень широкий диапазон радиоактивных отходов, вплоть до отходов, содержащих такие высокие уровни активности, что требуются биологическая защита и даже охлаждение. В этой категории выделены две группы отходов, содержащих короткоживущие и долгоживущие радионуклиды.

Высокоактивные отходы. Отходы, содержащие такие большие количества радионуклидов, что в течение значительного периода времени необходима их надежная изоляция от биосферы. Такие отходы требуют обязательного наличия биологической защиты при обращении с ними и охлаждения.

Граничные уровни. Граничные уровни при классификации предлагаются в терминах параметров, наиболее уместных для безопасного захоронения радиоактивных отходов. Категория низко- и среднеактивных отходов (LILW) подразделяется на короткоживущие LILW и долгоживущие LILW. Приповерхностное захоронение может быть подходящим методом для короткоживущих LILW, однако для долгоживущих LILW отходов может оказаться необходимым захоронение в глубоких геологических формациях.

Дополнительные ограничения применяются в тех случаях, когда радиоактивные отходы характеризуются долгоживущими естественными радионуклидами, имеет место значительное выделение тепла в связи с радиоактивным распадом, когда происходит разделение радиоактивных отходов для приповерхностного или геологического захоронения и когда образуются жидкие или газообразные отходы. Граничные уровни между классами характеризуются лишь порядком величины активности, а конкретные значения устанавливает национальная система классификации [4].

Таблица 1.1 – Характеристики классов отходов принятых МАГАТЭ

Классы отходов	Типичные характеристики	Метод захоронения
Освобождаемые от контроля отходы (CW)	Уровни активности равны или ниже уровней, основанных на годовой дозе для населения не более 0,01 мЗв.	Нет радиологических ограничений
Низко- и среднеактивные отходы (LILW)	Уровни активности выше величин для CW и тепловыделение ниже 2Вт/м ³ .	
Короткоживущие отходы (LILW-SL)	Ограниченная концентрация долгоживущих радионуклидов (меньше 4000 Бк/г в отдельных упаковках отходов и в среднем 400 Бк/г для всех упаковок).	Приповерхностные или глубинные геологические хранилища
Долгоживущие отходы (LILW-LL)	Концентрация долгоживущих радионуклидов выше пределов для короткоживущих отходов.	Глубинные геологические хранилища
Высокоактивные отходы (HLW)	Тепловая мощность выше 2Вт/м ³ и концентрация долгоживущих радионуклидов выше пределов для короткоживущих отходов	Глубинные геологические хранилища

1.1.2 Классификация РАО в России

В 2011 году в России был принят Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В связи с этим законом в России была пересмотрена классификация радиоактивных отходов.

В целях настоящего Федерального закона радиоактивные отходы подразделяются на:

– удаляемые радиоактивные отходы – радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения;

– особые радиоактивные отходы – радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

Критерии отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам устанавливаются Правительством Российской Федерации.

Удаляемые радиоактивные отходы для целей их захоронения классифицируются последующим признакам:

– в зависимости от периода полураспада содержащихся в радиоактивных отходах радионуклидов – долгоживущие радиоактивные отходы, короткоживущие радиоактивные отходы;

- в зависимости от удельной активности – высокоактивные радиоактивные отходы, среднеактивные радиоактивные отходы, низкоактивные радиоактивные отходы, очень низкоактивные радиоактивные отходы;
- в зависимости от агрегатного состояния – жидкие радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы, газообразные радиоактивные отходы;
- в зависимости от содержания ядерных материалов – радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы, радиоактивные отходы, не содержащие ядерных материалов;
- отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения;
- радиоактивные отходы, образовавшиеся при добыче и переработке урановых руд;
- радиоактивные отходы, образовавшиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Критерии отнесения радиоактивных отходов к удаляемым и к особым и классификация удаляемых радиоактивных отходов установлены Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».

1.2 Обращение с РАО в различных странах мира

1.2.1 Обращение с РАО в России

Как было написано ранее, РАО обычно подразделяют на отходы низкого, среднего и высокого уровня активности. Это могут быть газы, аэрозоли, жидкости и твердые вещества. Газообразные РАО, содержащие,

например, радиоактивные изотопы: аргон, тритий, углерод, криптон, ксенон, йод и другие газы, а также пары кислот, обычно выбрасываются через высокие дымовые трубы (выше 150 м) после очистки и разбавляются воздухом до предельно допустимых концентраций (ПДК) и уровней излучения (ПДУ). Для очистки используют обычные методы и оборудование. Газы с тритием окисляются до воды. Углекислый газ, в состав которого входит радиогенный углерод, переводят в осадок карбонатов. Инертные газы, в первую очередь Kr^{85} (период полураспада 10,3 года) выделяют с помощью криогенной техники и низкотемпературной адсорбции. Однако растворы и материалы, использованные для очистки, становятся радиоактивными жидкими и твердыми РАО и подлежат дальнейшей переработке или захоронению.

Радиоактивные вещества (РВ), растворенные в воде или жидкостях, можно удалить из раствора в виде осадков методами химического осаждения. Например, соединения радиоактивного стронция перевести в осадок, добавляя соли бария или свинца. Коллоидные и взвешенные в растворе РВ можно извлечь из раствора методами коагуляции, используя, например, глину и полиэлектролиты. Также применяют фильтрование, ионный обмен, выпаривание и др. Однако, очистив раствор, получаем твердые РАО.

Чугунное и стальное оборудование, загрязненное РВ, после окончания его эксплуатации, направляется на переплавку. При переплавке уран уносится со шлаком, а металл может вновь использоваться. В общем, уменьшение объемов твердых РАО (смолы, металлическое оборудование и др.) достигают путем сжигания, сплавления или переплавки, при этом концентрация РВ и активность полученной золы или сплава увеличиваются. Загрязненные глины обжигают. Полученные твердые РАО подлежат долговременному захоронению.

Проектирование, строительство и эксплуатация радиохимического предприятия для переработки и хранения ОЯТ и РАО экономически оправдано только для государства с развитой самостоятельной ядерной энергетикой, которое владеет соответствующими технологиями и высококвалифицированным персоналом. В настоящее время радиохимические

заводы работают в России, Франции и Великобритании. США придерживаются отложенного решения, предпочитая консервировать ОЯТ в специальных хранилищах, чтобы в будущем либо заняться его переработкой, либо провести окончательное захоронение.

В 2000 году в России был законопроект, согласно которому в Россию на хранение и переработку могут ввозиться ОЯТ из других стран.

Любые операции с ОЯТ осуществляют с использованием мощной экранирующей защиты от проникающей радиации. Нарушение технологии в ходе переработки ОЯТ или аварийная ситуация неминуемо приводят к самым тяжелым последствиям.

Стержни (тепловыделяющие сборки) с ОЯТ хранятся на АЭС под слоем воды (мокрые хранилища) не менее 2,5 метров над сборкой, что обеспечивает надежную защиту от всех видов радиоактивных излучений. Срок хранения составляет от 3 до 5 лет. За это время активность ОЯТ падает и их можно транспортировать на большие расстояния. Хранилища ОЯТ и РАО на территории России представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Хранилища ОЯТ и РАО на территории России

№	АЭС	№	АЭС
1	Кольская	6	Волгодонская
2	Ленинградская	7	Балаковская
3	Калининградская	8	Белоярская
4	Смоленская	9	Нововоронежская
5	Курская	10	Билибинская
№	Комбинаты по переработке и хранению ОЯТ и РАО		
1	ПО «Маяк» (Челябинск-65)		
2	Сибирский химокомбинат (Томск-7)		
3	Горно-химический комбинат (ГХК, Красноярск-26)		
4	Плавучие технологические базы в составе военно-морского флота РФ (типа «Лепсе на Кольском полуострове около 90 баз)		

Крупнейшее в России предприятие по переработке и хранению ОЯТ и РАО – это Горно-химический комбинат и радиохимический завод в Красноярском крае (ГХК).

ГХК был построен для наработки в промышленных реакторах оружейного плутония и его извлечения на радиохимическом производстве (по решению Совета министров СССР от 26. 02. 1950 г.). Для защиты от возможных ядерных ударов основные производственные объекты размещены в скальных выработках Атамановского кряжа на глубине 200 м. Инженерные решения по размещению в глубине горного массива масштабного ядерного производства не имеют аналогов в отечественной и мировой практике. Первый реактор был введен в эксплуатацию в 1958 г.

Радиохимический завод введен в эксплуатацию в 1964 г. и предназначен для переработки ОЯТ уран-графитовых реакторов ГХК.

С целью информирования общественности по всем актуальным вопросам, связанным с атомной энергетикой и для внедрения комплексных программ обучения населения вопросам радиационной безопасности 21. 01. 2002 г. создан Красноярский региональный информационный центр (КРИЦ) Минатома России. Целью КРИЦ является информирование населения о деятельности ГХК, радиохимического, электрохимического и химико-металлургического заводов.

Перевозка ОЯТ производится железнодорожным транспортом, специальными вагонами в защитных металлических контейнерах с толщиной стенки 0,35 м. Конструкция контейнеров обеспечивает ядерную и радиационную безопасность даже в случае крупной аварии на железной дороге.

В технологической схеме завода предусмотрена возможность выделения из ОЯТ нептуния и получения его диоксида. Конечным продуктом переработки ОЯТ являются соли урана и диоксид оружейного плутония.

Извлеченные из реакторов АЭС ОТВС хранятся в «мокроем хранилище» в отсеках глубиной 8 м, заполненных дистиллированной водой, при этом от верхней части ОТВС до зеркала воды должен быть слой воды не менее двух метров для защиты от радиоактивного излучения. Система водоснабжения хранилища замкнутая, без сброса воды в окружающую среду. Через 10 – 20 лет хранения ОТВС переводят в «сухое» хранилище, в котором они охлаждаются

воздухом. Перед установкой на длительное хранение ОТВС помещают в специальные пеналы из нержавеющей стали. Для улучшения съема тепла и уменьшения коррозии пеналы заполняют азотом, а затем герметизируют сваркой. Установлена санитарно-защитная зона как для «мокрого», так и «сухого» хранилищ радиусом 1000 м. В состав завода входит также комплекс переработки и временного хранения жидких РАО, с целью подготовки их к подземному захоронению на полигоне «Северный» в глубоко залегающие геологические пласты (коллекторы). Коллекторы изолированы водоупорными породами от других горизонтов. Захоронение низко-активных РАО осуществляют на глубину 200 -300 м, средне-активных РАО – на глубину 400-500 м через специально оборудованные скважины. Эксплуатация полигона «Северный» сопровождается контрольными наблюдениями за распределением (миграцией) отходов в недрах, за протекающими процессами ядерных и химических превращений РАО при долговременном захоронении, за состоянием окружающей среды – подземных и поверхностных вод, воздуха, почвы, растительного и животного мира. Влияние на биосферу практически не обнаружено [6]. Однако существуют и проблемы, например, в результате переработки РАО за время работы завода накоплено 6 тыс. м³ высокоактивных отходов (ВАО) – пульп (вторичное радиационное загрязнение растворов, использованных в технологии переработки, например, для экстракции). Задача переработки пульп и перевод их в безопасное состояние актуальна для большинства предприятий РФ и зарубежных стран. В настоящее время совместно с Радиевым институтом (г. Санкт–Петербург), институтом физической химии РАН, институтом неорганических материалов (г. Москва) и Свердловским НИИ химического машиностроения (г. Екатеринбург) ведутся научные исследования и работы по созданию технологии и оборудования для обезвреживания пульп с целью последующего безопасного долговременного хранения. В настоящее время признано, что наиболее эффективным и безопасным решением проблемы РАО является их окончательное захоронение в могильниках на глубине не менее 300-500 м в глубинных геологических

формациях с соблюдением принципа многобарьерной защиты и обязательным отверждением РАО. Опыт утилизации и ликвидации РАО на ГХК это доказывает. Кроме того, опыт проведения подземных ядерных испытаний доказал, что при определенном грамотном выборе геологических структур не происходит утечки радиации из подземного пространства в окружающую среду. Крупный новый могильник (саркофаг для РАО) предполагается построить в Иркутской области. РАО в металлических контейнерах будут погружены глубоко в грунт и окружены слоем специально подобранных глин. Таковы же разрабатываемые в США, Канаде, Швеции, Швейцарии, Финляндии в настоящее время концепции захоронения ОЯТ в глубокие геологические формации, буровые скважины и штреки в кристаллических породах, туфах, соляных пластах.

Также в России остро стоит проблема утилизации плавучих хранилищ. Например, плавучая технологическая база «Лепсе» – одна из самых больших проблем Кольского полуострова. Почти 20 лет на нее выгружали ОЯТ с ледоколов «Ленин», «Арктика», «Сибирь». До середины 80-х годов XX-го столетия твердые РАО «Лепсе» сбрасывала в Карское море, а жидкие РАО сливала в Баренцево море. С появлением нового судна «Имандра» в 1981 г. «Лепсе» стала использоваться только для временного хранения ОЯТ и РАО и для перевозки их к местам захоронения. В 1990 г. судно перевели в категорию «судно в отстое», но экономические потрясения заставили отложить проблему его ликвидации. На судне в настоящее время хранится 639 ОТВС (260 кг урана–235 и 156 кг продуктов его деления за 30 лет хранения). Сборки разбухли, покрытие пошло трещинами, они деформированы настолько, что обычный способ (извлечь из пенала с помощью крана, погрузить в специальный контейнер и отправить по железной дороге на комбинат по переработке и хранению ОЯТ) непригоден. Если плавучую базу затопить, то она станет долговременным источником РЗ для окружающей среды. Процесс утилизации от выгрузки ОЯТ до демонтажа и переплавки металлических частей займет около 5 лет и обойдется в 31 млн. долларов. Учитывая финансовые проблемы

РФ, в 1995 г. был создан консультативный комитет по международному экологическому проекту «Лепсе», в работе которого принимают участие Норвегия, Швеция, Франция, Великобритания. Из федерального бюджета РФ в 2002 г. было выделено 50 млн. руб. За счет этих средств выгрузили из самой большой цистерны жидкие РАО, залили оставшийся на дне радиоактивный осадок бетоном, провели тщательную дезактивацию. Полная утилизация этой базы должна стать отработанным проектом, который можно будет с коррективами использовать при ликвидации других плавучих баз.

1.2.2 Обращение с РАО в США

Американский подход к проблеме с РАО может служить ярким примером коммерческого решения вопроса на основе жёсткой системы государственного регулирования. Американская система обращения с РАО берёт своё начало 50-х годов 20-го века. Закон, принятый в 1954 году, разрешил юридическим лицам иметь в собственности и использовать радиоактивные материалы. В 1982 году был принят Акт о политике в области обращения с атомными отходами (Nuclear Waste Policy Act). Данный акт основывался на следующих положениях:

- предусматривается геологическое захоронение высокоактивных отходов без переработки;
- ответственность за выбор места, строительство и эксплуатацию захоронения возложена на министерство энергетики (аналог нашего Минатома);
- создается Фонд ядерных отходов, через который финансируются все работы в области захоронения;
- все предприятия ядерно-энергетического комплекса отчисляют в фонд специальный налог;

– захоронение военных отходов оплачивается Федеральным правительством.

В последующие годы по всей стране был построен ряд хранилищ. В 1992 году был открыт завод по переработке РАО. Это позволило существенно снизить поток отходов.

В настоящее время на территории США не строится новых хранилищ. Исключение составляет хранилище Юкка-Маунтин в пустынной местности в штате Невада. Данный проект подразумевает строительство подземной части хранилища, состоящей из ряда тоннелей, в 300 метрах ниже поверхности горы и примерно в 300 метрах выше уровня подземных вод. На нём планируется использовать ячейки мелкого залегания в земле, где отходы размещаются в упакованном виде. Однако вопрос о строительстве данного хранилища до сих пор остаётся открытым. Поэтому ОЯТ продолжают хранить в хранилищах АЭС.

Поскольку открытие хранилища радиоактивных отходов в Неваде остается нерешенным вопросом, продолжается накопление радиоактивных отходов на ряде АЭС в районе Великих Озер Мичиган, Гурон, Эри и Онтарио, где расположен 31 реактор.

Северный сосед США – Канада подыскивает площадку для постоянного хранилища высокоактивных отходов. Однако, предложение построить в Онтарио постоянное подземное хранилище менее, чем в миле от озера Гурон для хранения низко- и средне- активных отходов со всех атомных станций вызвало сопротивление со стороны Мичиганского конгрессмена, который опасается, что может произойти утечка в озеро Гурон.

Даже без учета строительства новых АЭС сейчас более 100 АЭС в США ожидают постоянного хранилища для отходов. 10 АЭС с 13 реакторами расположены в Мичигане, Висконсине, Огайо и Нью-Йорке- с американской стороны Великих Озер, и 20 реакторов - со стороны Канады.

1.2.3 Обращение с РАО в Европе

В Западной Европе ситуация в области обращения с РАО существенным образом отличается от ситуации в США. В Великобритании, Франции, Испании и других европейских странах существуют корпорации, отвечающие за обращение с РАО (NDA, ANDRA, ENRESA и т.д.). Практически это госкорпорации, так как они единственные организации в своих странах, уполномоченные принимать и хранить РАО. Таковую систему обращения с РАО поддерживает своими решениями Еврокомиссия.

Согласно отчету о ситуации по обращению с РАО, ежегодное производство всех радиоактивных отходов в государствах, «старых» членах Европейского союза (ЕС15), составило около 40000 м³. Это приблизительно на 10000 м³ в год меньше, чем производилось до 1999 года. К этому количеству добавились 5000 м³ отходов низкого и среднего уровня активности, которые производятся каждый год в странах, недавно вступивших в союз (ЕС10), а также в других близких к ЕС государствах, обладающих ядерными электростанциями (в Болгарии и Румынии).

Общий объем РАО расширенного Европейского союза (ЕС25) составляет приблизительно 45000 м³/год. Количество ОЯТ и высокоактивных отходов (ВАО) вычислить труднее, поскольку они зависят от технологии, используемой при обращении с ОЯТ (переработка или прямое захоронение). Некоторые государства вычисляют фактическое количество стекловидных компаундов, содержащих отходы от переработки ОЯТ, а не объем первоначальных отходов. Другие вычисляют вес тяжелых металлов, содержавшихся в топливных элементах, а не объем упакованных отходов. Считается, что суммарный объем отходов, возникающих при обращении с ОЯТ, составляет около 400-500 м³/год для ЕС15 и от 50 до 70 м³/год для ЕС10. Приблизительно 250 м³/год этих отходов остекловывается, остальные перерабатываются в топливо. К настоящему времени около 2 млн.

м³ низкоактивных и часть среднеактивных отходов окончательно размещены в хранилищах. Основные объемы РАО находятся в хранилищах Drigg в Великобритании, а также в центрах Манш и Об во Франции.

Финляндия, Франция, Испания, Швеция и Великобритания размещают РАО, содержащие небольшое количество долгоживущих радионуклидов, в основном в приповерхностных или мелкозалегающих хранилищах. Из новых государств-членов только в двух странах – Чешской республике и Словакии есть хранилища отходов низкого и среднего уровня активности; некоторые другие страны обладают хранилищами, которые принимают отходы только установленного типа.

Несомненно, самую большую проблему представляют ВАО. Большинство процессов, вовлеченных в обращение с ними, достигло стадии промышленного использования.

Недостаток ВАО – высокое энерговыделение. В некоторых странах не существует никаких планов относительно обращения с такими отходами. Несколько государств, имеющих атомные станции, в настоящее время решили отложить вопросы обращения с ВАО, по крайней мере, на 50 и более (до 100) лет. Только Швеция и Финляндия близки к созданию хранилищ, которые могут быть введены в строй к концу следующего десятилетия.

Большинство государств-членов все еще далеки от создания хранилищ ВАО, хотя Бельгия уже несколько лет обладает подземной лабораторией обращения с ними, а во Франции идет ее строительство. Новые государства-члены отстают от «старых» членов, многие из них первоначально предполагали экспортировать отработавшее топливо в Россию. Среди научной общественности имеется согласованное мнение о необходимости захоронения ВАО в геологических формациях. Европейская комиссия рассматривает захоронение в геологических формациях при современном уровне знаний как единственно безопасное и жизнеспособное решение для долгосрочного хранения ВАО.

В ноябре 2000 года Европейская комиссия приняла документ «Вперед к европейской стратегии энергетической безопасности» (Зеленая книга энергетической безопасности). В нем указано, что будущее атомной энергетики в Европе зависит от нескольких факторов, включая решение проблем обращения и хранения радиоактивных отходов.

В ноябре 2002 года Европейская комиссия приняла первую часть так называемого Ядерного пакета. Это ряд документов, посвященных повышению ядерной безопасности в Европейском союзе. Проблема обращения с радиоактивными отходами стала одной из двух центральных тем пакета, другая тема – безопасность ядерных установок. Эти документы, более известные как «Директива об отходах», были предложены для внесения в новое законодательство ЕС, принятое Еврокомиссией в январе 2003 года. Цель законопроекта – безопасное долгосрочное обращение с ОЯТ и РАО. Директива охватывает все формы РАО и все ОЯТ, независимо от предполагаемого способа обращения (переработка, хранение или прямое захоронение). В то же время акцент делается на отходах высокого уровня активности, включая отработавшее ядерное топливо, от которого также нужно избавляться.

Директива требует, чтобы каждое государство-член установило определенную программу обращения с РАО, охватывающую все РАО, находящиеся под его юрисдикцией, и все стадии обращения, включая захоронение. Программа должна также касаться обращения со всем ОЯТ, которое не подвергается переработке или, в случае топлива исследовательских реакторов, возвращается на основе соглашений о его возврате. В частности, программа должна определить подходы к долгосрочному обращению и захоронению с точным расписанием каждого шага процесса где нет никакой другой альтернативы.

В директиве недвусмысленно заявлено, что при современном уровне знаний захоронение в геологических формациях – лучший метод для долгосрочного хранения отходов высокого уровня активности. Между тем, следует принять во внимание, что существует широкий спектр отходов,

которые не будут перерабатываться, и даже если бы переработка стала технически выполнимой и экономически привлекательной, это все равно не решит полностью проблемы обращения с отходами высокого уровня активности. Директива также поддерживает исследования по новым технологиям, использование которых может привести к уменьшению количества РАО.

В документе предложено разрешить отправку отходов третьим странам как альтернативу захоронению в национальном хранилище. Такая отправка должна производиться в рамках долгосрочных стабильных контрактов и только в страну, обладающую технологиями обращения, соответствующим стандартам, принятым в стране происхождения РАО. В случае отправки специальных материалов должны быть предоставлены адекватные гарантии. Ввиду существующего запрета на импорт радиоактивных отходов эта часть директивы вызвала активное обсуждение. Дебаты пока далеки от достижения согласия, но открытое обсуждение этого вопроса – значительный шаг вперед [7].

Утилизация РАО во Франции

Компания ANDRA занимается вопросами по обращению с РАО во Франции. Она планирует и управляет потоками РАО. Хранилище в геологических формациях предполагается ввести в действие в 2025 году. Хранилища низкоактивных отходов будут сосредоточены в центре Об (емкость – до 1 млн. м³), очень низкоактивных отходов – в Морвилье (емкость – до 650 тыс. м³). Бюджет программы – €10 млрд. В настоящий момент ANDRA эксплуатирует три хранилища РАО – это центры Об и Манш, а также центр в Морвилье.

К 2008 году ANDRA разработала проекты сооружений для хранения отходов очень низкого, низкого и среднего уровня активности, в частности, хранилище в центре Об. Это каркасное легкое хранилище, защищающие

помещенные в него РАО от внешних осадков. Отходы размещаются в нем в упакованном виде. В 2005 году было предложено проектное решение по сооружению подземного хранилища высокоактивных отходов, расположенного в глиняной залежи.

Утилизация РАО в Великобритании

В Великобритании внутренний рынок обращения с РАО в настоящее время регулирует Nuclear Decommissioning Authority (NDA). NDA вертикально интегрирована, так как обращение с РАО в рамках проектов NDA направлено на удовлетворение собственных потребностей.

В 50-е годы 20-го века в Великобритании был построен комплекс Селлафилд. На данном атомном комплексе в разные годы производился оружейный плутоний (с 1950 года), изготавливалось топливо для АЭС, перерабатывалось облученное ядерное топливо, работала АЭС (с 1956 по 1983 годы). Недалеко от Селлафилд расположено централизованное хранилище НАО.

Экспорт и импорт радиоактивных отходов в Великобритании запрещен с июля 1995 года. Но неформально другие страны торгуют отходами с Великобританией: иностранные компании платят за создание дополнительного коммерческого пространства для отходов среднего уровня активности в хранилище в геологической формации, создаваемом для захоронения отходов, возникающих при ликвидации ядерного наследия.

Утилизация РАО в Испании

Обращение с радиоактивными отходами, возникающими в процессе вывода из эксплуатации и реабилитации ядерных установок и производств, является единственной функцией испанской компании ENRESA. Низко- и

среднеактивные РАО поступают в хранилище El Cabril, где их кондиционируют и захоранивают. Эксплуатация хранилища обуславливает интегрированную систему управления РАО, которая включает не только вывоз отходов, но и сбор, транспортирование, обработку и создание условий для их безопасного хранения, а также получение точной информации об отходах, включая радиометрическую характеристику и проверку качества отходов.

Хранилище El Cabril ввели в действие в 1992 году. Оно было разработано и построено таким образом, чтобы выполнить две основные задачи: гарантировать прямую и опосредованную защиту людей и окружающей среды, используя многоуровневую систему барьеров, и свободное использование участка в течение долгого времени – до 300 лет. Хранилище рассчитано на размещение 50 тыс. м³ низко- и среднеактивных отходов.

Ежегодный поток отходов составляет около 2000 м³. Дополнительно здесь же сооружено хранилище для отходов очень низкого уровня активности емкостью 120 тыс. м³, которое введено в эксплуатацию в 2008 году. Объем отходов более высоких активностей – части реакторного оборудования или реакторных зон – относительно мал по сравнению с низко- и среднеактивными отходами.

В настоящее время в Испании нет хранилища для ВАО. Стратегия в этой области сосредоточена на временном сухом хранении отработавшего топлива и высокоактивных отходов, гарантирующем безопасность людей и окружающей среды. Исходя из экономической целесообразности, было предложено ввести в эксплуатацию хранилище ОЯТ и ВАО в 2050 году; сюда будут помещать и другие РАО, которые нельзя разместить в El Cabril.

Недостатком европейских систем обращения с РАО является отсутствие конкуренции в этой области и, как следствие, необходимость жесткого государственного контроля расходования средств [8].

1.3 Территориальные загрязнения России

На сегодняшний момент на территории Российской Федерации мощность дозы гамма-излучений находится в пределах 10-20 мкР/час. Зоны повышенной радиоактивности расположены в Восточной Сибири и на Урале и они занимают площадь около 4 тыс. км². Данные зоны находятся в Курганской, Челябинской и Свердловской областях. Содержание Cs¹³⁷ в почве этих зон составляет более 1 Ки/км². Причиной загрязнения данных территорий является деятельность комбината «Маяк». Гамма-излучение здесь составляет около 60 мкР/час. На территории архипелага Новая Земля, где в советские годы находился полигон для испытаний ядерного вооружения, а также на прилегающих территориях, уровень загрязнения, в среднем, выше значений Крайнего Севера и Гренландии в 2-3 раза. Непосредственно на местах испытаний ядерного оружия мощность гамма-излучения в настоящее время достигает значений в десятки, а местами и в сотни микрорентген в час. Данные территории имеют статус санитарно-защитных зон.

Основными источниками радиоактивного загрязнения в России являются:

- предприятия по производству расщепляющегося материала для ядерного оружия (Арзамас-16, Челябинск-40, Красноярск-45, Томск-7 и др.);
- действующие атомные электростанции;
- атомные ледоколы;
- полигоны для захоронения радиоактивных отходов. Стоит отметить, что отходы поступают как из Российских предприятий, так и из предприятий из-за рубежа, построенных по российским технологиями и использующие радиоактивные вещества;
- НИИ и лаборатории, использующие в своей работе расщепляющийся материалы;
- полигоны для ядерных испытаний;

- ядерные аварии.

Первые испытания ядерного оружия проводились в северном Прикаспии. Позже был построен полигон на Новой Земле, находящийся в 900 км от Мурманска. На данном полигоне проводились воздушные, наземные, подводные, а также подземные ядерные испытания.

Основную роль в облучении населения по прошествии двух лет ядерных взрывов играют: C^{14} , Cs^{137} , Zr^{95} и Sr^{90} . При испытаниях в атмосфере радионуклиды выпадают рядом с местом взрыва, некоторая их часть задерживается в тропосфере и перемещается с воздушными течениями различные расстояния. Постепенно, в течение месяца, данные радионуклиды выпадают на землю. Основная же их часть выбрасывается в стратосферу, на высоту порядка 10 км. Там эти нуклиды задерживаются на длительное время, достаточно медленно выпадая на поверхность Земли [9].

1.4 Источники радиационного загрязнения

Факторы радиационной опасности разделяются по происхождению на естественные и антропогенные. К естественным факторам, например, относятся ископаемые руды, излучение при распаде радиоактивных элементов в толще земли. Антропогенные факторы радиационной опасности представляют собой добычу, переработку и использование радиоактивных веществ, производство и потребление атомной энергии, разработку и испытание ядерного оружия, а также прочее использование радионуклидов. Опасность, которую могут представлять антропогенные факторы, связаны с:

- атомной промышленностью;
- ядерными взрывами;
- ядерной энергетикой;
- медициной и наукой.

Источниками загрязнения среды выступают радионуклиды и радиационное излучение. Помимо этого, атомная промышленность и ядерная энергетика являются источниками радиоактивных отходов (РАО). Ввиду этого появляется проблема захоронения, утилизации и складирования РАО. Окончательного решения данной проблемы в настоящее время нет. Также существует проблема ликвидации ядерного оружия, накопленного ядерными державами. Она связана со складированием и безопасной транспортировкой ядерных боеголовок. Сейчас к этим двум проблемам добавилась проблема, обусловленная выводом из эксплуатации десятков энергетических, экспериментальных и транспортных ядерных энергоустановок.

Нуклиды, наиболее опасные для человека – стронций и цезий. Данные нуклиды трудно выводятся из организма. Они обладают периодом полураспада, равным средней продолжительности жизни человека. При воздействии данных нуклидов появляется опасность онкологических заболеваний и генетических нарушений [9, 10].

1.4.1 Загрязнения от атомных взрывов

Испытания ядерного оружия

На пяти крупнейших ядерных полигонах мира – Невада (США, Великобритания), Новая земля (СССР, ныне Россия), Семипалатинск (Казахстан), Муруроа (Франция), Лобнор (Китай) было произведено порядка 2000 ядерных испытаний.

Наибольший ущерб биосфере был нанесен ядерными взрывами, проводимыми в атмосфере, Данные испытания проводились вплоть до 1980 года (Китай). При этом ведущие ядерные державы завершили испытания ядерного оружия в атмосфере в 1962 (СССР) и 1963 (США) годах.

Следствием испытания ядерного оружия стало распространение радионуклидов по всей земле. Они с осадками попадали в почву, проникали в грунтовые воды, далее в организмы людей и других живых существ.

С конца 50-х годов начали проводиться подземные ядерные взрывы в мирных целях. Их использовали для сооружения водохранилищ, хранилищ для отходов, расположенных под землёй и т.д. Данные взрывы проводились с середины 50-х и вплоть до начала 90-х годов. В СССР подземные ядерные взрывы в мирных целях начали производить с 1965-го года. За всё время на территории нынешнего СНГ было проведено 124 взрыва, в том числе на территории России 90, (в европейской части – 59 взрывов, в Сибири – 31) [10].

Ядерные взрывы в мирных целях

Как было сказано выше, взрывы ядерных бомб проводились не только на военных полигонах. Например, в СССР была Программа «Ядерные взрывы для народного хозяйства». Данная программа начала реализовываться в 1965 году.

По этой программе в СССР было произведено 124 ядерных взрыва в промышленных целях в период с 1965 по 1988 годы. При этом было использовано 135 ядерных заряда. 130 ядерных заряда было взорвано в скважина, 4 в штольнях и 1 в шахте. Стоит отметить, что некоторые площадки использовались многократно, делая их, по сути, испытательными полигонами. 119 ядерных взрывов были камуфлетными, т.е. без выброса радионуклидов в атмосферу и 5 экскавационными, т.е. происходил выброс грунта, а как следствие и выброс радиоактивных веществ. Камуфлетные взрывы использовались для глубинного сейсмического зондирования земной коры и литосферы, создания подземных резервуаров, захоронения опасных химических веществ, полученных при нефтехимическом производстве, создания плотин, гашения горящих газовых факелов и т.п.

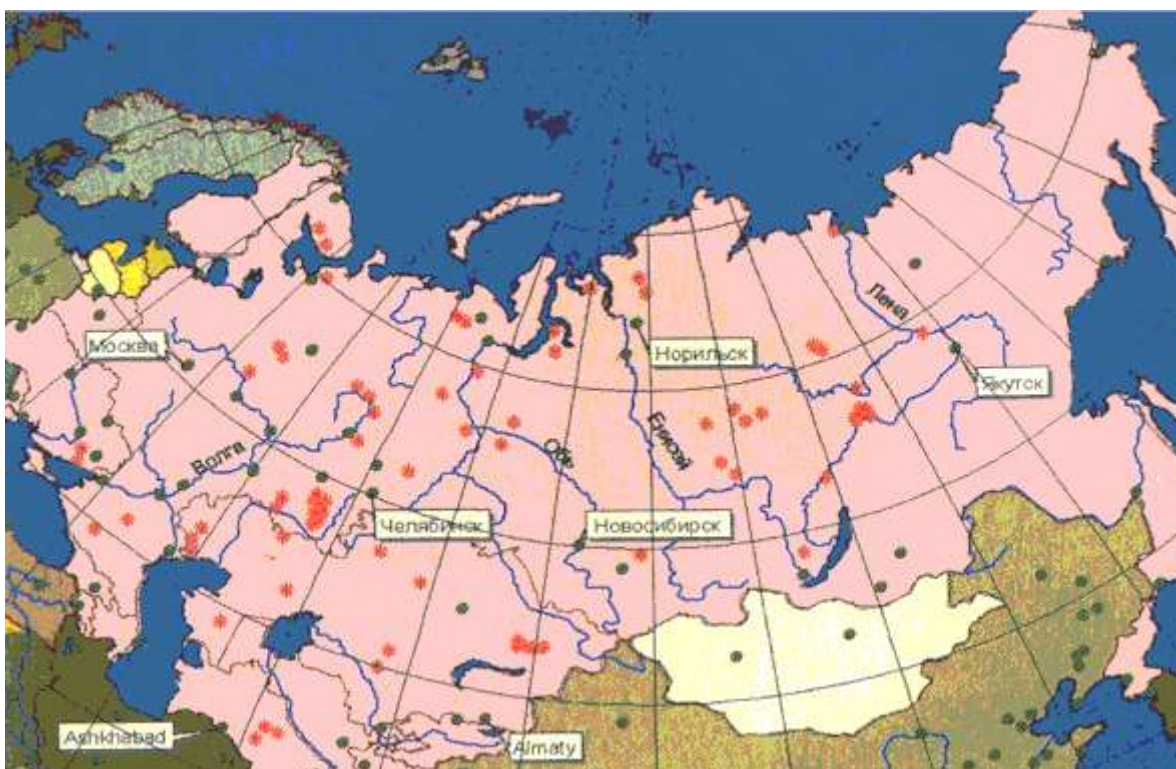


Рисунок 1.1 – Схема подземных ядерных взрывов в СССР, проводившихся в мирных целях за пределами официальных ядерных полигонов

Стоит отметить, что объекты подземных взрывов достаточно долгоживущие. Данные объекты являются потенциально опасными источниками радиации, и они не могут быть уничтожены. Также, после взрывов часто проводились вскрытия полостей для проведения научных экспериментов, вследствие чего происходило загрязнение оборудования для бурения и грунта непосредственно на площадках. После всех работ оборудование, грунт и промышленные отходы закапывались возле скважин. Данный факт создаёт дополнительную опасность этих объектов.

Стоит также отметить, что большая часть объектов, полученных благодаря подземным ядерным взрывам в настоящее время являются бесхозными.

1.4.2 Загрязнение от атомной промышленности

Задача атомной промышленности – добыча, переработка и обогащение радиоактивных материалов. Данные материалы используются как топливо для АЭС, а также для создания ядерного оружия. Вследствие деятельности предприятий атомной промышленности часть радиоактивных веществ попадает в окружающую среду как отходы или рассеивается в атмосфере, водоёмах и почве.

В настоящее время российская атомная промышленность занимает одно из лидирующих мест в мире. Этому способствует накопленный за десятилетия огромный опыт в решении различных задач, как, например, проектирование и строительство первой в мире атомной станции.

В атомную отрасль России входит более 250 предприятий и организаций в которых работает более 190 тысяч человек. Структуру отрасли составляют четыре крупных комплекса: научно-исследовательские институты, предприятия ЯТЦ, ядерно-оружейного комплекса и атомной энергетики.

За прошедшие 90 лет в мире было добыто порядка 1,8 млн. т. урана. На сегодняшний день запасы урана оцениваются в 125 тыс. т. в странах запада и в 150 тыс. т. в странах СНГ. Помимо этого в мире произведено порядка 1100 т. плутония (300 т. из которого – оружейный). Из этого плутония, согласно расчётам академика А.Д. Сахарова 7 до 10 т. расплыено в биосфере. Ввиду большого периода полураспада данного элемента, очевидно, что его воздействие на окружающую среду будет продолжаться тысячи лет.

1.4.3 Загрязнения от ядерных и радиационных аварий

Радиационная авария – это нарушение правил безопасной эксплуатации ядерно-энергетической установки, оборудования или устройства, при котором произошел выход радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом пределы их безопасной эксплуатации, приводящей

к облучению населения и загрязнению окружающей среды. Главными поражающими факторами аварий такого рода являются радиоактивное загрязнение и радиационное воздействие. Аварии часто сопровождаются пожарами и взрывами.

Ядерная авария – потеря управления цепной реакцией в реакторе, либо образование критической массы при перегрузке, транспортировке и хранении тепловыделяющих сборок. В результате ядерной аварии из-за дисбаланса выделяемого и отводимого тепла повреждаются тепловыделяющие сборки с выходом наружу радиоактивных продуктов деления. При этом становится потенциально возможным опасное облучение людей и заражение окружающей местности.

При данных авариях происходит радиационное воздействие на человека, заключающееся в нарушении жизненных функций различных органов, главным образом органов кроветворения, нервной системы и желудочно-кишечного тракта, а также в развитии под влиянием ионизирующих излучений лучевой болезни.

Радиоактивное загрязнение возникает под воздействием альфа-, бета- и гамма- ионизирующих излучений и обуславливается выделением при аварии продуктов деления ядерной реакции (радиоактивная пыль, осколки ядерного продукта, шлак) и непрореагированных элементов, а также образованием различных радиоактивных предметов и материалов в результате их облучения.

Одной из самых крупных аварий на предприятии ядерного топливного цикла является авария на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС). После аварии на ЧАЭС на территории России образовались зоны с заражёнными местностями Cs^{137} с уровнем радиации выше 1 Ки/км^2 . Общая площадь этих территорий составляет порядка 55,1 тыс. км^2 . Это Брянская, Белгородская, Воронежская, Калужская, Курская, Липецкая, Ленинградская, Орловская, Рязанская, Тамбовская, Тульская, Пензенская, Смоленская, Ульяновская области и Республика Мордовия.

Также имели место менее масштабные инциденты. В 1957 году на северном Урале рядом с городом Кыштыма произошел взрыв на предприятии «Маяк», в 1978 году пожар на Белоярской АЭС, авария на Ленинградской атомной станции в 1978 г. Вследствие данных и менее масштабных инцидентов и аварий на территории России имеются площади с повышенным содержанием радионуклидов, которые оказывают мутагенное и болезнетворное влияние на окружающую среду.

Происшествия на ФГУП ПО «Маяк» и АО «СХК»

Производственное объединение «Маяк» – федеральное государственное унитарное предприятие по производству компонентов ядерного оружия, изотопов, хранению и регенерации отработавшего ядерного топлива

За 68 (1948-2016) лет на предприятии «Маяк» произошло несколько крупных инцидентов с несанкционированным выходом радиоактивности в биосферу и переоблучением персонала.

В таблице 1.3 приведены крупные происшествия на ФГУП ПО «Маяк».

Таблица 1.3 – Радиационно-опасные инциденты с воздействием на персонал на ФГУП ПО "Маяк"

Дата	Событие	Количество облучённого персонала/умерших
15.03.1953	Возникла самоподдерживающаяся цепная реакция (СЦР)	Неизвестно
21.04.1957	СЦР	6 человек получили дозу от 300 до 600 бэр, 1 из них умер
02.10.1958	СЦР	3 человека погибли, 1 человек получил лучевую болезнь и ослеп
05.12.1960	СЦР	5 человек переоблучены
10.12.1968	СЦР	1 погиб, 1 рабочий стал инвалидом 1 степени (ампутация ног и руки)
21.12.1995	СЦР	4 рабочих получили дозы облучения (30 мкЗв)

АО «Сибирский химический комбинат» объединяет четыре завода по обращению с ядерными материалами. Одно из основных направлений работы СХК – обеспечение потребностей атомных электростанций в уране для ядерного топлива. В таблице 1.4 приведены крупные происшествия на ОАО «СХК».

Таблица 1.4 – Радиационно-опасные инциденты с воздействием на персонал на АО "СХК"

Дата	Событие	Количество облучённого персонала/умерших
18.03.1961	Взрыв испарителя для упаривания водных растворов	2 человека погибло
30.01.1963	СЦР в течении 10-и часов	4 человека переоблучены
1959-1970	Тяжёлые зависания ТВС в технологических каналах	–
11.05.1977	Разлив РАО на поверхностный грунт в объёме 11 м ³	–
06.04.1993	Взрыв аппарата по экстракции урана и плутония	Суммарная активность выброса – $3,09 \cdot 10^{13}$ Бк, переоблучены 1946 человек

Остальные инциденты с радиоактивными выбросами не приводили к переоблучению персонала и ликвидировались в соответствии с регламентами. Во всех выбранных случаях радиационная обстановка региона ухудшалась, возрос объём несанкционированных РАО, воздействие от которых на человека необходимо было минимизировать.

Вышеупомянутые случаи свидетельствуют, в основном, о пренебрежении персоналом правил и норм работы и обслуживания радиационно-опасного оборудования, ошибках в расчётах прочности и сроках службы оборудования.

Примечательно, что в последние годы (с 1995-го на «Маяке» и с 2000-го на «СХК») отсутствуют какие бы то ни было инциденты, что может говорить о возросшей культуре безопасности персонала, расчётных кодах, качестве поставляемого и эксплуатируемого оборудования [12].

Река Теча

В результате аварийного и санкционированного сброса жидких РАО ПО «Маяк» происходило загрязнение реки Теча, расположенной в Челябинской области.

Первое загрязнение датируется 1949 годом. Причина – вынужденная остановка выпарных аппаратов завода вследствие неэффективности и угрозы их разрушения из-за многократного превышения проектной концентрации бихромата в жидких отходах, высокой радиоактивности отходящих паров и газов при упаривании и по другим причинам. Металлические подземные ёмкости, используемые для хранения упаренных высокоактивных жидких РАО, были не в состоянии вместить значительные объёмы неупаренных РАО. Во избежание остановки завода «Б», предназначенного для переработки облученного урана, руководство приняло решение сливать ВАО предприятия непосредственно в реку Теча. Стоит отметить, что по проекту сбрасывать в реку Теча планировалось низко- и среднеактивные отходы.

В период с 1949 по 1951 годы было сброшено порядка 12 ПБк Sr^{90} , 13 ПБк Cs^{137} , а также 108 ПБк короткоживущих радиоизотопов. С 1951 по 1956 годы интенсивность сбросов активности в воду была снижена примерно в 100 раз, а после 1956 года среднеактивные РАО стали поступать в систему реки Теча в минимальных количествах. Но, тем не менее, с 1949 по 1956 годы в реку Теча поступило около 76 млн. м^3 жидких РАО, общая активность которых по бета-излучению составляет порядка 2,75 МКи.

В 1957 году на ПО «Маяк» произошла Кыштымская авария. Причина данной аварии – взрыв ёмкости с РАО. Данный взрыв привёл к загрязнению территорий радионуклидами:

– воздушным путём, образовав Восточно-Уральский радиоактивный след (ВРУС) от истоков реки Теча и практически до города Тюмень;

– водным путём по направлению на восток от места взрыва по течению реки Теча. Для предотвращения распространения радиации местными жителями были организованы санитарно-защитные зоны, находящиеся под охраной, вдоль обоих берегов реки Теча. В период 1958-1964 годов были построены 4 пруда для очистки загрязнения ПО «Маяк». Озеро Карачай, находящееся в верховьях реки Теча, было переполнено РАО. В течении многих лет его пытались засыпать для предотвращения водной и ветровой эрозии.

Несмотря на то, что загрязнение реки Теча исключает использование воды из этой реки для нужд населения, правые притоки Течи безопасны для нужд хозяйственного использования. Стоит также отметить, что сброс в реку Теча, хоть и в незначительных количествах, продолжается и в наши дни [12].

Озеро Карачай

Озеро Карачай начало использоваться для слива радиоактивных отходов ПО «Маяк» с октября 1951 года. Начиная с 1986 года по настоящее время проводятся работы по засыпке водоёма.

В 1951 году ПО «Маяк» начало использовать озеро Карачай как хранилище жидких радиоактивных отходов, что позволило значительно уменьшить их сброс в реку Теча.

В 1962-1966 годы уровень воды озера Карачай сильно упал, вследствие чего оголилось несколько гектаров дна озера. Из-за ветрового подъёма донных отложений с этих гектаров весной 1967 года было вынесено радиоактивных материалов на окружающую территорию. В течение 1967-1971 годов была произведена засыпка мелководий. В дальнейшем было принято решение о засыпке озера полностью, но приступили к ней лишь в 1986 году.

Планируется полностью засыпать озеро Карачай до состояния «зелёной лужайки». Однако существует проблема загрязнения грунтовых вод в подземном пространстве, решение которой пока не найдено [12].

1.4.4 Аварии на атомном флоте

За эксплуатации российских корабельных атомных энергетических установок (АЭУ) произошло двенадцать ядерных и более 100 радиационных аварий.

Все аварии сопровождались серьезными радиологическими и радиоэкологическими последствиями. Во время аварий на корабельных ЯЭУ и ликвидации их последствий повышенному облучению подверглось более 1000 человек. Суммарные радиологические последствия аварий на корабельных реакторах сравнимы с ближайшими последствиями облучения от чернобыльской катастрофы [13].

В таблице 1.5 приведены аварии и катастрофы произошедшие на атомных подводных лодках.

Таблица 1.5 – Аварии и катастрофы на АПЛ

Дата	Погибло	Примечание
1968	9	Атомная торпедная подводная лодка. В ходе испытаний в режиме полного хода реактор вышел из-под контроля, мощность стала резко падать. Авария сопровождалась выбросом радиоактивного газа в реакторный отсек, откуда он стал распространяться по всем отсекам. В сентябре 1982 г. затоплена на глубине 33 метра возле архипелага Новая Земля. Потенциальная опасность.
1970	52	Атомная ракетная подводная лодка, погибла в Бискайском заливе. По советским данным с лодкой затонули 2 заглушённых реактора и 4 ядерных торпеды. Потенциальная опасность.
1983	16	Атомная ракетная подводная лодка. Причиной гибели АПЛ явилось отсутствие ремонта, нарушение нормативных инструкций. В настоящее время находится в п. Совестький. Потенциальная опасность.
1985	10	АПЛ с крылатыми ракетами. На судоремонтном заводе в бухте Чажма (посёлок Шкотово-22) Приморского края, при перезагрузке ядерного топлива, вследствие нарушения требований ядерной безопасности произошёл взрыв, который сорвал крышку реактора и выбросил наружу все отработанное ядерное топливо. В результате аварии пострадали 290 человек – 10 погибли в момент аварии, у 10 зафиксирована острая лучевая болезнь, у 39 – лучевая реакция. Под действием течений радиоактивное загрязнение постепенно перемещается по направлению к выходу из бухты Чажма.

Продолжение таблицы 1.5 – Аварии и катастрофы на АПЛ

1986	7	Атомный ракетный подводный крейсер. Крейсер затонул при буксировке в условиях шторма на глубине 5500м, унеся с собой 48 баллистических ракет и две ядерных торпеды. Потенциальная опасность.
1989	42	Атомная торпедная подводная лодка затонула в результате пожара. Лодка лежит на глубине 1858 м. Реактор надёжно заглушен, как и торпеды с ядерной боевой частью. Потенциальная опасность.
2003	9	Затонувшая АПЛ, планируется подъём и утилизация. Потенциальная опасность.

1.4.5 Наука и медицина как источник радиационного загрязнения

Использование радиоизотопов в медицине для диагностики и для лечения также способствует территориальному распространению радиационного загрязнения. В отличие от испытаний ядерного вооружения, прекращённого к настоящему времени, медицина остаётся фактором радиационной опасности. Также, наряду с медициной, другим фактором являются различные исследовательские реакторы, находящиеся в институтах и лабораториях в различных странах.

Исследовательские ядерные установки (ИЯУ) являются потенциальными источниками ядерной и радиационной опасности. Для ИЯУ существует несколько особенностей, а именно:

- высокая частота переходных режимов при работе, при которых наиболее часто происходят нарушения в работе ИЯУ;
- частые перегрузки активных зон и постоянное перемещение облученных изделий;
- высокая цикличность нагрузок на оборудование активных зон и первого контура, из-за множества малых по продолжительности кампаний;
- высокая плотность нейтронного потока в активных зонах исследовательских реакторов, приводящая к быстрому набору предельного флюенса на элементы активных зон и повышению вероятности их отказов;

- использование высокообогащенного топлива создаёт проблему нераспространения ядерных материалов (ЯМ), что создаёт необходимость создания эффективных систем учёта и контроля ЯМ, а также систем физической защиты;
- меньшее, в сравнении с энергетическими ядерными реакторами количество физических барьеров, которые препятствуют распространению продуктов деления;
- расположение ИЯУ в крупных городах также создаёт некоторую опасность [14, 15].

1.4.6 Террористическая угроза

По данным Международного агентства по атомной энергии МАГАТЭ, ежегодно в мире происходит примерно 100 случаев исчезновения радиоактивного вещества. Уже было зафиксировано несколько случаев кражи высокообогащенного урана, говорится в недавнем докладе элитного университета Гарвард. «Технически продвинутая террористическая группа», вероятно, может сделать из этого атомную бомбу. Это подтверждают многочисленные правительственные исследования. Самое большое препятствие для экстремистов – достать необходимый материал.

Считается доказанным, что исламисты заинтересованы в оружии массового уничтожения. Насколько велик риск кражи, показывает исследование престижной Вашингтонской инициативы по снижению ядерной угрозы (Nuclear Threat Initiative (NTI)). Согласно исследованию, в защите ядерного материала существуют «значительные пробелы». Это относится не только к оружейному расщепляющемуся материалу – т.е. высокообогащенному урану или плутонию, – но и к радиоактивным веществам из области медицины и промышленности. Они пригодны для изготовления так называемой «грязной бомбы», обычного взрывного устройства, в котором содержится радиоактивный материал. В «десятках тысяч организаций в более чем 100

странах мира» есть для этого ингредиенты, говорит бывший американский сенатор и генеральный директор NTI Сэм Нанн. «Многие из них плохо защищены, их легко украсть».

В дополнение к краже радиоактивных материалов существует также опасность того, что террористы могут получить в свое распоряжение полноценное ядерное оружие. В связи с этим наибольшие опасения у экспертов по вопросам безопасности вызывает Пакистан: политически нестабильная страна имеет в своем распоряжении самый быстро растущий арсенал ядерного оружия в мире. Религиозные радикалы в вооруженных силах, коррупционеры и заинтересованные в ядерных материалах исламистские террористические группировки представляют наибольший риск для безопасности.

Кроме того, правительство в Исламабаде планирует перенести множество мелких единиц тактического ядерного оружия на границу с давним врагом Индией. Это приведет к увеличению риска ядерной войны между Пакистаном и Индией, что может повлечь за собой гибель миллионов людей от голода не только в регионе, но и во всем мире.

Россия также вызывает беспокойство Запада – политический ледниковый период давно влияет и на сотрудничество с Москвой по ядерным вопросам. Еще в ноябре 2014 года россияне объявили, что будут бойкотировать саммит 2016 года. Вскоре после этого Конгресс США впервые за последние 25 лет решил не выделять средства для защиты ядерных материалов в Российской Федерации.

1.5 Прирост объёмов РАО

На сегодняшний день в нашей стране эксплуатируется 10 атомных электростанций, которые вырабатывают около 17% всего производимого электричества. При этом в Европейской части России доля атомной энергетики достигает 30%, а на Северо-Западе – 37%.

Благодаря работе атомных станций России ежегодно предотвращается выброс в атмосферу 210 миллионов тонн углекислого газа. Всего же мировая атомная энергетика предотвращает образование 3,4 млрд. тонн углекислого газа.

Большинство АЭС в России построены до 1986 года и вскоре потребуется массово выводить атомные блоки из эксплуатации, что увеличит объёмы ВАО в ближайшем будущем. В планах каждый год с 2017-го выводить из эксплуатации по одному или два энергоблока. Это потребует существенных затрат на обращение с РАО от замещающих мощностей новых энергоблоков а также крупных затрат на ликвидацию ядерного наследия [16, 17, 18].

1.5.1 Действующие реакторы

Каждый год на 11 российских реакторах РБМК-1000 образуется 550 тонн ОЯТ (что соответствует 5000 ОТВС). В настоящее время на площадках АЭС хранится более 14,000 тонн ОЯТ. Вывоз ОЯТ планируется начать после создания на АЭС узлов резки на два пучка ОТВС РБМК-1000. Все зарубежные блоки с канальными реакторами остановлены [18, 19].

В таблице 1.6 приведены действующие в России реакторы РБМК-1000.

Таблица 1.6 – Действующие в России реакторы РБМК-1000

Название	Энергоблоки	Реакторы	Мощность, МВт	Ввод в работу	Окончание работы
Курская АЭС	1	РБМК-1000	1000	1976	2022 (план)
	2	РБМК-1000	1000	1979	2024 (план)
	3	РБМК-1000	1000	1983	2029 (план)
	4	РБМК-1000	1000	1985	2030 (план)
	5	РБМК-1000	1000	законсервирован	
	6	РБМК-1000	1000	законсервирован	

Продолжение таблицы 1.6 – Действующие в России реакторы РБМК-1000

Ленинградская АЭС	1	РБМК-1000	1000	1973	2018 (план)
	2	РБМК-1000	1000	1975	2020 (план)
	3	РБМК-1000	1000	1979	2025 (план)
	4	РБМК-1000	1000	1981	2025 (план)
Смоленская АЭС	1	РБМК-1000	1000	1982	2027 (план)
	2	РБМК-1000	1000	1985	2030 (план)
	3	РБМК-1000	1000	1990	2020 (план)
	4	РБМК-1000	1000	законсервирован	

В настоящее время в России действуют 6 блоков реакторов ВВЭР-440 с годовым образованием ОЯТ 87 тонн. Для данного типа реакторов реализован закрытый ЯТЦ. После выдержки в приреакторных бассейнах в течении 3-5 лет ОЯТ ВВЭР-440 вывозится на переработку на завод РТ-1.

На сегодняшний день за рубежом остановлены 12 блоков реакторов ВВЭР-440 в Германии, Болгарии, Словакии и Армении. 5 из них выведены из эксплуатации. Также в мире насчитывается 17 действующих энергоблоков с реакторами данного типа в Чехии, Венгрии, Финляндии, Украине, Словакии и Армении.

На 11 энергоблоках реакторов ВВЭР-1000 в России ежегодно образуется 260 тонн ОЯТ. ЯТЦ для данных реакторов является открытым. ОЯТ после выдержки в течение 3-5 лет вывозится с АЭС в централизованное хранилище на ГХК (г. Железногорск). Решение вопроса касательно переработки ОЯТ принято в направлении модернизации завода РТ-1 и создания завода РТ-2. За время эксплуатации реакторов ВВЭР-1000 было выгружено 23,700 ОТВС.

Сегодня за границей в эксплуатации находятся 20 блоков с реакторами ВВЭР-1000 (большая часть в Украине). ОЯТ с украинских АЭС направляется на длительное хранение в Российскую Федерацию. Чехия, Словакия, Венгрия и Финляндия хранят ОЯТ на своей территории [18, 20].

В таблице 1.7 приведены действующие в России реакторы ВВЭР.

Таблица 1.7 – Действующие в России реакторы ВВЭР

Название	Энергоблоки	Реакторы	Мощность, МВт	Ввод в работу	Окончание работы
Балаковская АЭС	1	ВВЭР-1000	1000	1985	
	2	ВВЭР-1000	1000	1987	
	3	ВВЭР-1000	1000	1988	
	4	ВВЭР-1000	1000	1993	
	5	ВВЭР-1000	1000	законсервирован	
	6	ВВЭР-1000	1000	законсервирован	
Калининская АЭС	1	ВВЭР-1000	1000	1984	
	2	ВВЭР-1000	1000	1986	
	3	ВВЭР-1000	1000	2004	
	4	ВВЭР-1000	1000	2011	
Кольская АЭС	1	ВВЭР-440	440	1973	
	2	ВВЭР-440	440	1974	
	3	ВВЭР-440	440	1981	
	4	ВВЭР-440	440	1984	
Нововоронежская АЭС	1	ВВЭР-210	210	1964	1988
	2	ВВЭР-365	365	1969	1990
	3	ВВЭР-440	440	1971	
	4	ВВЭР-440	440	1972	
	5	ВВЭР-1000	1000	1980	
Ростовская АЭС	1	ВВЭР-1000	1000	2001	
	2	ВВЭР-1000	1000	2010	
	3	ВВЭР-1000	1000	2015	
	4	ВВЭР-1000	1000	2017 (план)	
	5	ВВЭР-1000	1000	строительство не начиналось	
	6	ВВЭР-1000	1000	строительство не начиналось	

Помимо реакторов РБМК и ВВЭР в России эксплуатируются реакторы БН-600 и БН-800. В реакторе БН-600 каждый год образуется 6,2 тонны ОЯТ, которое, после выдержки, перерабатывается на заводе РТ-1. Для ОЯТ данного типа реализован замкнутый топливный цикл. Отходы приводятся в радиационно-безопасное состояние за счёт снижения их объёмов и кондиционирования их формы, пригодной для длительного хранения.

Объём ЖРО (жидких радиоактивных отходов) на реакторе БН-600 за время эксплуатации составит: $\text{м}^3/\text{реактор}\cdot\text{год} - 100-150$; $\text{м}^3/\text{МВт}\cdot\text{год} - 0,25-0,35$. За время эксплуатации БН-600 (45 лет) может быть накоплено 4500-6750 м^3

ЖРО. Стоит сказать, что ЖРО всех типов реакторов близки по химическому составу [21].

Объёмы эксплуатационных ТРО (твёрдых радиоактивных отходов) реакторов БН сравнимы с объёмами ТРО на реакторах РБМК.

1.5.2 Остановленные реакторы

Таблица 1.8 – Сроки исчерпания назначенного срока службы АЭС на период до 2010 года

№	Наименование АЭС	Тип реактора	Номер блока	Мощность МВт (эл.)	Год пуска	Год останова
1	Белоярская	АМБ	1	100	1964	1981
		АМБ	2	200	1967	1989
		БН-600	3	600	1980	2010
2	Нововоронежская	ВВЭР	1	210	1964	1984
		ВВЭР	2	365	1969	1990
		ВВЭР	3	440	1971	2016

В настоящее время в России в стадии вывода из эксплуатации находятся 4 энергоблока. Это первая очередь Нововоронежской (ВВЭР-210 и ВВЭР-320) и Белоярской АЭС (АМБ-100 и АМБ-200). Блоки переведены в ядерно-безопасное состояние, идут работы по дезактивации и консервации оборудования.

Для компенсации энерго мощностей уже установленных и намечаемых в выводу из эксплуатации энергоблоков предлагается обеспечивать современный ввод замещающих энерго мощностей блоками повышенной безопасности.

Продление срока службы реактора – крайне ответственная операция, которая (при ошибке в расчётах ресурса главного незаменимого оборудования первого контура) может привести к нарушению режима эксплуатации, аварийным ситуациям, выходу радиоактивности за пределы барьеров безопасности.

1.5.3 Снятие с эксплуатации энергоблоков АЭС

Снятие с эксплуатации энергоблоков АЭС – одна из самых сложных задач в комплексе использования атомной энергии. Через 30–40 лет после начала эксплуатации атомная станция вырабатывает свой ресурс. По истечении срока эксплуатации следует демонтаж атомной станции. Каждая АЭС должна быть, в конце концов, разобрана в идеале до «зеленой лужайки». В России, начиная с 1980 г., окончательно остановлены два энергоблока на Белоярской АЭС и два энергоблока на Нововоронежской АЭС.

К настоящему моменту в мире более 130 исследовательских, демонстрационных и промышленных ядерных реакторов выработали свой ресурс. До 2020 года в мире будет снято с эксплуатации более 200 энергоблоков. Стоит сказать, что при снятии с эксплуатации 125 энергоблоков в странах ЕЭС общий объем радиоактивных отходов составит 1600000 тонн. Данные РАО необходимо надежно упаковать и хранить длительный срок в специальных хранилищах.

Существует 3 основных варианта вывода АЭС из эксплуатации:

- быстрый демонтаж электростанции. В этом случае отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) и теплоноситель после отстоя вывозятся в специальное хранилище. Все загрязненные радиацией материалы и оборудование разбираются и удаляются. Объем радиоактивных отходов оценивается в 18-20 тыс. м³;
- отсроченный демонтаж. В этом варианте с территории АЭС убираются ОЯТ и теплоноситель, а после консервации в течение нескольких десятилетий производится демонтаж и очистка территории станции. При этом количество РАО уменьшается несущественно – до 17 тыс. м³;
- изоляция. Все РАО остаются на станции. При этом станция заключается в бетонный саркофаг, с возможностью периодического контроля

состояния станции. Примерно через 100 лет возможен разбор станции и её дезактивация. Количество отходов при этом варианте – 10 тыс. м³.

При выборе стратегии необходимо руководствоваться радионуклидным составом РАО и их количеством. В России особое внимание должно быть уделено трудностям обращения с графитовым замедлителем и натриевым теплоносителем по сравнению с теми же компонентами в водо-водяных реакторах.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение

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.

Целью данной диссертационной работы является разработка контейнера для низко- и среднеактивных радиоактивных отходов, материалом для которых является сталь, полученная при выводе из эксплуатации выработавших свой ресурс энергоблоков. Данный контейнер будет являться альтернативой имеющимся в настоящее время железобетонным контейнерам НЗК-150-1,5П и НЗК-Радон.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является возможность значительной экономии средств на обращении с РАО, путём увеличения внутреннего объёма контейнера, при его неизменных внешних размерах, а также возможность

многократного использования контейнеров. Также стоит отметить, что для производства данного контейнера будет использоваться сталь, удельная активность которой не допускает её неограниченное использование.

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

Сегментировать рынок услуг по использованию конкретной модели контейнера можно относительно уровня выполнения эксплуатационных требований. Результаты сегментирования представлены в рисунке 4.1.

		Модели контейнеров		
		НЗК-150-1,5П	НЗК-Радон	Контейнер из стали
Уровень выполнения эксплуатационных требований	Удовлетворительный			
	Высокий			

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг относительно уровня выполнения эксплуатационных требований контейнеров для РАО

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть перечисленные выше контейнеры: НЗК-150-1,5П и контейнер из стали.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 4.1. 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 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Надежность	0,2	5	4	5	1	0,8	1
4. Безопасность	0,2	5	4	5	1	0,8	1
5. Потребность в материальных ресурсах	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
6. Массогабаритные параметры	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
7. Простота эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
2. Стоимость разработки	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Финансирование разработанного метода	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Итого	1				4,95	3,85	4,3

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что исследованный в данной диссертационной работе контейнер является наиболее пригодным для эксплуатации. Конкурентные установки недостаточно

удовлетворяют установленным режимам работы, вследствие устаревшей конструкции.

4.1.2 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 4.2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта		
	С1	С2	С3
В1	+	+	+
В2	+	+	+
В3	+	+	–

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 4.3.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Актуальность выбранной темы.</p> <p>С2. Применение стали с ограниченным использованием.</p> <p>С3. Бюджетное финансирование.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие в настоящее время компании, способной производить подобные контейнеры.</p> <p>Сл3. Непостоянство поставок материалов для производства в виду нерегулярности вывода из эксплуатации энергоблоков.</p>
--	---	---

Продолжение таблицы 4.3 – SWOT-анализ

<p>Возможности: В1. Возможность создания новых рабочих мест для производства контейнеров. В2. Возможность и поддержка развития атомной энергетики со стороны государства. В3. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Появление новых безопасных контейнеров для РАО. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования со стороны других государств, обеспеченных актуальностью тематики.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Непостоянство поставки материалов для производства не играет существенную роль, т.к. есть возможность ввоза зарубежных материалов а также использование стали для неограниченного использования. 2. Наличие дополнительного спроса на результаты расчетов также позволит устранить главные недостатки проекта.</p>
<p>Угрозы: У1. Возможен низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие в виду старых контейнеров. У2. Вероятность наличия аналогичных разработок подобных контейнеров у конкурентов. У3. Задержка финансирования проекта.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Задержка финансирования может внести сбой в режим проведения экспериментов. Но актуальность темы проекта и поиск новых источников финансирования способны решить данную проблему. При низком спросе есть возможность выхода с данным контейнером на международный рынок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Проведение аналогичных экспериментов конкурирующими фирмами, задержка финансирования вкупе с перечисленными слабыми сторонами проекта, способны довольно сильно повлиять на ход разработки контейнера, однако вовлечение иностранных инвесторов и сторонних компаний, заинтересованных в разработке данного проекта, а также актуальность, способны предотвратить все негативные последствия.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества исследуемого контейнера преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ, представлена на рисунке 4.2. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

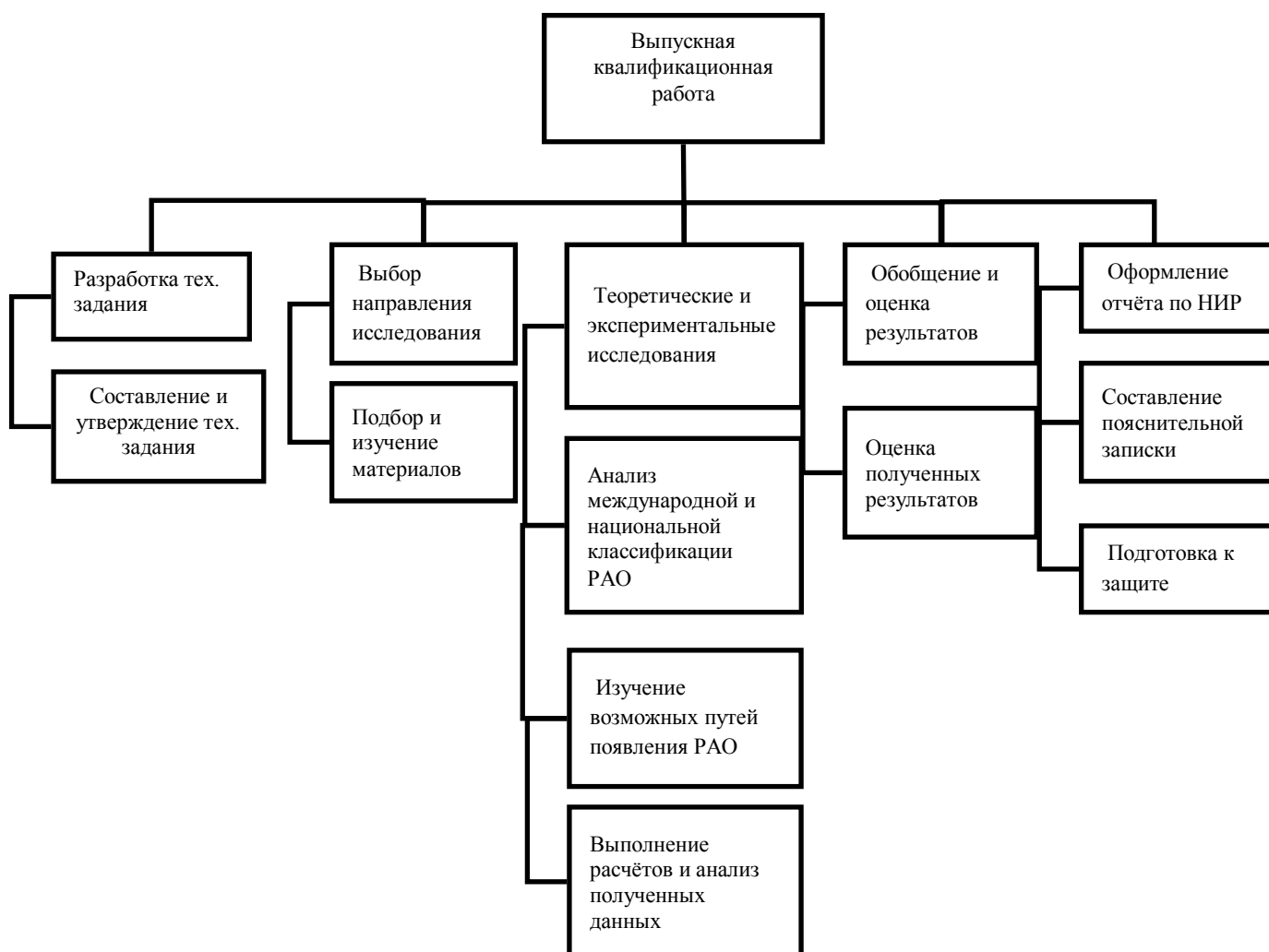


Рисунок 4.2. – Иерархическая структура работ

4.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2017	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2017	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2017	
4	Подбор и изучение материалов по теме	9.02.2017	Отчёт
5	Анализ международной и национальной классификации РАО	13.02.2017- 23.02.2017	Отчёт
6	Изучение возможных путей появления РАО	23.02.2017- 28.02.2017	Отчёт
7	Изучение программы MERCURAD	28.02.2017- 6.03.2017	Отчёт
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	6.03.2017 - 24.03.2017	Отчёт
9	Обобщение и оценка результатов	14.04.2017- 31.04.2017	Отчёт
10	Составление пояснительной записки	31.04.2017- 01.06.2017	Пояснительная записка
11	Подготовка к защите	01.06.2017- 12.06.2017	

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 4.5.

Таблица 4.5 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2017	3.02.2017	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2017	5.02.2017	Руководитель
3	Выбор направления исследований	4	5.02.2017	9.02.2017	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	3	9.02.2017	13.02.2017	Студент
5	Анализ международной и национальной классификации РАО	10	13.02.2017	23.02.2017	Студент
6	Изучение возможных путей появления РАО	5	23.02.2017	28.02.2017	Студент
7	Изучение программы MERCURAD	6	28.02.2017	6.03.2017	Студент
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	39	6.03.2017	14.04.2017	Студент
9	Обобщение и оценка результатов	16	14.04.2017	30.04.2017	Студент
10	Составление пояснительной записки	32	30.04.2017	01.06.2017	Студент
11	Подготовка к защите	11	01.06.2017	12.06.2017	Студент

В таблице 4.6 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 4.6 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	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	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	▨														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	▨ ■														
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	■														
5	Анализ международной и национальной классификации РАО	Студент		■	■												
6	Изучение возможных путей появления РАО	Студент			■	■											
7	Изучение программы MERCURAD	Студент				■											
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Студент					■	■	■								
9	Обобщение и оценка результатов	Студент								■	■						
10	Составление пояснительной записки	Студент									■	■	■	■			
11	Подготовка к защите	Студент														■	■

▨ – Руководитель ■ – Студент

4.3 Бюджет научного исследования

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

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

4.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расхи}},$$

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

$N_{\text{расхи}}$ – 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 4.7.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 960 = 2784,$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2784 рубля.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электронергия	–	480 кВт·ч	5,8	2784
Бумага	SvetoCopy	110	0,90	99
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Pilot BPS-GP	1	50	50
Доступ в интернет	–	4 месяца	350	1400
Персональный компьютер				43000
Всего за материалы				2698
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье C_m				47498

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.9)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.10)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{раб}$ – продолжительность выполняемых работ, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (4.11):

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / T_d, \quad ($$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

а) при отпуске в 24 раб. дн. $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

б) при отпуске в 48 раб. дн. $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

T_o – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные)	68	68
Действительный годовой фонд рабочего времени	297	297

Студент во время обучения ежемесячно получает стипендию в размере 1750 руб. (без учёта РК).

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, старший преподаватель, доцент, профессор;

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

- иные выплаты – районный коэффициент.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула (4.12):

$$Z_m = Z_{ок} \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник в должности старшего преподавателя с окладом 19500 руб. (без учёта РК). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$Z_{ч}$, руб.	$T_{раб}$	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	19500	1,30	25350	888	111	35 ч.	3885
Студент	1750	1,30	2275	–	–	4 м.	9100
Итого $Z_{осн}$:							12985

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (4.14)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 3885 = 1166 \text{ руб.}$$

4.3.4 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 другого оборудования.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{нак}} = k_{\text{нак}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.15)$$

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

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, участвующих в выполнении темы. Примем коэффициент накладных расходов равный 15 %.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{нак}} = 0,15 \cdot (12985 + 1166) = 2122 \text{ руб.}$$

4.3.5 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Расчитанная 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 4.10.

Таблица 4.10 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	47498
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12985

Продолжение таблицы 4.10 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

3. Отчисления во внебюджетные фонды	1163
4. Накладные расходы	2122
Бюджет затрат исследования	63768

4.4 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 4.3.

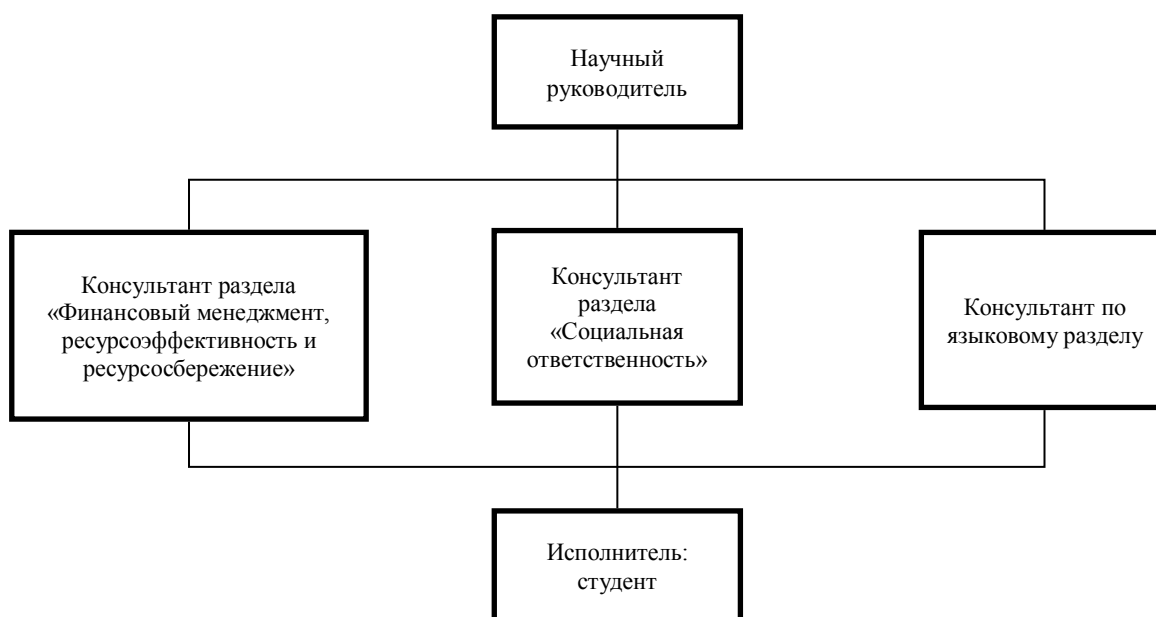


Рисунок 4.3 – Организационная структура научного проекта

4.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – 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
Ознакомление с видами РАО					И
Ознакомление со способами обращения с РАО					И
Изучение программы MERCURAD					И
Выполнение расчётов и анализ полученных данных					И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И

Продолжение таблицы 4.11 – Матрица ответственности

Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

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

4.6 Определение ресурсной, 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. 4.12). 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:

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

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

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{63768}{63768} = 1;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{фина1}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{70145}{63768} = 1,10; \quad I_{фина1}^{a2} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{74609}{63768} = 1,17;$$

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 4.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Повышение роста производительности труда	0,25	5	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	3
3. Надёжность	0,25	5	2	2
4. Экономичность	0,15	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	5	3,4	3,2

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

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,4;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,2.$$

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; \quad I_{\text{фина}i}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{фина}i}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{1} = 5; \quad I_{\text{фина}1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина}1}^{a1}} = \frac{3,4}{1,10} = 3,09; \quad I_{\text{фина}2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фина}2}^{a2}} = \frac{3,2}{1,17} = 2,74.$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

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

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,09	1,15	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,4	3,2	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,09	2,74	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,62	1,82	1

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

Список публикаций

1. Овечкин Е.В. Мотрий И.А. Селиваникова О.В. «Захоронение радиоактивных отходов в использованных горных выработках» Сборник материалов конференции «Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий» – Северск, 2016. – 153 с.

2. Овечкин Е.В. Мотрий И.А. Клюжев В.Е. «Выбор площадки для глубинного захоронения высокоактивных РАО» Сборник тезисов докладов VII Школа-конференция молодых атомщиков Сибири – Томск, 2016. – 199 с.