

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии  
Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Реализация технологий описания и моделирования этапов обращения ядерного топлива на атомной станции</b>

УДК 621.039.54:004.932.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM82	Татолина А.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Степанов Б.П	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Кашук И.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерная физика и технологии	Кузнецов М.С.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований во всех областях использования ядерной энергии.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области ядерных физики и технологий.
P3	Создавать модели и описывать процессы, протекающие на предприятиях ЯТЦ при проведении учета и контроля ЯМ, а так же при построении систем физической защиты промышленных объектов с учетом требований нормативной базы в РФ и мире.
P4	Изучать особенности изменения баланса ядерных и радиоактивных материалов на предприятиях ядерного топливного цикла. Уметь применять экспериментальные методы анализа параметров веществ подлежащих государственному учету и контролю. Оценивать эффективность защиты ядерно-опасных объектов с учетом особенностей объекта. Понимать и анализировать полученные данные.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных событий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами российского и международного уровня, составлять экспертное заключение.
P6	Понимание назначение и функционирование основных систем атомных электростанций. Понимать процесс управления отраслью на всех этапах, роль национального регулятора в лицензировании и эксплуатации атомных электростанций и основные нормативные требования, предъявляемые в атомной энергетике.
P7	Разработка сложных технических систем и решение практических задач путем обобщения коллективных знаний, полученных во всех соответствующих дисциплинах.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
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	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности. Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      Кузнецов М.С.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM82	Татолиной Алине Игоревне

Тема работы:

Реализация технологий описания и моделирования этапов обращения ядерного топлива на атомной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-102/с от 28.02.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2020 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	– нормативно-техническая документация – научно-технические источники
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	- обоснование и выбор технологии моделирования и описания этапов обращения ядерного топлива на АЭС; - выработка эскизных решений по проведению моделирования этапов обращения ядерного топлива на АЭС; - выделение этапов технологического процесса на гипотетическом объекте и изучение нормативных, технологических и сертификационных материалов по входящим в каждый этап объектам моделирования; - подготовка, визуализация и адаптация исходных данных и материалов для создания образовательного ресурса.

<b>Перечень графического материала</b>	схема ядерного объекта – обязательный чертеж
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	И. В. Кащук
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева
Иностранный язык	Н. А. Кобзева
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Обзор литературы	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	13.03.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Степанов Б.П	к.т.н.		13.03.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ82	Татолина А.И.		13.03.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM82	Татолиной Алине Игоревне

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОЯТЦ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %. (НК РФ)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ. SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Определение: интегрального финансового показателя; интегрального показателя ресурсоэффективности; интегрального показателя эффективности.

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	13.03.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0AM82	Татолина Алина Игоревна		13.03.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM82	Татолиной Алине Игоревне

<b>Школа</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>14.04.02 Ядерные физика и технологии</b>
Уровень образования	Магистратура		

Тема ВКР:

<b>Реализация технологий описания и моделирования этапов обращения ядерного топлива на АЭС</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Реализация технологий описания и моделирования этапов обращения ядерного топлива на АЭС. Использование модели планируется в лаборатории НИ ТПУ (город Томск), для подготовки студентов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ;</li> <li>– ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация</li> <li>– ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ; Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;</li> <li>– ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования;</li> <li>– СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий;</li> <li>– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы;</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– шум и вибрация;</li> <li>– электромагнитное поле низкой частоты;</li> <li>– психофизиологические факторы;</li> <li>– электрический ток.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия электронных отходов на окружающую среду;</li> <li>– утилизация отходов.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– описание типичной ЧС – пожар на рабочем месте;</li> <li>– превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>10.03.2020</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Татьяна Сергеевна	к. ф-м. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM82	Татолина Алина Игоревна		10.03.2020

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии  
Уровень образования Магистр  
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла  
Период выполнения (весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.04.2020	Выдача задания	
30.04.2020	Выбор технологии моделирования и описания этапов	
05.05.2020	Описание технологических процессов	
20.05.2020	Анализ, подготовка и визуализация полученных данных	
23.06.2020	Сдача работы	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Степанов Б.П.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Кузнецов М. С.	к.т.н.		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 129 страниц, 23 рисунка, 22 таблицы, 6 приложений.

Ключевые слова: ядерный объект, ядерный материал, система физической защиты, система учета и контроля, ядерная и радиационная безопасность, технологический процесс обращения ядерного топлива, моделирование технологических процессов.

Объектом исследования являются вопросы организации и функционирования системы обращения ядерного топлива на АЭС.

Целью работы является формирование универсального информационного ресурса для использования в образовательных целях.

В процессе работы проводился анализ нормативно-правовых актов по вопросам организации и функционирования ядерных объектов, условий безопасного обращения ядерного топлива на объектах, формулирование требований к технологическому процессу обращения.

## Обозначения и сокращения

АЗ	активная зона
АСУ ТП	автоматизированная система управления технологическим процессом
АЭС	атомная электростанция
БВК	бассейн выдержки кассет
БПК	бассейн приема кассет
БПУ	блочный пульт управления
ВВЭР	водо-водяной энергетический реактор
ВТУК	внутренний транспортный упаковочный комплект
ЗБМ	зона баланса материалов
ЗДК	защитно-демпфирующий кожух
ЗК	защитная камера
МБК	металло-бетонный контейнер
МОЛ	материально-ответственное лицо
ОТВС	отработавшая тепловыделяющая сборка
ОЯТ	отработавшее ядерное топливо
ПТ	пучок ТВЭЛ
РБМК	реактор большой мощности канальный
РЗМ	разгрузочно-загрузочная машина
РУ	реакторная установка
РЦ	реакторный цех
ССТ	склад свежего топлива
СТВС	«свежая» тепловыделяющая сборка
УР ОТВС	участок разделки ОТВС
УХ МБК	участок хранения металло-бетонных контейнеров
УЭ	участок эксплуатации
ТВЭЛ	тепловыделяющий элемент

ТВС	тепловыделяющая сборка
ТК	транспортный контейнер
ТС	технологическая схема
ТУК	транспортный упаковочный комплект
УЕ	учетная единица
УКХ	упаковочный комплект хранения
УХ	участок хранения
ХОЯТ	хранилище отработавшего ядерного топлива
ЦЗ	центральный зал
ЯМ	ядерные материалы
ЯТ	ядерное топливо

## Оглавление

Введение.....	15
1 Предпосылки к созданию универсального информационного ресурса для обучающихся .....	17
1.1 Анализ образовательных методик.....	17
1.2 Обзор некоторых существующих виртуальных моделей в атомной отрасли .....	23
1.3 Обучение с использованием виртуальных тренажеров .....	25
2 Технологии описания и моделирования этапов обращения ядерного топлива на АЭС.....	27
2.1 Нормативные документы, регламентирующие технологические процессы обращения с ядерным топливом на АЭС.....	27
2.2 Постановка задачи проектирования .....	30
2.3 Инструменты проектирования.....	31
2.4 Выборка и обоснование эскизных решений по описанию технологических процессов при обращении ядерного топлива на АЭС .....	31
2.4.1 Объекты и события .....	32
2.4.2 Модель сущность-связь и диаграммы потоков работ .....	33
2.5 Характеристики для визуализации моделируемых объектов.....	35
2.6 Описание технологических операций на складе свежего топлива (ССТ) ....	45
2.7 Описание технологических операций в реакторном отделении .....	47
2.8 Описание технологических операций в ХОЯТ .....	52
3 Моделирование этапов обращения ядерного топлива на АЭС .....	56
3.1 Анализ требований к воспроизводству этапов технологического процесса обращения с топливом внутри локаций.....	56
3.1.1 Склад свежего топлива .....	56
3.1.2 Реакторное отделение .....	60
3.1.3 Хранилище ОЯТ .....	63
3.2 Методика для создания сценариев обращения ядерного топлива внутри локаций.....	68
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	72
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	72

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	72
4.1.2 Технология QuaD .....	72
4.1.3 SWOT-анализ.....	75
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	78
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	78
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	79
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	80
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	82
4.2.5 Расчет материальных затрат НТИ .....	83
4.2.6 Основная заработная плата исполнителей темы.....	83
4.2.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	85
4.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	86
4.2.9 Накладные расходы.....	87
4.2.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	87
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	88
5 Социальная ответственность .....	92
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
5.1.1 Правовые нормы обеспечения безопасности .....	95
5.1.2 Организация рабочего места исследователя.....	100
5.2 Производственная безопасность.....	102
5.2.1 Микроклимат .....	103
5.2.2 Недостаточная освещенность рабочего места .....	104
5.2.3 Шум и вибрация .....	105
5.2.4 Электромагнитное излучение .....	106
5.2.5 Психофизиологические факторы .....	107
5.2.6 Обеспечение электробезопасности .....	108
5.3 Экологическая безопасность.....	109
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	110
Заключение .....	111
Список использованных источников .....	112
Список публикаций студента.....	113

Приложение А .....	115
Приложение Б .....	116
Приложение В.....	117
Приложение Г .....	118
Приложение Д.....	119
Приложение Е.....	120

## **Введение**

В настоящее время цифровизация, и в частности технологии, создающие ощущение присутствия, повсеместно внедряются в промышленные и научные отрасли. Одной из составляющих устойчивого развития государства является обеспечение режима защищенности объектов со сложным технологическим процессом путем создания системы безопасности. Формирование данных условий происходит за счет выделения и проведения описания анализа основных угроз по отношению к объекту. К тому же, современные тенденции переоснащения производственных объектов и создание новых высокотехнологичных производств ставят вопрос о квалификации обслуживающего персонала. Полностью исключить влияние человеческого фактора на безопасность производственных объектов не представляется возможным.

Одним из вариантов уменьшения воздействия данного фактора на безопасность важных объектов является обучение с помощью виртуальных симуляторов. В настоящий момент в рамках атомной отрасли технологии виртуальной реальности используются как для того, чтобы показать основные принципы и технологии, благодаря которым осуществим ядерно-топливный цикл, так и для обучения. Посетить реальные объекты в рамках учебных практик в равной степени всеми студентами не всегда представляется возможным, и в данном случае изучение технологических процессов под тем или иным углом с помощью наглядно функционирующих моделей может повысить эффективность усвоения учебного материала. Кроме того, подобные технологии можно использовать в ситуациях, требующих быстрой трансформации имеющихся знаний для облегчения восприятия материала.

На момент написания данной работы в открытом доступе информационные модели, касающиеся обращения ядерного топлива в рамках ядерно-топливного цикла, отсутствуют. Таким образом, цель данной работы

состоит в первичном формировании универсального информационного ресурса, описывающего процесс обращения ядерного топлива на АЭС, для его дальнейшей разработки и использования в образовательных целях. В рамках данной цели были сформулированы следующие задачи:

- обоснование и выбор технологии моделирования и описания этапов обращения ядерного топлива на АЭС;

- выработка эскизных решений по проведению моделирования этапов обращения ядерного топлива на АЭС;

- выделение этапов технологического процесса на гипотетическом объекте и изучение нормативных и технологических материалов по входящим в каждый этап объектам моделирования;

- подготовка и адаптация исходных данных и материалов для создания интерактивного ресурса;

- составление бюджета на разработку научно-технического исследования;

- анализ рабочего места студента на предмет возникновения вредных и опасных факторов.



# **1 Предпосылки к созданию универсального информационного ресурса для обучающихся**

## **1.1 Анализ образовательных методик**

В последние годы задача формирования профессиональной эффективности становится всё более актуальной в системе подготовки специалистов и требует определения необходимых для этого организационно-педагогических условий. Существующие технологии обучения в плане развития профессионально-личностных качеств специалиста могут не в полной мере удовлетворять запросам отрасли и работодателей. Ориентация на императив современности «образование через всю жизнь» (это и освоение компетенций, необходимых для осуществления профессиональной деятельности, и желание успешной жизни и многое другое) определила задачу – создание информационного образовательного ресурса, направленного на формирование профессиональной эффективности будущего специалиста.

Один из вариантов решения задачи может заключаться в создании соответствующей информационной среды. Данный подход не исчерпан и существует возможность его наращивания за счёт применения проектного подхода и визуальных материалов интерактивного логико-смыслового типа [1]. Проектирование информационно-образовательной среды предполагает уточнение понимания и развития субъекта и конкретно-наглядного и теоретического познания в учебной деятельности. То есть визуальное восприятие представляется приоритетным фактором, занимающим достойное место в современных педагогических технологиях [2–4].

Задача работы заключается в том, чтобы сформировать эффективную образовательную логику подготовки специалиста, отвечающую требованиям современного знаниевого общества. Социальный же заказ выступает интегратором потребностей работодателя, органов управления, самого

обучающегося при формировании педагогических и организационных условий в логике среды [5].

В методике применения имитационных технологий для обучения извне задаются процесс обучения, информация и условия среды. Для перехода субъекта образовательного процесса из начального состояния в последующее, приближающееся к заданному образу современного компетентного специалиста, готового к профессиональной деятельности в рамках подготавливаемого профиля, необходимы педагогические условия, запускающие механизм нужной трансформации субъекта. На данном этапе обучения активируются высшие формы умственной деятельности, выполняются процедуры макро- и микронавигации в содержании учебного материала, благодаря чему осуществляется формирование профессиональных и личностных компетенций [5]. Ведущими дидактическими средствами и процессами реализации педагогических условий как механизмов информационно-образовательной среды являются логико-смысловые модели и когнитивная визуализация знаний (связывает субъекта образовательного процесса с наглядными средствами, поддерживающими познавательную деятельность).

В соответствии с [6]: «Реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологические и иные тренинги) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.» Исключительно традиционный подход к подаче материала критикуется в том числе за то, что зачастую источником информации является только сам преподаватель. В таком случае односторонняя коммуникация может быть оправдана только при недостатке информации или при невозможности получить ее другим способом за исключением рассказа преподавателя. Но на сегодняшний день это как правило не так, т.к. преподаватель зачастую использует неоригинальный материал. Оригинальным является лишь то, как преподаватель преподносит этот материал.

Это конечно имеет большое значение, но мало чем помогает конструировать знания у обучающихся, т.к. является всё же чужой конструкцией. Формы визуализации в образовательном процессе помогают решить эту проблему. Такое взаимодействие предполагает активность каждого субъекта образовательного процесса, и преподавателя, и обучающегося, отсутствие репрессивных мер управления и авторитарного контроля со стороны преподавателя.

Современная образовательная ситуация развивается под влиянием происходящих инновационных процессов практически всех аспектов жизни. Возросла скорость появления новых знаний, быстрота разработок применяемых технологий, одновременно происходит быстрое устаревание научного знания и технологий. В связи, с чем появляется необходимость перехода системы образования на новые принципы обучения, образовательные технологии, системы взаимодействия и т.д. [1].

Освоение дополнительных профессиональных компетенций повышает роль профессионально-личностных свойств будущего специалиста, поскольку современное производство предполагает у субъекта труда творческое, продуктивное воображение – способность увидеть в рутинном процессе развивающуюся действительность, предугадать и встретить назревающие изменения, то есть мыслить и действовать в таком же инновационном, продуктивном режиме. Для ответа на данный вызов целесообразно расширять процесс профессионального образования будущего специалиста интерактивными наглядными элементами.

Известно, что восемьдесят процентов людей воспринимают и усваивают опыт, существующий в определенной сфере деятельности, преимущественно с помощью зрительных образов. Опора на зрительный образ обеспечивает индивиду эффективность изучения, воспроизведения и дальнейшее развитие собственного опыта, мышления, деятельности [7]. Неограниченный массив информации, поступающей из разных источников к обучающимся, вызывает

необходимость поиска другого подхода к визуализации информации, так как вербальное мышление не справляется с поставленной задачей.

Визуальное мышление предполагает использование не первичных зрительных образов, а таких средств, как диаграммы, графики, рисунки, инфографика, иллюстрирующие понятия, процессы, алгоритм действий, отношения между объектами. Визуальное мышление рассматривается как «способ творческого решения проблемных задач в плане образного моделирования» [8]. В процессе визуального мышления складывается представление об алгоритме действий, результатом которых является выполненная работа.

Основной задачей визуализации учебной информации является распределение учебного материала, чтобы наилучшим образом представить его структуру и создать логически выстроенную форму его подачи. Применительно к т.н. «ядерному образованию» сказанное может быть интерпретировано так, что технология визуализации учебного материала должна осуществляться посредством выделения основных процессов ядерно-топливного цикла, вокруг которых будет выстраиваться остальная информация.

В современном мире важнейшей чертой, определяющей ценность специалиста, становится умение мыслить самостоятельно, опираясь на знания, опыт, умение применять знания для решения конкретных проблем. Это называют компетентностным подходом в образовании, наиболее отвечающим современному пониманию качества образования. Проблема конкурентоспособности становится для специалиста определяющим фактором его личного успеха в жизни, его способности адаптироваться к меняющимся ситуациям. Потому важным становится выбор концепции образования, на основе которой предполагается проектирование всей системы образования и обучения.

В качестве приоритетной для образования в мире и в России выбрана, так называемая, гуманистическая педагогика и психология [8]. Для реализации ее принципов в дидактике разработан, так называемый, личностно-

ориентированный подход. Учебный материал в нем выступает не как самоцель, а как средство и инструмент, создающий условия для полноценного проявления учащихся. Внимание акцентируется на самостоятельности познавательной деятельности; в центре познавательного процесса находится деятельность учения, а не преподавания. Только когда знания "выращиваются" самими учениками, которые приходят к познанию того или иного явления, осмысливают его в соответствии с собственным опытом, они становятся его собственным достоянием. Но для того, чтобы чувствовать себя комфортно, быть уверенным в правильности принимаемых решений и собственного выбора, важно уметь анализировать предлагаемую информацию, отделять факты от мнений, уметь анализировать факты с точки зрения их соответствия интересам личности и общества, морали и нравственным ценностям. Эти и другие аспекты работы с информацией требуют владения интеллектуальными умениями критического мышления.

Метод проектов не является новым в педагогике. В этой технологии рационально сочетаются теоретические знания и их практическое применение для решения конкретных проблем окружающей действительности в совместной деятельности. Основной тезис современного понимания метода проектов – «все, что я знаю, я знаю, для чего это мне надо и где, и как я могу эти знания применить». В основе метода проектов лежит развитие познавательных навыков, умений самостоятельно конструировать свои знания, умений ориентироваться в информационном пространстве, развитие критического мышления. Чтобы добиться такого результата, необходимо привить обучающимся навык самостоятельно мыслить, находить и решать проблемы, привлекая для этой цели знания из разных областей, умение прогнозировать результаты и возможные последствия разных вариантов решения, умение устанавливать причинно-следственные связи.

По данным исследований относительно качества усвоения учебного материала при использовании различных методов обучения, вовлечение участников образовательного процесса в различные виды активной

познавательной деятельности позволяет повысить качество подготовки специалистов [9]. Переход к компетентному подходу в обучении, к приобретению практических навыков решения профессиональных задач, обуславливает необходимость обязательного использования активных и интерактивных форм и методов. Интерактивные методы обучения позволяют ускорить процесс понимания, усвоения и применения знаний при решении практических задач. Эффективность обеспечивается за счет более активного включения обучающихся в процесс не только получения, но и непосредственного использования знаний. Интерактивное обучение повышает мотивацию и вовлеченность участников в решение обсуждаемых проблем, что дает эмоциональный толчок к последующей поисковой активности участников, побуждает их к конкретным действиям, процесс обучения становится более осмысленным [9].

В ряду современных средств, повышающих эффективность обучения, имитационные виртуальные тренажёры занимают особое место. В практике обучения их использование служит улучшению и повышению эффективности качества профессионального обучения [10].

В процессе профессионального обучения применение имитационных виртуальных тренажёров позволяет на одном и том же тренажере решать следующие задачи:

- теоретическое информирование;
- организация практических взаимодействий;
- проверка знаний.

Тренажёр является учебно-упражняющим устройством, с его помощью которого моделируются реальные условия трудовой деятельности, формируются навыки определенной деятельности (например, управление объектом, работа на пульте оператора или контроль радиационной обстановки), навыки превращаются в квалификацию, а образовательные квалификации совершенствуются.

Диапазон применения имитационных виртуальных тренажёров очень широк и включает в себя следующее:

- профорентация учащихся внутри специализации;
- входной контроль знаний о технологии;
- изучение основных принципов технологических процессов или объектов;
- формирование умственных моторных и сенсорно-моторных навыков;
- образование совокупных навыков;
- освоение навыков и квалификаций эффективного использования имитационных виртуальных тренажёров;
- оценка степени сформированности профессиональных навыков и квалификации учащихся на основании использования имитационных виртуальных тренажёров.

Эффективность имитационного виртуального тренажёра зависит от его технических возможностей и методов подготовки, учащихся к работе на тренажёре. Важное требование, предъявляемое к методам их использования, состоит в том, чтобы качества, приобретенные с помощью имитационного виртуального тренажёра, переходили на управление реальным объектом.

## **1.2 Обзор некоторых существующих виртуальных моделей в атомной отрасли**

Следует отметить, что виртуализация в атомной отрасли является в настоящий момент одним из приоритетных направлений разработки [11]. В настоящее время существует довольно широкий спектр виртуальных моделей (аналитических тренажеров) для имитации различных процессов на АЭС, но большинство из них используются для обучения действующего персонала [12, 13] и являются достаточно узкоспециализированными и подробными, и сведения, содержащиеся в них, не могут быть представлены в широкий доступ и

соответственно, не могут быть использованы для целей, поставленных в исследовании [14].

Например, с целью обобщения различных знаний о протекающих физических процессах в энергоблоках атомных станций разрабатывается программно-технический комплекс «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР». Он позволяет моделировать ядерные процессы в топливе, теплогидравлику в контурах теплоносителя, даже аварийные случаи, и не только, т.е. полномасштабно моделировать работу АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами. Также существует программно-технический комплекс виртуальной реальности (ПТК VR) для Нововоронежской АЭС. Реализация функционала обучения данной виртуальной модели используется в двух режимах:

- прохождение обучения: навигация по модели, изучение расположения технологических систем, оборудования, помещений, характеристик оборудования;

- выполнение заданий: получение задания, поиск оборудования, выполнение необходимых действий с оборудованием [15].

Как правило, все подобные модели являются в основном имитаторами нейтронно-физических процессов реактора и систем АСУ ТП [16, 17].

Из доступных для свободного изучения в настоящий момент моделей виртуальных площадок АЭС можно отметить виртуальный тур по стройплощадке Нововоронежской АЭС [18]. Однако, в нем существует возможность ознакомления только с объектами реакторного цеха и отсутствуют любые анимации процессов. Еще существует виртуальная модель реактора ВВЭР-1200, реализованная как мобильное приложение «АЭС российского дизайна», также находящееся в общем доступе и мобильное приложение «Чистая энергия АЭС» с моделью проекта АЭС-2006 [19]. В данных моделях для изучения представлены общий план площадки, общий план и отдельные детали реакторного отделения с анимацией некоторых процессов.



В данном исследовании приоритет в планируемой модели отдается именно процессу обращения с ядерным топливом на АЭС и обеспечением безопасности в процессе хранения и транспортировки топлива.

### **1.3 Обучение с использованием виртуальных тренажеров**

В виртуальных тренажерах динамика процессов реализуется посредством компьютерной анимации – комплекса методов отображения каких-либо объектов во времени. Процессы формирования понятий при помощи анализа, сравнения, выделения существенных признаков и других логических операций воспроизводятся специалистом, разрабатывающим анимацию, в образной форме, и интерактивно выводятся на дисплей компьютера в строго определенных последовательностях.

Динамическая модель формируется из совокупности элементов управления, позволяющих регулировать конкретные входные параметры и считывать выходные параметры опыта, тем самым имитируя протекание физических процессов [20]. Ввод и вывод информации осуществляется согласно разработанному алгоритму – программному коду виртуальной модели.

Таким образом можно сказать, что одной из основополагающих целей виртуализации образовательного процесса является развитие собственной информационно-имитационной базы на локальном уровне: иными словами, создание собственных уникальных по методу представления информационных и образовательных ресурсов. Характерной особенностью такой базы с точки зрения информатизации является то, что на ее основе могут быть реализованы в виде отдельных проектов несколько разноплановых целей, например:

- интеграция технологий имитационного моделирования в образовательный процесс;
- повышение квалификации преподавателей и сотрудников на базе имитационного моделирования;

- использование моделей для задач дистанционного образования.

Таким образом, проектирование полнофункциональной виртуальной учебной среды должно проводиться на основе обобщённой дидактической модели учебного процесса, охватывающей все фазы обучения: иллюстративно-демонстрационную, лабораторно-исследовательскую, тренажёрную, контролируемую. Вариант построения такой модели и будет описан в данной работе.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- Исследование основных характеристик объектов, влияющих на степень адекватности представления происходящих процессов в системе. В процессе анализа задачи прорабатываются исходные данные, происходит их систематизация;

- Визуализация учебной информации. Предлагается интерпретация выбранных объектов, варианты их реализации в приложении-симуляторе. На данном этапе также определяется общий стиль графического оформления симулятора, предъявляются требования к отдельным элементам;

- Разработка концептуальной модели построения информационного ресурса. Затем создание модели технологических процессов и применяемого в них оборудования с использованием блок-схем по формализованной методике описания сценариев технологических процессов.

## 2 Технологии описания и моделирования этапов обращения ядерного топлива на АЭС

### 2.1 Нормативные документы, регламентирующие технологические процессы обращения с ядерным топливом на АЭС

Первым этапом для создания информационного ресурса является изучение нормативных требований, применяемых на реальных объектах, для выделения и обозначения круга рассматриваемых в рамках модели технологических процессов.

Нормативные документы [22], регламентирующие технологические процессы обращения с ядерным топливом на АЭС, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативные документы.

Номер документа	Название документа
№ 170-ФЗ	Об использовании атомной энергии
№ 3-ФЗ	О радиационной безопасности населения
НП-001-15	Общие положения обеспечения безопасности атомных станций
НП-004-08	Положение о порядке расследования и учёта нарушений в работе атомных станций
НП-010-16	Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций
НП-015-12	Типовое содержание плана мероприятий по защите персонала в случае аварии на атомной станции
НП-016-05	Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла
НП-026-16	Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций
НП-030-19	Основные правила учета и контроля ядерных материалов

Продолжение таблицы 1:

Номер документа	Название документа
НП-034-15	Правила физической защиты радиоактивных веществ, радиационных источников и пунктов хранения
НП-040-02	Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции
НП-043-18	Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов, применяемых на объектах использования атомной энергии
НП-060-05	Размещение пунктов хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности
НП-061-05	Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии
НП-063-05	Правила ядерной безопасности для объектов ядерного топливного цикла
НП-074-06	Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ядерных материалов и радиоактивных веществ
НП-081-07	Требования к организации зон баланса материалов
НП-082-07	Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций
НП-083-15	Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов
ПРГ 1.3.2.02.999.0129- 2012	Программа применения пломб в системе учета и контроля ядерных материалов

Продолжение таблицы 1:

Номер документа	Название документа
1.2.1.04.004.0022-2011	Методические указания по выполнению расчетов содержания учитываемых изотопов ядерных материалов и активности радионуклидов в ОТВС на атомных станциях с реакторами ВВЭР и РБМК с целью учета и контроля
ПРГ 1.3.2.02.999.0151-2013	Программа измерений ядерных материалов на атомных станциях с целью учета и контроля
РД ЭО 1.1.2.99.0925-2013	Метрологическое обеспечение атомных станций. Индикаторы. Идентификация и порядок обслуживания
СТО 1.1.1.01.0678-2015	Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций
СТО 1.1.1.01.004.0680-2006	Технические средства обучения

Также при разработке могут быть использованы международные конвенции о ядерной безопасности и нормы безопасности МАГАТЭ, например, требования безопасности при проектировании атомных электростанций [23], Радиационная защита и обращение с радиоактивными отходами при эксплуатации атомных электростанций [24].

## 2.2 Постановка задачи проектирования

Сформулируем задачу проектирования: необходимо разработать кластер информационно справочных материалов, состоящий из:

- а) нормативной документации;
- б) описания технологического процесса;
- в) сведений о составляющих технологического процесса (объектах);
- г) 3D-моделей технологического оборудования, входящего в состав

технических систем.

Алгоритм проектирования включает следующие процессы:

- разработка структуры комплекса;
- анализ нормативной документации,
- разработка объектов
- разработка основных локаций.

Разработанные модели будут являться статическими, то есть в них будут отсутствовать физико-математические модели процессов, происходящих в оборудовании, но будут приведены определенные характеристики и продемонстрирован порядок действий. База данных моделей объектов заполняется по мере проектирования комплекса.

Основной задачей рассматриваемого комплекса является имитация процесса обращения с ядерным топливом между различными стадиями технологического процесса и внутри них.

Входными данными для первого этапа является техническая система (АЭС), образованная совокупностью технологических стадий, необходимых для функционирования объекта в штатном режиме под управлением человека-оператора.

## **2.3 Инструменты проектирования**

Основные данные, необходимые для разработки комплекса, поступают из нормативной документации. В них должны быть подробно описаны: технологический процесс в общем, функции каждого из объектов, стадии технологического процесса. Исходя из особенностей обучения, предусматривающих несколько дисциплин, а соответственно и необходимость рассматривать по отдельности различные стадии технологического процесса, необходимо предусмотреть универсальность комплекса.

Выделяются следующие группы формирования объектов:

- отдельный объект (ТВС, ТУК и др.), предназначенный для проведения одного или группы процессов;
- технологическая схема (ТС) - группа взаимосвязанных объектов;
- локация - группа ТС, например, склад свежего топлива;
- предприятие – группа локаций, объединенная в техническую систему (АЭС).

Каждая из локаций предприятия имеет свои отличительные особенности, которые должны быть учтены при разработке соответствующих виртуальных моделей.

## **2.4 Выборка и обоснование эскизных решений по описанию технологических процессов при обращении ядерного топлива на АЭС**

До начала разработки ресурса была произведена разработка концептуальной модели в виде блок-схемы с пояснениями, т.к. игнорирование этого требования не позволяет качественно выполнить задание.

До начала проекта необходимо иметь в виду следующие понятия, определяющие процессы:

1. Сущности (объекты и события) и их признаки;

2. Связи между сущностями;
3. Потoki работ–последовательности работ и/или событий;
4. Модель сущность-связь.

#### **2.4.1 Объекты и события**

Рассматривается технологический процесс обращения с ядерным материалом на АЭС. Выделяются следующие ключевые объекты:

- вагон-контейнер, доставляющий топливо на АЭС;
- партия свежего топлива (контейнер с СТВС);
- грузовая платформа, доставляющая топливо внутри станции;
- единичная СТВС;
- реактор;
- приреакторный бассейн выдержки кассет;
- бассейн выдержки ОЯТ;
- единичная ОТВС;
- чехол для перемещения ОТВС при внутростанционных перевозках;
- ТУК для транспортирования ОТВС;
- вагон-контейнер, в котором ОЯТ отправляют с объекта;
- крановый механизм для перемещения контейнеров внутри помещений;
- перегрузочная машина для перемещения топливных сборок.

Выделены следующие ключевые точки, в которых происходят события:

- склад свежего топлива;
- реакторное отделение;
- мокрое хранилище ОЯТ.

В модели технологического процесса обращения с топливом на АЭС рассматриваются следующие процессы, которые могут протекать как последовательно для одной итерации технологического процесса, так и одновременно, для обеспечения постоянного функционирования объекта.



## 2.4.2 Модель сущность-связь и диаграммы потоков работ

В данной главе рассмотрен процесс технологического обращения с ЯМ на гипотетической АЭС. Диаграмма потоков работ приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Диаграмма потоков работ

Первоначальная диаграмма сущность-связь, на которой в дальнейшем будут основаны блок-схемы сценариев, приведена на рисунке 2.

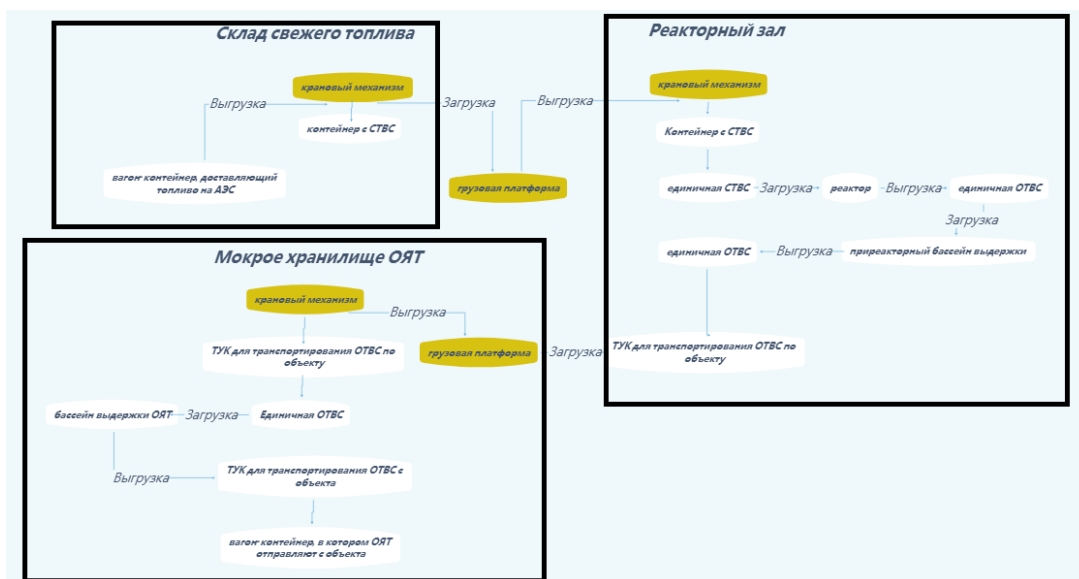


Рисунок 2 – Диаграмма сущность-связь

Рассматривается технологический процесс обращения с ядерным материалом на АЭС, с учетом работы систем учета и контроля, физической защиты ядерных материалов на выделенных элементах, определяются уязвимые места с точки зрения общей безопасности. В модели должны быть отражены основные элементы технологического процесса.

Студент-инженер с помощью такой модели сможет познакомиться с системой обращения ЯМ на объекте, ее работой в комплексе с защитными системами. Студенту предоставляется план объекта, трехмерные модели локаций, нормативная документация и общая характеристика объекта, с указанием вида ядерного материала, его количества и характеристик.

Внутри объекта есть несколько основных локаций, согласно диаграмме сущность-связь. Для каждой из зон должна быть смоделирована последовательность действий от момента попадания ЯМ в зону до того, как он ее покинет.

Сценарий предполагает прохождение следующих локаций:

1. Склад свежего топлива;
2. Реакторный зал;
3. Хранилище ОЯТ.

Для каждой из локаций будут определены моделируемые помещения, содержащие необходимые инженерные и технические средства, регламент работы, нормативная документация, необходимая для обращения с ЯМ. Студенту будет предложено провести оценку уязвимости ЯМ для каждого из этапов сценария с точки зрения систем физической защиты, учета и контроля ЯМ и ядерной и радиационной безопасности. Студент будет иметь возможность осмотра помещения на 360 градусов для изучения расположения и порядка действий персонала, размещения инженерных и технических средств.

## 2.5 Характеристики для визуализации моделируемых объектов

В качестве первоначальных требований, предъявляемым к грузовым составам и платформам могут быть заявлены следующие атрибуты:

- количество ТУКов, одновременно перевозимых объектом;
- соответствие размеров (длина, высота) ТУКов и кассет с ТВС с вагонами-контейнерами и платформами;

- отсутствие острых краев, которые могут повредить ЯТ;

- конструкция оборудования для хранения и транспортирования ЯТ должна исключать при нормальной эксплуатации удары и другие нагрузки, которые могут вызвать повреждения или изменение геометрии ТВС и твэлов [26]. ТК-ВГ-18 с упаковками ТУК-32

В качестве примеров для моделирования могут служить примеры, представленные на рисунках 3,4,5.



Рисунок 3 – Вагон для перевозки СТВС модели 11-9960



Рисунок 4 – Вагон ТК-ВГ-18 для перевозки ОЯТ



Рисунок 5 – Вагон-платформа модели 23-5166

В качестве первоначальных требований, предъявляемым к контейнерам для ТВС могут быть заявлены следующие атрибуты:

- количество ТВС в контейнере;
- габариты;
- соответствие размеров (длина, высота) контейнеров с вагонами-контейнерами и платформами;

В качестве примера для моделирования может служить пример, представленный на рисунке 6.

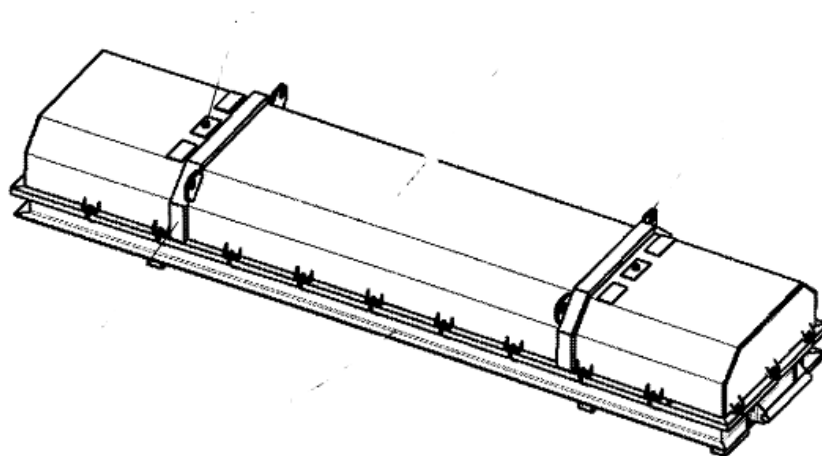


Рисунок 6 – Контейнер для транспортирования ТВС

В качестве первоначальных требований, предъявляемым к моделям ТВС могут быть заявлены следующие атрибуты:

- тип реактора;
- геометрическая формовка;
- габариты;
- соответствие размеров (длина, высота) ТВС с контейнерами и платформами.

В качестве примера для моделирования может служить пример, представленный на рисунке 7.



Рисунок 7 – Модель ТВС

В качестве первоначальных требований, предъявляемым к моделированию реактора могут быть заявлены следующие атрибуты:

- тип реактора;
- компоновка активной зоны;
- габариты.

В качестве примеров для моделирования могут служить примеры, представленные на рисунках 8,9,10,11.





Рисунок 8 – Вид на реактор изнутри до полной загрузки



Рисунок 9 – Крышка реактора сверху и реактор с полной загрузкой

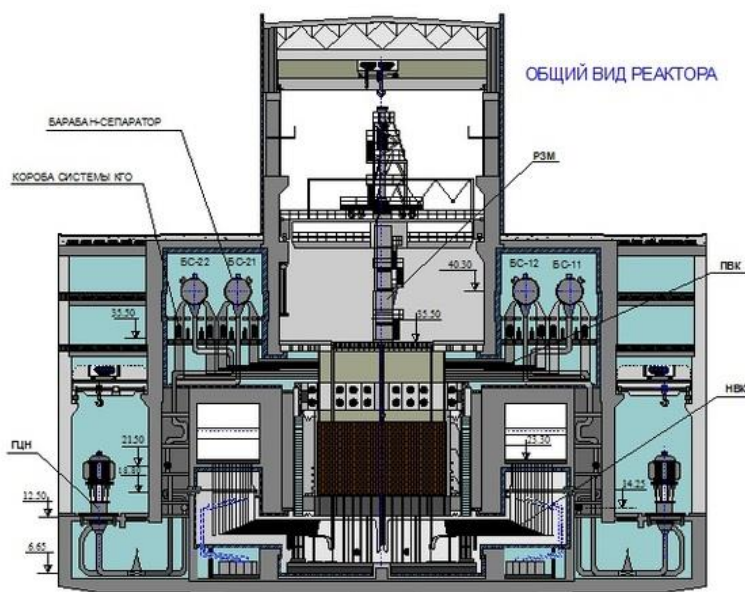


Рисунок 10 – Компоновка реактора типа РБМК-1000

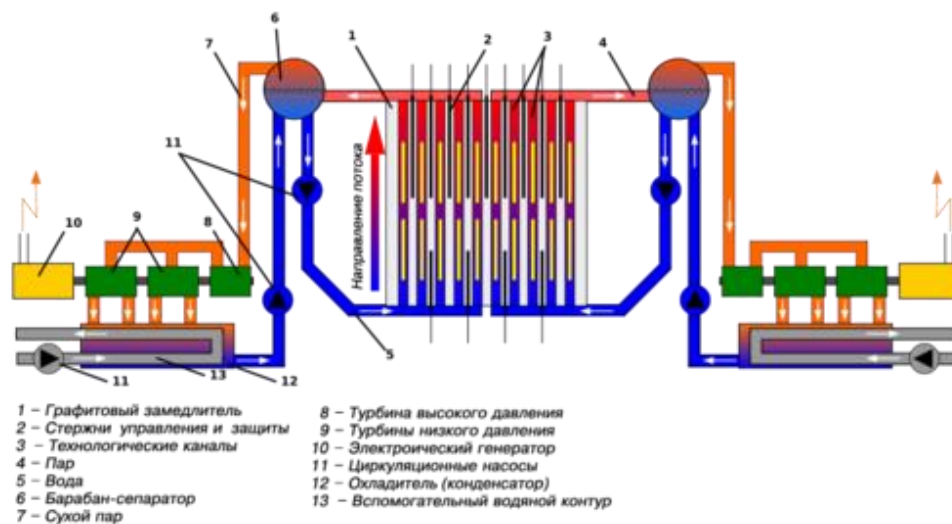


Рисунок 12 – Схема реактора типа РБМК-1000

Бассейн выдержки кассет представляет собой бассейн, заполненный водой или другой жидкостью, в котором находятся специальные стеллажи с ячейками для установки отработавших ТВС. После необходимой выдержки ТВС извлекают из БВ, помещают в специальные контейнеры для транспортировки на предприятия по переработке ядерного топлива.

В качестве первоначальных требований, предъявляемым к модели БВК могут быть заявлены следующие атрибуты:

- вместимость бассейна;
- габариты.

В качестве примера для моделирования могут служить примеры, представленные на рисунках 13,14,15.

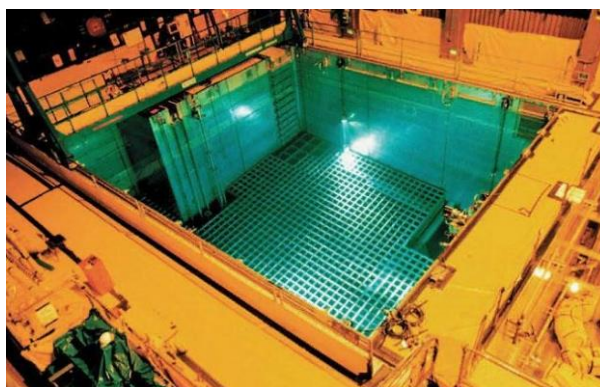


Рисунок 13 – Вид на БВК сверху



Рисунок 14 – БВК в реакторном зале

В качестве первоначальных требований, предъявляемым к контейнерам для перевозок ОТВС могут быть заявлены следующие атрибуты:

- вид перевозимого топлива;
- количество ТВС в одном контейнере;
- материал корпуса;
- наружный и внутренний диаметр;
- высота;
- конструкция без сварных швов;
- шаг решетки размещения.

В качестве примеров для моделирования могут служить объекты, представленные на рисунках 15, 16, 17.



Рисунок 15 – Вид на контейнер с открытой крышкой сверху





Рисунок 16 – Пеналы для хранения ОЯТ

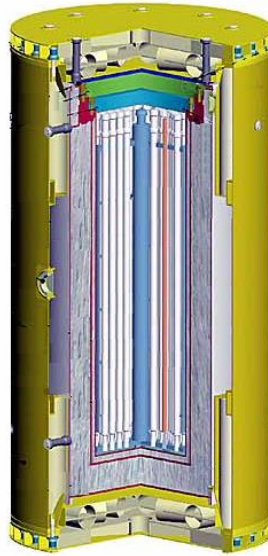


Рисунок 17 – Разрез укомплектованного ТУК-109.

Согласно требованиям [27] для перемещения контейнеров и ТВС внутри помещений используются краны группы Б – краны, применяемые при обращении с отработавшим ядерным топливом и (или) высокоактивными радиоактивными отходами, помещенными в транспортные упаковочные комплекты, ядерными материалами, свежим ядерным топливом.

В качестве примера для моделирования могут служить примеры, представленные на рисунках 18, 19.



Рисунок 18 – Перегрузочный механизм для верхней загрузки ТУК

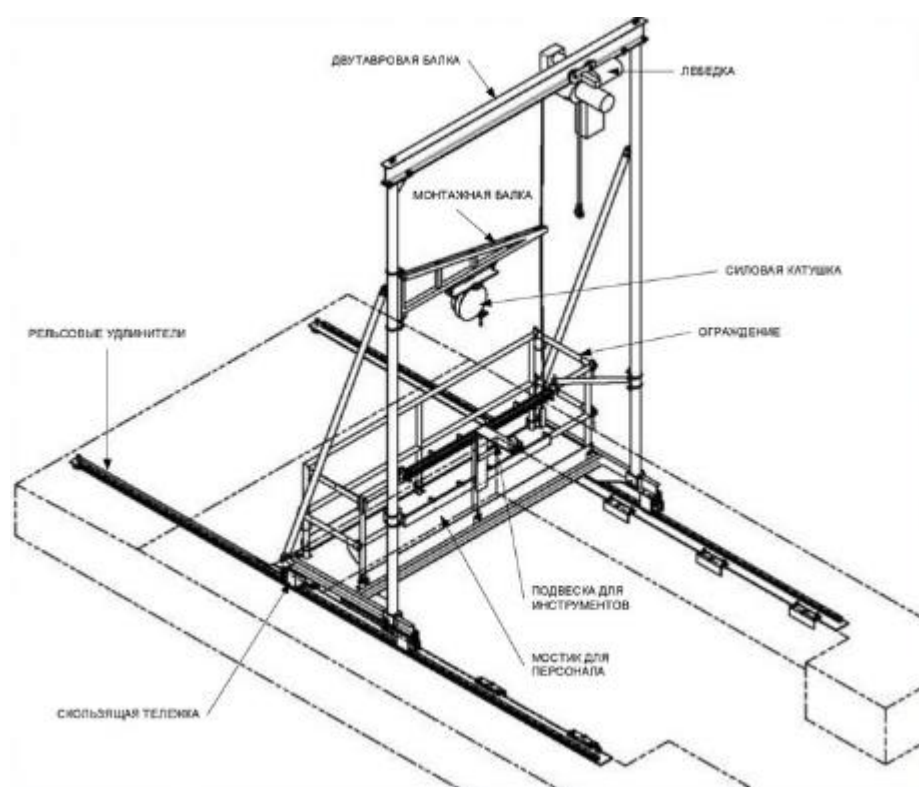


Рисунок 19 – Рабочая платформа для загрузки-выгрузки

Машина для перегрузок предназначена для выполнения транспортно-технологических операций, связанных с перегрузкой ядерного топлива активной зоны реактора. Согласно требованиям [27] для перегрузки используются краны

группы А – краны, применяемые при обращении с облученным ядерным топливом.

Перегрузочная машина по перегрузке ЯТ должна блокировать:

- перемещение перегрузочной машины в момент установки (извлечения) ТВС в ячейки стеллажей бассейна выдержки и чехлов;
- соударение штанги перегрузочной машины, транспортирующей ТВС, с конструкциями бассейна перегрузки.

В данной работе будет использована разгрузочно-загрузочная машинами (РЗМ), перемещающаяся по центральному залу, и обеспечивающая герметичное подключение к внутриреакторному объему и автономное охлаждение ТВС. Механизмы перегрузки с помощью соответствующих координатных устройств различного типа наводятся на нужную ТВС, захватывают ее, извлекают и перевозят в приреакторный БВК.

В качестве примера для моделирования могут служить примеры, представленные на рисунках 20, 21.



Рисунок 20 – Перегрузочное устройство МПС-1200



Рисунок 21 – РЗМ РБМК-1000

Внутриобъектовое транспортирование ЯТ должно осуществляться во ВТУК на специальных транспортных средствах, предназначенных для этих целей. Конструкция моделируемого ВТУК должна обеспечивать возможность пломбирования всех наружных разъемных соединений. Также конструкция оборудования ВТУК должна обеспечивать ядерную безопасность, как правило, путем размещения ЯТ с определенным шагом решетки [26]. Пример для моделирования представлен на рисунке 22.



Рисунок 22 – ВТУК-8М

## 2.6 Описание технологических операций на складе свежего топлива (ССТ)

Поступившие контейнеры с СТВС принимаются на ССТ, где разгружаются из спецвагона-контейнера и хранятся в хранилище топливных сборок до отправки из ССТ.

До разгрузки контейнеров ответственный хранитель ЯМ вместе с представителем завода-изготовителя, сопровождающим спецвагон, производят их внешний осмотр, проверяют наличие, тип, номер и целостность пломб, соответствие номеров контейнеров и пломб сопроводительной документации, а также факт срабатывания индикаторов удара.

В случае срабатывания индикаторов удара при транспортировании к потребителю оставляется акт в произвольной форме и один экземпляр передается ответственному лицу сопровождения. В акте отображается какой элемент выпал при срабатывании индикатора, на каком контейнере, при каких обстоятельствах.

В случае обнаружения несоответствия контейнеров и пломб указанным номерам в сопроводительной документации, нарушения целостности пломб или наличия вмятин, повреждения крышки контейнера и других нарушений, составляется акт о выявлении нарушения или несоответствия данных. Дальнейшие действия с контейнером принимает комиссия.

При отсутствии нарушений дается разрешение на разгрузку вагона и размещение контейнеров на складе «свежего» топлива.

После разгрузки вагонов и размещения контейнеров на ССТ в соответствии с «Инструкцией по проведению подтверждающих измерений ядерных материалов», производятся подтверждающие измерения ЯМ в контейнерах. Выполняются:

- подтверждающие измерения ядерных материалов с использованием средств измерений;
- визуальная проверка атрибутивных признаков учетных единиц.

К подтверждающим измерениям ядерных материалов относятся измерения брутто-массы контейнеров со свежим топливом с помощью весов, и регистрация характерных линий урана в спектре гамма-излучения от этих контейнеров с помощью гамма-спектрометров, переведенных в разряд индикаторов в соответствии с процедурами, установленными [28].

К атрибутивным признакам ЯМ, которые проверяются с помощью визуального контроля или с применением технических средств визуального контроля на АЭС относятся:

- фактическое количество УЕ;
- идентификационный номер УЕ;
- внешнее состояние (целостность) УЕ;
- наличие УЕ в зарегистрированном местоположении;
- идентификаторы пломб.

Выполнение подтверждающих измерений обеспечивает возможность подтвердить соответствие фактической массы ЯМ паспортным данным и наличия или отсутствия ядерных материалов в УЕ, а также получения данных о виде ядерного материала.

Расхождение результатов измерений контейнера с ЯМ у отправителя и получателя, установленное [25], должно находиться в интервале, соответствующем доверительной вероятности 0,99 с учетом погрешностей измерений массы у отправителя и получателя.

СТВС на складе хранятся под заводской пломбой.

После разгрузки контейнеров и проведения подтверждающих измерений, в 10-дневный срок с момента поступления паспортов на СТВС производится оформление следующей документации:

- «Сопроводительная накладная». В ней отражаются результаты входного контроля и приемки контейнеров;
- «Приемо-сдаточный акт»;
- «Журнал приема и отправки контейнеров из ССТ»;
- «Журнал складского учета контейнеров с СТВС»;

- «Этикетка» на каждый контейнер с указанием заводских номеров СТВС, находящихся в нем;
- «Этикетка» на каждую СТВС с указанием заводского номера СТВС, даты поступления и номер контейнера;
- учетные карты ТВС.

При передаче контейнеров с СТВС оформляется «Требование». В нем указывается:

- полное наименование продукции;
- количество СТВС в контейнере;
- номер контейнера;
- заводской номер паспорта;
- номера пломб;
- должностные лица, потребовавшие контейнеры с СТВС;
- дата подписания.

Контейнеры с СТВС выдаются материально-ответственным лицом. Сопровождает контейнеры с СТВС, на специально оборудованной грузовой ж/д платформе, МОЛ при внутривансионных перевозках. После завершения передачи ядерного топлива, оформленное «Требование» передается на хранение в службу учета и контроля. Срок хранения «Требования» составляет 5 лет. Передача контейнеров с СТВС между энергоблоками АЭС также производится через ССТ.

## **2.7 Описание технологических операций в реакторном отделении**

Перемещение СТВС в здание реакторного цеха производится по «Требованию», в котором указывается номер ЗБМ, из которой и в которую направляются контейнеры, количество передаваемых контейнеров с указанием типов СТВС в контейнере, номера контейнеров, заводские номера паспортов и идентификационные признаки пломб.



При приемке контейнеров МОЛ РЦ осматривает контейнеры, проверяет сохранность и количество контейнеров, целостность и идентификаторы пломб, соответствие номера контейнера и типа ТВС, указанным в «Требовании» и «Этикетке» на контейнер. Учет поступивших/отправленных контейнеров с СТВС ведет ответственный хранитель топлива в «Журнал учета СТВС на энергоблоке».

При выгрузке СТВС из контейнера проводится сверка фактического заводского знака маркировки на СТВС с регистрационным номером, указанным в этикетке на разгружаемый контейнер и «Этикеткой», подготовленной для закрепления на СТВС. Контролируется состояние чехла СТВС. Производится входной контроль СТВС согласно «Инструкции по входному контролю «свежих» тепловыделяющих сборок (ТВС)».

При положительных результатах сверки и осмотра, СТВС помещается на стенд-накопитель и на нее прикрепляется «Этикетка».

Учет каждой выгруженной СТВС ведется в «Журнале учета СТВС на энергоблоке», регистрируется знак заводской маркировки СТВС.

Сборка топливного модуля производится в центральном зале в узлах сборки на стенке энергоблока. На собранный топливный модуль оформляется паспорт.

Загрузка СТВС в реактор, и выгрузка ОТВС из реактора производится по заданию, записанному в журнал перегрузки реактора.

В журнале указывается:

- дата выгрузки ОТВС, заводской знак маркировки ОТВС, номер смены, производившей выгрузку, координаты ОТВС в БВК блока, номер бирки.

- дата загрузки СТВС в реактор, заводской знак маркировки СТВС, номер смены, производившей загрузку.

На основании записей в журнале перегрузки и в оперативной документации РЦ ведется контроль загрузки-выгрузки ТВС.

Для учета и контроля загрузки-выгрузки ТВС ведется:



- ведомость перегрузки реактора;
- журнал перегрузок ТВС по весам блока;
- учетная карта ТВС;
- карта истории перегрузок ТК;
- картограмма загрузки реактора;
- база данных по ядерным материалам.

В РЦ загрузка должна быть оформлена в:

- журнале движения СТВС в ЦЗ энергоблока;
- журнале учета специзделий в ЦЗ энергоблока.

Для перегрузки ядерного топлива на энергоблоке с РБМК предназначена специальная РЗМ. Она обеспечивает выполнение следующих операций:

- перегрузку ТВС на работающем и расхоленном ядерном реакторе;
- проверку на проходимость тракта технологического канала калибром, имитирующим штатную ТВС.

Процесс перегрузки состоит из следующих основных операций. С места стоянки РЗМ подается к стенду. После остановки из соответствующих гнезд последовательно забирается в пеналы калибр и технологическая пробка. Затем производится заполнение скафандра РЗМ конденсатом. После этого стыковочный патрубок скафандра стыкуется и уплотняется с головкой необходимого гнезда стенда, в котором до этого установлена свежая ТВС, предназначенная для загрузки. Гнездо и стыковочный патрубок заполняются конденсатом, открывается запорное устройство, свежая ТВС втягивается в пенал магазина, закрывается запорное устройство, конденсат из стыковочного патрубка и гнезда сбрасывается в канализацию.

После расстыковки с гнездом стенда РЗМ подается к реактору для перегрузки необходимого технологического канала и автоматически выходит на его координаты. Так же, как и на стенде, патрубок РЗМ стыкуется и уплотняется с головкой канала, подлежащего перегрузке. После этого стыковочный патрубок заполняется конденсатом, открывается запорное устройство и подпиточный насос создает в скафандре давление, несколько превышающее давление в канале.

Захват опускается вниз и сцепляется с головкой ТВС. Затем с помощью механизма герметизации и разгерметизации производится разгерметизация канала. Механизм подъема переводит ТВС на высоту 7,5 м в зону расхолаживания, где выдерживается 10 минут. Расхолаживание осуществляется холодным конденсатом, который начинает поступать в канал сразу в момент разгерметизации канала.

По окончании выдержки ТВС в зоне расхолаживания механизм втягивает ТВС в скафандр, и она устанавливается в пенале магазина. Калибром проверяется проходимость технологического канала в ядерный реактор, и затем в него опускается свежая ТВС. Канал герметизируется, включая подпиточный насос, давление в скафандре сбрасывается до атмосферного. Закрывается запорное устройство, проверяется герметизация канала, из полости стыковочного патрубка удаляется конденсат. После разуплотнения и расстыковки патрубка РЗМ с отработавшей ТВС направляется к узлу приема ТВС. В случае, когда намечена дальнейшая эксплуатация извлеченной ТВС в другой точке активной зоны, РЗМ перемещается к новому технологическому каналу. В узле приема отработавших ТВС, в одном из его гнезд, установлен чехол БВК, заполненный конденсатом.

РЗМ автоматически наводится на координаты подготовленного чехла и после операций стыковки, уплотнения, заполнения стыковочного патрубка конденсатом, выгрузки отработавшей ТВС из скафандра в чехол и расстыковки РЗМ готова к перегрузке следующей ТВС.

Отработавшие ТВС, выгруженные из реактора, размещаются в бассейнах выдержки кассет на блоке с присвоением каждой ОТВС индивидуального номера, выбитого на бирке, прикрепленной к ней. В журнале учета движения специзделий в БВК энергоблока по номеру бирки можно идентифицировать заводской номер ОТВС и её координаты местоположения в БВК.

Учет ОТВС, их передвижение по бассейну, из одного БВК в другой ведется в журнале учета движения специзделий в БВК энергоблока.

Передача ОТВС в ЗК производится по утвержденной программе. Выдача ОТВС в ЗК и возврат её в БВК фиксируется в журнале учета движения специзделий в БВК энергоблока, в учетной карте ТВС и БД и в «Журнале операций с ОТВС в ЗК».

В журнале операций с ОТВС в ЗК энергоблока указывается:

- дата поступления ОТВС;
- заводской знак маркировки ОТВС;
- операции с ОТВС;
- в каком виде УЕ передается в БВК (ОТВС или ПТ в ампулах);
- номера ампул с ПТ;
- дата возврата УЕ в БВК.

После окончания работ с ОТВС в ЗК в службу учета и контроля направляются оформленные акты:

- акт размещения и состояния УЕ после окончания работы с ОТВС в ЗК с указанием паспортных значений масс ЯМ, утвержденный главным инженером;
- акт отражающий состояние УЕ.

Отправка ОТВС в ХОЯТ производится на основании:

- технического распоряжения, утвержденного директором АЭС;
- графика вывоза ОЯТ с энергоблоков в ХОЯТ;
- списка ОТВС разрешенных к вывозу в ХОЯТ с энергоблока.

В техническом распоряжении указывается энергоблок, с которого вывозят ОТВС, количество вывозимых ОТВС и их характеристики. В графике вывоза ОЯТ с энергоблоков в ХОЯТ указывается дата вывоза, количество мест в чехле и энергоблок, с которого будут вывезены ОТВС. В списке ОТВС, разрешенных к вывозу в ХОЯТ с энергоблока указывается архивный номер, заводской знак маркировки, энерговыработка.

На основании списка ОТВС, разрешенных к вывозу в ХОЯТ с энергоблока ОТВС из БВК загружают в чехол для транспортирования и

оформляется отгрузочная ведомость, устанавливаются с двух сторон пломбы на вагон-контейнер.

Подготовленную отгрузочную ведомость подписывает МОЛ РЦ, после чего МОЛ при внутриванционных перевозках ставит подпись о принятии.

В РЦ учет отправленных в ХОЯТ ОТВС ведется в:

- журнале учета движения специзделий в БВК;
- журнале отправки ОТВС с энергоблока.

Каждую смену ведется количественный учет ЯМ во всех местах нахождения ТВС в РЦ в журнале учета специзделий в ЦЗ энергоблока. Учет ЯМ осуществляется путем поштучного пересчета ТВС и их идентификации по заводским знакам маркировки.

## **2.8 Описание технологических операций в ХОЯТ**

После завершения операций на энергоблоке по загрузке ОТВС в вагон-контейнер, ответственный хранитель ЯМ производит установку пломб на вагон-контейнер и оформляет отгрузочную ведомость отправки ОТВС с энергоблока в ХОЯТ с занесением номеров пломб.

МОЛ ХОЯТ производит внешний осмотр вагонов, проверяет целостность установленных пломб, сверяет номера установленных пломб с номерами в отгрузочной ведомости. При отсутствии замечаний по результатам внешнего осмотра вагонов и совпадении индивидуальных номеров пломб МОЛ ХОЯТ подписывает и забирает отгрузочную ведомость и сопровождает вагон-контейнер до ХОЯТ. Расписываясь в отгрузочной ведомости МОЛ ХОЯТ осуществляет предварительную приемку ЯТ на ответственное хранение.

Загруженные в вагон-контейнер ОТВС принимаются в помещении приемки, где хранятся до выгрузки в шахту помещения БПК.

До разгрузки вагона-контейнера производится внешний осмотр вагона, проверяется наличие, целостность и проводится сверка индивидуальных

номеров установленных пломб на соответствие записанных в отгрузочной ведомости. В отгрузочной ведомости перечислены заводские, архивные номера ОТВС, номера бирок, загруженных в чехол, координаты размещения ОТВС в чехле вагона-контейнера, энерговыработка ОТВС и герметичность ОТВС.

При отсутствии нарушений по результатам внешнего осмотра, совпадений индивидуальных номеров пломб, разрешение на разгрузку вагона-контейнера дается после сравнения характеристик и номеров ОТВС в отгрузочной ведомости с:

- техническим распоряжением;
- списком ОТВС разрешенных к вывозу в ХОЯТ с энергоблока.

Учет поступивших ОТВС ведется в журнале учета специзделий.

ОТВС вместе с чехлом выгружаются из вагона-контейнера и размещаются в шахте БПК. После выгрузки ОТВС из чехла и считывания заводского знака маркировки ОТВС производится сравнение с данными в отгрузочной ведомости и данными в списке ОТВС разрешенных к вывозу в ХОЯТ с энергоблока. При отсутствии отличий ОТВС размещаются в накопительном бассейне БПК.

При обнаружении отличий в маркировке поступившей ОТВС от маркировки в отгрузочной ведомости и данными в списке ОТВС разрешенных к вывозу в ХОЯТ с энергоблока немедленно сообщается в службу учета и контроля и принимаются меры по выяснению причины и устранению установленных отклонений.

После выгрузки всех ОТВС из чехла и при отсутствии замечаний ЯМ принимаются на учет.

Расстановка ОТВС в бассейнах ХОЯТ осуществляется в соответствии с заданием. Производится запись в журнале перемещений пеналов с ОТВС и суточной ведомости, содержащую информацию о дате и месте установки ОТВС в бассейне выдержки. Координаты ОТВС после расстановки заносятся в журнал поступления и расстановки ОТВС и в суточную ведомость перестановки.

Учет ОТВС ведется в следующей документации:

- журнал учета специзделий;
- журнал поступления и расстановки;
- суточная ведомость перестановки;
- журнал передачи;
- журнал поступления.

Уплотнение и перестановка ОТВС в БВ КК ХОЯТ осуществляется в соответствии с заданием. Данные об уплотнении (перестановках) ОТВС оформляются в суточной ведомости перестановки.

В службе учета и контроля ведется учет ОТВС, хранящихся в ХОЯТ в учетной карте ТВС.

Во время приемки ОТВС в УР ОТВС визуально (при помощи телекамер ЗК) считывается заводской знак маркировки передаваемых ОТВС. При совпадении номера ОТВС, отправленной из УЭ, и номера ТЦ с данными, переданными из УЭ ХОЯТ, ставится подпись в журнале приема и перестановки и журнале передачи в установленном порядке, следовательно, ЯМ поступают на ответственное хранение в УР ОТВС ЦХОЯТ.

При несовпадении номера ОТВС в УР ОТВС необходимо вернуть ОТВС в УЭ и сделать соответствующую запись в журнале передачи.

Возвращаемые ОТВС из накопителя ЗК или разделанные на ПТ и помещенные в ампулы передают в БПК с оформлением записи в журнале возврата в установленном порядке, ЯМ поступают на ответственное хранение в УЭ ХОЯТ.

Годные к разделке ОТВС переводятся в накопители ЗК или сразу помещаются в пенал-кантователь для дальнейшей резки ОТВС на ПТ.

После установки порожнего чехла в ЗК УР ОТВС необходимо заполнить новый журнал приема и перестановки на установленный чехол УКХ. В журнале учета регистрируется суммарное количество ОТВС и ПТ в ЗК. Перемещения и изменения состояния ОТВС, связанные с приемкой, разделкой, загрузкой в УКХ оформляются в учетной документации УР ОТВС. Оформление и ведение

журнала приёма и перестановки контролируется персоналом службы учета и контроля.

После загрузки чехла УКХ ампулами с ПТ проводится визуальная сверка всех номеров ампул и соответствующих им номеров гнезд в чехле с данными картограммы чехла, составленной на основании журнала приёма и перестановки и акта входного контроля порожнего УКХ. При наличии расхождений в картограмму заносятся номера ампул, полученные путем визуального осмотра, выясняется причина несоответствия и вносятся соответствующие исправления в учетную документацию.

По результатам проверки оформляется картограмма размещения заполненных ампул в УКХ. Полностью оформленная картограмма передается в службу учета и контроля для оформления акта создания УЕ УКХ.

Перед подачей порожнего УКХ в УР ОТВС проводится снятие картограммы номеров порожних ампул, загруженных в гнезда чехла УКХ. Данные картограммы сверяются со списком паспортов на ампулы соответствующего чехла в УКХ. Производится проверка на совпадение номеров порожних ампул с номерами ампул, поступивших на АЭС ранее.

При отсутствии замечаний выпускается акт входного контроля УКХ с картограммой размещения порожних ампул в чехле УКХ. После загрузки чехла с ампулами с ПТ в УКХ и отстыковки от узла загрузки в УХ МБК ХОЯТ принимают ЯМ на ответственное хранение, расписываясь в журнале приёма и перестановки и заносится новая запись в журнал учета.

На подготовленный для хранения УКХ наносится уникальный идентификационный номер УЕ, и устанавливается пломба. Дата приемки УКХ в УХ МБК является датой формирования учетной единицы УКХ. Далее УКХ транспортируется в хранилище. В журнал учета и журнал приема и перестановки заносятся координаты расположения УКХ в хранилище, идентификатор УЕ, номер установленной на УКХ пломбы. Выпускается акт снятия с учета разделанных ОТВС при образовании новой УЕ УКХ.

Перед отправкой УКХ из УХ МБК производится сборка в ТУК из отправляемого УКХ и ЗДК. Дата установки ЗДК на УКХ является датой формирования ТУК. Выпускается акт снятия с учета УЕ УКХ при создании новой УЕ ТУК.

После погрузки ТУК с ОЯТ на ж/д транспортер, перед выездом ж/д транспортера из УХ МБК ХОЯТ перестановка ТУК регистрируется в журнале приема и перестановки и журнале перестановки транспортеров на внутростанционных ж/д путях.

Передача ЯМ с АЭС в сторонние организации сопровождается оформлением:

- предварительных уведомлений организации-получателя о планируемых сроках отправки груза с указанием способа транспортирования или планов, графиков поставки, подписанных руководителями организации - отправителя и организации - получателя;

- предварительных уведомлений территориального подразделения Ростехнадзора, осуществляющего надзор за организацией-отправителем;

- разрешения на перемещение ЯМ от ГК «Росатом»;

- сопроводительной документации.

ЯМ снимаются с учета и ответственного хранения при передаче ответственному сопровождающему полного комплекта оформленной надлежащим образом сопроводительной документации.



## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Достижение коммерческой привлекательности обеспечивается решением следующих задач:

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

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Результатом исследования является разработка модели технологических процессов обращения ядерного топлива на АЭС. Целевым рынком данного исследования будут являться Томский политехнический университет.

#### **4.1.2 Технология QuaD**

Технология QuaD представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии лежит нахождение средневзвешенной величины групп показателей. Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
Показатели оценки качества разработки					
Унифицированность	0,1	80	100	0,8	8
Надежность	0,12	85	100	0,85	10,2
Уровень материалоемкости разработки	0,04	55	100	0,55	2,2
Безопасность	0,15	90	100	0,9	13,5
Предоставляемые возможности	0,05	65	100	0,65	3,25
Простота эксплуатации	0,12	85	100	0,85	10,2
Конкурентоспособность продукта	0,12	70	100	0,7	8,4

Продолжение таблицы 5:

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Уровень проникновения на рынок	0,1	75	100	0,75	7,5
Перспективность рынка	0,1	80	100	0,8	8
Стоимость разработки	0,1	70	100	0,7	7
Итого	1				78,25

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле (5):

$$P_{cp} = \sum V_i B_i = 78,25, \quad (5)$$

где  $P_{cp}$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 59 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

В данном случае, перспективность разработки считается выше средней, так как значение показателя качества и перспективности научной разработки 78,25.

### 4.1.3 SWOT-анализ

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

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

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.

Сильными сторонами исследования можно назвать следующие свойства и особенности:

- актуальность исследования;
- согласованность с известными исследованиями;
- наличие квалифицированных кадров.

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.

Слабыми сторонами исследования можно назвать следующие свойства и особенности:

- недостаточность условий для полного рассмотрения вопроса;
- отсутствие представления о реальном рынке поставщиков;
- закрытые сведения о реальных объектах исследования.

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.

К возможностям данного проекта можно отнести:

- свободный доступ;
- простота в освоении;
- изменение внешней политики.

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 качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

К угрозам можно отнести:

- поломка ЭВМ;
- отсутствие коммерческого интереса к проекту;
- недостаточная точность расчетов.

В таблице 6 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	-	+	-
	B2	+	-	0
	B3	+	0	-

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

В таблице 7 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 7 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны: С1 – актуальность исследования;</p> <p>С2 – согласованность с известными исследованиями;</p> <p>С3 – наличие квалифицированных кадров.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1 – недостаточность условий для полного рассмотрения вопроса;</p> <p>Сл2 – отсутствие представления о реальном рынке поставщиков;</p> <p>Сл3 – закрытые сведения о реальных объектах исследования.</p>
<p>Возможности: В1 – свободный доступ;</p> <p>В2 – простота в освоении;</p> <p>В3 – изменение внешней политики.</p>	<p>В1С1С2. Высокая вероятность успеха</p> <p>В2С1С2С3. Широкие возможности для получения консультации по работе</p> <p>В3С1. Использование международного опыта для повышения эффективности работы.</p>	<p>В1Сл1. «Оторванность» работы от реальных условий производства</p> <p>В3Сл1. Анализ заграничного опыта по созданию виртуальных тренажеров.</p>
<p>Угрозы: У1 – поломка ЭВМ;</p> <p>У2 – отсутствие коммерческого интереса к проекту;</p> <p>У3 – недостаточная точность расчетов.</p>	<p>У2У3С1С2. Возможность непригодности проекта.</p> <p>У1С2. Изменение уровней защиты, в т.ч., защиты информации.</p>	<p>У1У2Сл1Сл2. Контроль доступа к информации.</p> <p>У3Сл3. Высокая вероятность ошибочных действий</p>

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является

стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Эта стратегия выбрана, так как необходимо найти стабильный рынок заказов и сбыта товара.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Этапы выполнения работ и распределение по исполнителям

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Рассмотрение подобных реализованных моделей	Инженер
	7	Выбор концепции, структурирование работы	Руководитель, инженер
	8	Проведение анализа	Инженер
	9	Организация взаимодействия	Инженер

Продолжение таблицы 8:

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Проведение моделирования			
Разработка технической документации и проектирование	10	Составление плана гипотетического объекта	Инженер
	11	Визуализация	Инженер
Испытание проекта	12	Оценка эффективности	Руководитель, инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
	14	Подготовка презентации	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула (6):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (6)$$

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

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

$t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$  (7), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (7)$$



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

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (8):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал} , \quad (8)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (9):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} , \quad (9)$$

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

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

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели осуществления комплекса работ

№ работы	Продолжительность работ, чел-дни			Исполнители	Длительность в раб днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$			
1	1	3	2	Руководитель	2	2
2	12	16	14	Инженер	14	17
3	1	3	2	Инженер	1	1
4	1	3	2	Руководитель, инженер	2	2
5	8	14	10	Руководитель, инженер	10	13
6	10	15	12	Инженер	6	7
7	2	5	3	Руководитель, инженер	2	2
8	1	3	2	Инженер	2	2
9	4	7	5	Инженер	5	6
10	15	20	17	Инженер	17	21
11	3	6	4	Инженер	2	2
12	7	10	8	Руководитель, инженер	8	10
13	5	8	6	Инженер	3	4
14	4	6	5	Инженер	5	6
Итого					73/14	

На основе полученных выше расчетов строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работы в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования. Календарный план-график проведения ВКР представлен в таблице 10. Как видно из календарного план-графика проведения ВКР, выполнение работы проводилось в течение всего времени, которое выделили на выполнение ВКР.

Таблица 10 – План-график работ

№ работ	Исполнители	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ		
			апрель, май		
			1	2	3
1	Руководитель	2	■		
2	Инженер	4	□		
3	Инженер	2	□		
4	Руководитель, инженер	1;1	■ □		
5	Руководитель, инженер	1;1	■ □		
6	Инженер	2		□	
7	Руководитель, инженер	1;1		■ □	
8	Инженер	4		□	
9	Инженер	2		□	
10	Инженер	2			□
11	Инженер	4			□
12	Руководитель, инженер	1;1			■ □
13	Инженер	4			□
14	Инженер	2			□

#### 4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

#### 4.2.5 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (10):

$$Z_{\text{мат}} = (1 + k_T) \sum C_i * N_{\text{расхи}}, \quad (10)$$

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, м<sup>2</sup> и т.д.);

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

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

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 11.

Основные работы для ВКР проводились за рабочим местом. Время, проведенное за работой: 100 часов. Мощность рабочих станций: 0,5 кВт.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

#### 4.2.6 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую работу включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных

производств, непосредственно участвующих в выполнении работ. Расчеты включает основную заработную плату работников (таблица 12), непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату (1):

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (11)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле (12):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} + T_p, \quad (12)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (13):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m M}{F_d}, \quad (13)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	55	45
Действительный годовой фонд рабочего времени	244	254

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле (14):

$$Z_m = Z_{тс} (1 + k_{пр}) k_p, \quad (14)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по КПП, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	29300	0,3	1,3	49517	2060	14	28880
Инженер	12130	-	1,3	15769	657	73	47961
Итого							76841

#### 4.2.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле (15):

$$Z_{доп} = k_{доп} Z_{осн}, \quad (15)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	28880	3466
Инженер	0,12	47961	5755
Итого			9221

#### 4.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников (таблица 15). Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (16):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (16)$$

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

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2018 году водится пониженная ставка – 30,2%.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	28880	47961
Дополнительная заработная плата, руб.	3466	5755
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Сумма отчислений	9768	16222
Итого	25990	

#### 4.2.9 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле (17):

$$C = C_{\text{эл}} F_{\text{об}} P = 5,8 * 0,5 * 100 = 290 \text{ руб.} \quad (17)$$

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

$P$  – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 290 рублей.

Все прочие затраты организации приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Прочие затраты организации

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Электричество	кВт*ч	50	5,8	290
Печать	шт.	200	3	600
Доступ в интернет	месяц	2	350	700
Итого				1590

Накладные расходы в целом рассчитываются по формуле (18):

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_m + Z_{\text{мат}}) \quad (18)$$
$$= 0.2 * (76841 + 9221 + 1590 + 8290) = 19188 \text{ руб.}$$

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

#### 4.2.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при



формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты НТИ	8290
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	76841
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9221
Отчисления во внебюджетные фонды	25990
Накладные расходы	19188
Затраты на научные и производственные командировки	-
Контрагентные расходы	-
Бюджет затрат НТИ	139530

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (19)$$

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

$\Phi_{\text{pi}}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

Сравнение проводилось с предполагаемым аналогом исследования, бюджет которого составил 189728 руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{139530}{189728} = 0,73 \quad (20)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает удешевление стоимости разработки. Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 18).

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик исполнения проекта

Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп.2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	5
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5
Унифицированность	0,05	2	3
Безопасность	0,2	4	5
Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп.2
Надежность	0,25	4	4
Перспективность	0,15	3	4
Итого	1		

$$I_{p\text{-исп}1} = 5 * 0,25 + 4 * 0,1 + 2 * 0,05 + 4 * 0,2 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 = 4$$

$$I_{p\text{-исп}2} = 5 * 0,25 + 5 * 0,1 + 3 * 0,05 + 5 * 0,2 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,5$$

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{исп}i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (21):

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}}; I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}} \text{ и т. д.} \quad (21)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} \quad (22)$$

Таблица 19 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,73
2	Интегральный показатель эффективности разработки	4	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	4	7,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,5	1,975

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Таким образом, вариант, приведенный в исследовании, является наиболее эффективным.

## Список публикаций студента

1. Разработка виртуальной модели технологических процессов обращения с ядерными материалами на АЭС / А. И. Татолина, Б. П. Степанов // Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2020 сборник научных трудов VII Международной молодежной научной конференции, посвященной 100-летию Уральского федерального университета, г. Екатеринбург, 18-22 мая 2020 г.