

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

---

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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Обеспечение безопасности при эксплуатации ядерной установки на атомной станции</b>

УДК 621.039.58:621.311.25:621.039.54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5Б	Ли Чэнь		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Общекультурные компетенции</b>	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

<b>Профессиональные компетенции</b>	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов

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

---

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ФЭУ  
\_\_\_\_\_ Долматов О.Ю.  
(Подпись) (Дата)

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

В форме:

Магистерской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ5Б	Ли Чэнь

Тема работы:

Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	от 24.05.17 №3673/с
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	08.06.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– действующие АЭС и типы реакторов в Китае;</li><li>– процедур учёта и контроля, физической защиты ядерных материалов;</li><li>– план объекта;</li><li>– требований по обеспечению безопасности при обращении ядерного топлива АЭС;</li></ul>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Изучение особенностей ядерно-топливного цикла, процессов обращения ядерных материалов в Китае;</li><li>– Рассмотрение процедур учёта и контроля, физической защиты ядерных материалов при эксплуатации ядерной установки на АЭС;</li><li>– Разработка требований по обеспечению безопасности при обращении ядерного топлива АЭС с учетом национальных особенностей;</li><li>– Проведение работ по формированию требований к системе физической защиты на гипотетическом ядерном объекте, разработка проекта оснащения границ охраняемых зон на</li></ul>

	данном объекте.
<b>Перечень графического материала</b>	схема ядерного объекта
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Safety in the operation of a nuclear facility at a nuclear power plant	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику:</b>	13.03.2017
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Б.П. Степанов	к.т.н.		13.03.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5Б	Ли Чэнь		13.03.2017

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Ли Чэнь

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>	
---	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.04.2017
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.э.н.		01.04.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Ли Чэнь		01.04.2017

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0AM5B	ФИО Ли Чэнь
-----------------	----------------

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.04.2017
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		01.04.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Ли Чэнь		01.04.2017

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 126 страниц, 15 рисунков, 24 таблиц, 35 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: ядерная энергетика, ядерные топлива, ядерно-топливный цикл, ядерный объект, ядерный материал, система физической защиты, система учета и контроля, комплекс инженерно-технических средств физической защиты.

Объектом исследования являются технологии ядерно-топливного цикла.

Цель работы – обеспечение безопасности при эксплуатации ядерной установки на АЭС.

В процессе исследования проводился изучение особенностей ядерно-топливного цикла в Китае. Выполнен анализ нормативно-правовых документов по вопросам организации и функционирования систем физической защиты и систем учета и контроля ядерных материалов на ядерном объекте. Проведено формирование требований к системе физической защиты и оснащение элементами комплекса инженерно-технических средств физической защиты периметра предприятия по переработке отработавшего ядерного топлива.

В результате были получены данные, позволяющие проводить разработку требований по обеспечению безопасности при эксплуатации АЭС, а также выполнять работы по оснащению комплексом инженерно-технических средств физической защиты границ охраняемых зон на ядерном объекте.

## **Список сокращений**

АКПП – автомобильный контрольно-пропускной пункт

ВЗ – внутренняя зона

ЖДКПП – железнодорожный контрольно-пропускной пункт

ЗЗ – защищенная зона

ЗЯТЦ – закрытый ядерный топливный цикл

ЗБМ – зона баланса материалов

ИСБ – интегрированная система безопасности

ИСФЗ – инженерные средства физической защиты

ИТСФЗ – инженерно-технические средства физической защиты

КПП – контрольно-пропускной пункт

КСП – контрольно-следовая полоса

КТИ – ключевая точка измерений

ЛКПП – людской контрольно-пропускной пункт

ЛПУ – локальная пункт управления

НСД – несанкционированные действия

ОВ – сведения «особой важности»

ОВЗ – особо-важная зона

ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка

ОЯТ – отработанное ядерное топливо

ПНСД – последствия несанкционированных действий

ПФЗ – предмет физической защиты

ПХЯМ – пункт хранения ядерных материалов

РХЗ – радиохимический завод

РАО – радиоактивные отходы

УК – учет и контроль

ХСТ – хранилище свежего топлива

СКД – средства контроля доступа

СКУД – система контроля и управления доступом

СО – средства обнаружения  
СОСО – система оперативной связи и оповещения  
СОС – система охранной сигнализации  
СОЭН – система оптико-электронного наблюдения  
СФЗ – система физической защиты  
ТВС – тревожно-вызывная сигнализация  
ТВЭЛ – тепловыделяющие элементы  
ТСФЗ – технические средства физической защиты  
ТУК – транспортный упаковочный контейнер  
ФБ – физические барьеры  
ФЗ – физическая защита  
ЦПУ – центральный пункт управления  
ЯМ – ядерный материал  
ЯО – ядерный объект  
ЯТЦ – ядерный топливный цикл  
ЯУ – ядерная установка

## Содержание

Реферат.....	8
Введение.....	13
1 Особенности ядерно-топливного цикла в Китае.....	15
1.1 Китайские реакторы и АЭС.....	15
1.2 Ядерные реакторы.....	18
1.3 Ядерный топливный цикл.....	21
1.3.1 Источники урана, добыча и извлечение.....	22
1.3.2 Обогащение урана.....	23
1.3.3 Изготовление ТВЭЛов и ТВС.....	25
1.3.4 Обращение с отработанным топливом.....	27
1.3.5 Перемещение ОЯТ на переработку на завод.....	30
2 Обращения ядерного топлива в ЯТЦ.....	35
2.1 Специальное обращение ядерных материалов.....	35
2.2 Учёта и контроля ядерных материалов на стадиях ЯТЦ.....	37
2.3 Этапы обращения ядерного топлива на АЭС.....	44
2.4 Требования нормативной документации в области учёта, контроля и физической защиты ЯМ в России и Китае.....	46
3 Выполнение требований по обеспечения безопасности на заводе по переработке ОЯТ.....	54
3.1 Описание методов проведения исследования.....	54
3.1.1 Описание ядерного объекта по переработке топлива.....	54
3.1.2 Предметы физической защиты.....	61
3.1.3 Выделение охраняемых зон на гипотетическом ядерном объекте.....	62
3.1.4 Модель нарушителя и сценарий действий.....	64
3.2 Оснащение периметра охраняемой зоны.....	67
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	71
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	71

4.2 SWOT-анализ.....	73
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	77
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	77
4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	77
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	82
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	85
5 Социальная ответственность.....	89
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	89
5.2 Разработка мероприятий по снижению уровней вредного и опасного воздействия и устранения их влияния при работе на ПЭВМ.....	91
5.2.1 Требование и организация работ на ПЭВМ.....	91
5.2.2 Технические мероприятия.....	91
5.2.3 Условия безопасной работы.....	93
5.3 Электробезопасность.....	95
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	96
Список публикаций студента.....	99
Заключение.....	100
Список использованных источников.....	101
Приложение Б.....	106
Abstract.....	107
1 Nuclear power in China.....	108
2 Nuclear reactors.....	110
3 Nuclear fuel cycle.....	112
3.1 Design and Performance of PWR and BWR Fuel.....	116
4. Treatment of nuclear fuel in the nuclear fuel cycle.....	120
4.1 Nuclear waste management.....	120
4.2 Spent nuclear fuel reprocessing.....	122

## **Введение**

Согласно сделанным прогнозам в различных странах, в ближайшее время ожидается увеличение мощности АЭС в мире в несколько раз. Это приведет не только к быстрому темпу производства урана и плутония, но и к росту облученного топлива.

Для современных ядерных объектов актуальными вопросами являются обеспечение безопасного обращения ядерных материалов. Обращение с большим количеством ядерных материалов требует строгой системы учёта и контроля их накопления, хранения, перемещения и иного использования. Кроме того, необходимо обнаруживать нарушения при их использовании на АЭС, а также обеспечение их надежной защиты от любых попыток неразрешенного доступа и применения.

Основной задачей и целью безопасности на всех этапах жизненного цикла АЭС является комплекс конкретных действий по её достижению. Их выполнение направлено на обеспечение нормальной эксплуатации, недопущение нарушения условий работы агрегатов, предотвращение возникновения любых аварийных ситуаций, аварий.

В работе впервые подробно на основе нормативных документов, действующих в России и Китае, рассматриваются принципы построения и создание эффективных систем физической защиты (СФЗ), обеспечение учета и контроля ЯМ в государственной системе учета и контроля материалов. Это обусловлено необходимостью пресечения на ранних стадиях возможных диверсионных террористических акций в отношении ЯМ, а также любого вида несанкционированного вмешательства в технологический процесс или работу ЯУ посторонних лиц или персонала ЯО. Применение норм и требований в данной области имеет национальные особенности и правильное их использование носят практическую значимость.

**Поэтому целью** данной работы являются вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации ядерной установки на АЭС.

В работе необходимо выполнить следующие **задачи**:

- изучение особенностей ядерно-топливного цикла, процессов обращения ядерных материалов в Китае;
- рассмотрение процедур учёта и контроля, физической защиты ядерных материалов при эксплуатации ядерной установки на АЭС;
- разработка требований по обеспечению безопасности при обращении ядерного топлива АЭС с учетом национальных особенностей;
- проведение работ по формированию требований к системе физической защиты на гипотетическом ядерном объекте, разработка проекта оснащения границ охраняемых зон на данном объекте.

## 1 Особенности ядерно-топливного цикла в Китае

### 1.1 Китайские реакторы и АЭС

Работы по ядерно-энергетической программе в КНР начались только в 1970-х гг. 8 февраля 1970 года Китай открыл свою первую атомную электростанцию, и был основан 728 институт (сейчас он называется Шанхайский инженерно-конструкторский институт ядерных исследований). 15 декабря 1991 года начал работу первый ядерный реактор Китая мощностью 288 МВт (водо-водяной ядерный реактор) в Циньшанской АЭС и введён в промышленную эксплуатацию в 1994 г.

По состоянию на март 2017 года, Китай имеет 36 ядерных реакторов, размещённых на 14 АЭС, работающих с мощностью 31,4 ГВт, также 21 блок находится в стадии строительства и примерно 30 запланировано. Национальная комиссия по развитию и реформам Китая сообщил о намерении поднять процент электроэнергии Китая производимого ядерной энергетикой с нынешних 2% до 6% к 2020 году.

Атомные станции Китая построены с использованием различных реакторных технологий, которые показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Действующие АЭС и типы реакторов в Китае

АЭС	Тип реактора	Пуск
Циньшань-1	CNP-300	1991
Циньшань-2	4×CNP-600	2002-2011
Циньшань-3	2×CANDU-6	2002
Дайябейская	2×M310	1993
Линьао	2×M310	2002
	2×CPR-1000	2010
Тяньваньская	2×ВВЭР-1000	2007
Ниндэ	4×CPR-1000	2012-2016

Продолжение таблицы 1

Хуньяньхэ	3×CPR-1000	2013-2015
Янцзян	3×CPR-1000	2013-2015
Чанцзян	2×CNP-600	2015
Фанчэнган	2×CPR-1000	2015
Фуцин	2×CNP-1000	2014-2016
Фанцзяшань	2×CPR-1000	2014
Саньмэнь	2×AP1000	2009

Китай собирается увеличить число ядерных реакторов до 110 к 2030 году и стать одним из крупнейших в мире потребителей атомной энергии. Согласно проекту плана 13-й пятилетки (2016-2020) Китай выделит 500 млрд юаней (78 млрд долларов) на строительство атомных станций с использованием своих ядерных технологий, прибавляя от шести до восьми атомных реакторов ежегодно, начиная с 2016 года [1].

Официальной информации о предпочтительных конструкциях реакторов будущих атомных станций нет, но в текущих планах преобладают два типа: китайский проект CPR-1000 и AP-1000 разработки Westinghouse Electric. Американский реактор должен стать трамплином к освоению Китаем технологий Generation III. Сейчас, помимо четырёх строящихся энергоблоков с AP-1000 на АЭС Хайян и АЭС Саньмень, запланированы ещё как минимум восемь реакторов этого типа на четырёх площадках, но уже с передачей технологии и локализацией производства. Без передачи технологии два реактора EPR строятся в провинции Гуандун.

В Китае был пройден первый этап разработки технологии быстрых реакторов: в декабре 2014 года на полную мощность вышел китайский экспериментальный быстрый реактор. В 2023 году в эксплуатацию планируется сдать инновационный реактор CFR-600 (Китайский демонстрационный быстрый реактор). Кроме того, на стадии предварительного технического проектирования находится китайский реактор со свинцовым теплоносителем

## CLEAR-I.

А также по графику идет строительство и изготовление основных компонентов высокотемпературного модульного реактора с шаровыми твэлами (HTR-PM). Эта промышленная демонстрационная энергетическая установка мощностью 200 МВт (эл.), состоящая из двух реакторных блоков мощностью 250 МВт (тепл.), как ожидается, будет введена в эксплуатацию к концу 2017 года. В настоящее время проектируется коммерческая АЭС мощностью 600 МВт (эл.), и уже определены возможные площадки для ее размещения. Создана устойчивая технология изготовления топлива, и в 2014 году были завершены международные испытания с облучением шаровых твэлов, а также запланированы испытания в аварийных условиях. Завершено строительство, и состоялся ввод в эксплуатацию завода по изготовлению топлива в Баотоу, а начало производства топлива намечено на 2016 год [1].

Сейчас в Китае существуют пять основных задач, требующих скорейшего решения:

- создание современной нормативной базы для обращения с ОЯТ;
- поддержка инновационных технологий переработки;
- строительство новых объектов ЗЯТЦ;
- совершенствование системы финансирования деятельности по переработке ОЯТ;
- развитие логистических возможностей.

Так, по нормативной базе САЕА предлагает разработать и принять всеобъемлющие нормы обращения с ОЯТ. В этой сфере у Китая нормативная база сегодня слаба, есть только два документа по транспортировке ОЯТ и несколько промышленных стандартов.

Переговоры с Францией о строительстве перерабатывающего комплекса производительностью 800 тонн ОЯТ в год ведутся с 2007 года, но до сих пор нет ясности с тем, увенчаются ли успехом. До тех пор, пока Китай не освоит переработку ОЯТ в промышленных масштабах, необходимо прибегнуть к

среднесрочному решению.

В настоящее время большинство выгруженных кассет на китайских АЭС хранится в бассейнах выдержки, хотя построены и два централизованных хранилища в провинции Ганьсу. Это так называемый объект 404, предназначенный для хранения 1300 тонн ОЯТ. По прогнозам, объект будет полностью заполнен уже в следующем году. Вскоре должно быть построено и третье централизованное хранилище на 1200 тонн ОЯТ, первые контейнеры с облучённым топливом начнут прибывать туда в 2020 году.

Гораздо хуже дело обстоит с логистикой. Единственная компания, имеющая право перевозить облучённое топливо в Китае - "CNNC Qingyuan Corp". Компания располагает тремя транспортно-упаковочными контейнерами, все они куплены за рубежом.

В дальнейшей перспективе Китай будет способствовать использованию ядерной энергетики, причем стратегия развития будет иметь три этапа: сначала тепловые реакторы, затем быстрые и, наконец, термоядерные реакторы. Соответственно, промышленность ЯТЦ Китая также объявила о беспрецедентных вызовах и возможностях и, вероятно, станет самой крупной в мире.

## **1.2 Ядерные реакторы**

Ядерным реактором называют устройство, предназначенное для организаций управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, которая всегда сопровождается выделением энергии. На рисунке 1 показано схема ядерного реактора [2].

Ядерные реакторы используются в атомной энергетике и в исследовательских целях. Основная часть реактора – его активная зона, где происходит деление ядер и выделяется ядерная энергия. Активная зона, имеющая обычно форму цилиндра объёмом от долей литра до многих кубометров, содержит делящееся вещество (ядерное топливо) в количестве,

превышающем критическую массу. Ядерное топливо (уран, плутоний) размещается, как правило, внутри тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), количество которых в активной зоне может достигать десятков тысяч. ТВЭЛы сгруппированы в пакеты по несколько десятков или сотен штук.

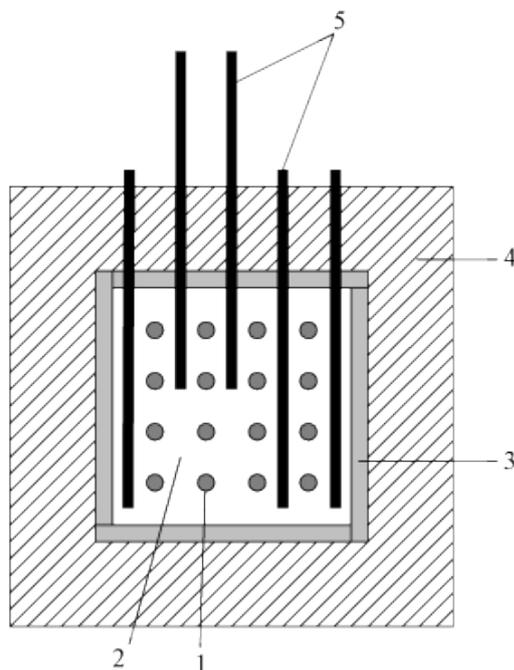


Рисунок 1 – Схема ядерного реактора: 1 – ядерное топливо, 2 – замедлитель, 3 – отражатель нейтронов, 4 – защита, 5 – регулирующие стержни.

Активной зоной в большинстве случаев является совокупность ТВЭЛов, погружённых в замедлитель, процесс замедления происходит в результате многократных столкновений с ядрами замедляющих материалов. В качестве замедлителей используется графит, природная вода, тяжёлая вода, бериллий, окись бериллия, углеводороды. Основными требованиями, предъявляющимися к замедлителям, является очень низкое сечение поглощения и значительное сечение рассеяния нейтронов. Активную зону реактора окружает отражатель из материалов, способных хорошо рассеивать нейтроны. Этот слой возвращает вылетающие нейтроны из активной зоны обратно в эту зону, повышая скорость протекания цепной реакции и снижая критическую массу. Вокруг отражателя размещают радиационную биологическую защиту из бетона и других материалов для снижения излучения за пределами реактора до допустимого

уровня.

В энергетических ядерных реакторах теплота, выделяющаяся в топливе, отводится циркулирующим через активную зону теплоносителем. В качестве теплоносителей обычно используется природная вода, тяжёлая вода, углекислый газ, гелий, натрий и др. Это тепло может быть использовано для создания горячего пара, вращающего турбину электростанции.

Для управления скоростью протекания цепной реакции деления применяют регулирующие стержни из материалов, сильно поглощающих нейтроны. Введение их в активную зону снижает скорость цепной реакции и при необходимости полностью останавливает её, несмотря на то, что масса ядерного топлива превышает критическую.

В состав активной зоны реактора входят или могут входить: ядерное топливо, замедлитель, теплоноситель, защитные оболочки топливных элементов, конструкционные материалы технологических каналов, регулирующие и компенсирующие стержни [3].

**Ядерное топливо** Ядра элементов, делящиеся нейтронами любых энергий, называют ядерным горючим (как правило, это вещества с нечетным атомным числом). Существуют ядра, которые делятся только нейтронами с энергией выше некоторого порогового значения (как правило, это элементы с четным атомным числом). Такие ядра называют сырьевым материалом, т. к. при захвате нейтрона пороговым ядром образуются ядра ядерного горючего. Комбинация ядерного горючего и сырьевого материала называется ядерным топливом.

Ядерное топливо делится на два вида:

– Природное урановое, содержащее делящиеся ядра  $^{235}\text{U}$ , а также сырьё  $^{238}\text{U}$ , способное при захвате нейтрона образовывать плутоний  $^{239}\text{Pu}$ ;

– Вторичное топливо, которое не встречается в природе, в том числе  $^{239}\text{Pu}$ , получаемый из топлива первого вида, а также изотопы  $^{233}\text{U}$ , образующиеся при захвате нейтронов ядрами тория  $^{232}\text{Th}$ .

По химическому составу, ядерное топливо может быть:

- Металлическим, включая сплавы;
- Оксидным (например,  $UO_2$ );
- Карбидным (например,  $PuCl_x$ );
- Нитридным;
- Смешанным ( $PuO_2 + UO_2$ ).

Ядерное топливо используется в ядерных реакторах, где оно обычно располагается в герметично закрытых тепловыделяющих элементах (ТВЭЛ) в виде таблеток размером в несколько сантиметров.

### 1.3 Ядерный топливный цикл

Китай стремится стать самодостаточной державой в большинстве аспектов ядерного топливного цикла. В качестве основного реактора в Китае выделяют реакторы типа PWR. При этом Китай проводит активную реформу в атомной сфере с целью увеличения самодостаточности во всем спектре ядерных технологий, включая производство и поставку тепловыделяющих сборок (ТВС), производство АЭС и оборудования для них. Тем не менее, в качестве основы берутся иностранные технологии, которые адаптируются для внутреннего использования [4].

Все стадии функционирования ядерного топливно-энергетического комплекса, такие, как производство топлива для ядерных реакторов, подготовка его к использованию, сжигание топлива в реакторе, утилизация отработанного топлива, промежуточное хранение и переработка отработанного топлива вместе взятые составляют так называемый топливный цикл.

На рисунке 2 показано замкнутые ядерные топливные циклы [5]. В зависимости от базового делящегося нуклида (или нуклидов), энергетика использует разные топливные циклы. Различают урановый, торий-урановый, уран-плутониевый и торий-плутониевый циклы. В настоящее время наибольшее распространение получил урановый цикл, который точнее

называть уран-плутоний-нептуниевым ядерно-энергетическим топливным циклом, поскольку именно эти элементы (равно как некоторые другие важные трансплутониевые нуклиды и продукты деления) нарабатываются в реакторах на урановом топливе.

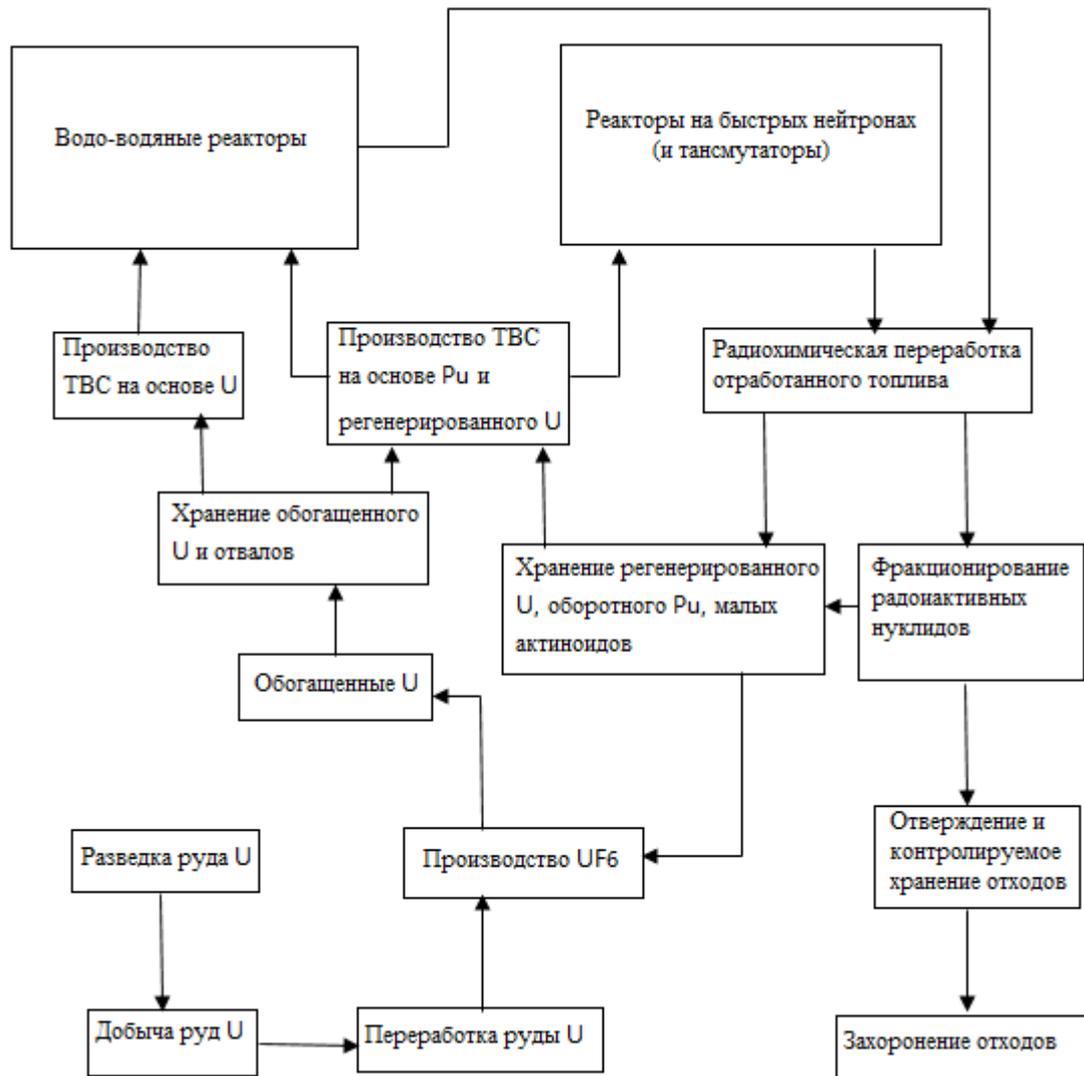


Рисунок 2 – Урановый и уран-плутониевый замкнутые ядерные топливные циклы

### 1.3.1 Источники урана, добыча и извлечение

Урановые руды — природные минеральные образования, содержащие уран в таких концентрациях, количествах и соединениях, при которых его промышленная добыча экономически целесообразна.

Обычно различаются урановые руды: супербогатые (более 0,3 % U), богатые (0,1-0,3 %), рядовые (0,05-0,10 %), убогие (0,03-0,05 %) и забалансовые

(0,01-0,03 %). К очень крупным относятся урановые месторождения с запасами (тысяч т) более 50, к крупным – от 10 до 50, к средним – от 1 до 10, к мелким – от 0,2 до 1,0 и к очень мелким – менее 0,2.

Основные этапы производства урана – это добыча руды подземным или открытым способом, обогащение (сортировка) руды и извлечение урана из руды выщелачиванием. На руднике урановую руду извлекают из горного массива буровзрывным способом, раздробленную руду сортируют и размельчают, а затем переводят в раствор сильной кислоты (серной) или в щелочной раствор (карбоната натрия, что наиболее предпочтительно в случае карбонатных руд). Раствор, содержащий уран, отделяют от нерастворенных частиц, концентрируют и очищают сорбцией на ионообменных смолах или экстракцией органическими растворителями. Затем концентрат, обычно в форме оксида  $U_3O_8$ , называемого желтым кеком, осаждают из раствора, сушат и укладывают в стальные емкости вместимостью около 1000 л.

Концентрат природного урана – желтый кек – это исходный компонент ядерного топливного цикла. Для превращения природного урана в топливо, соответствующее требованиям ядерного реактора, нужны еще три этапа: преобразование в  $UF_6$ , обогащение урана и изготовление тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ).

Для преобразования оксида урана  $U_3O_8$  в гексафторид урана  $UF_6$  желтый кек обычно восстанавливают безводным аммиаком до  $UO_2$ , из которого затем с помощью плавиковой кислоты получают  $UF_4$ . На последнем этапе, действуя на  $UF_4$  чистым фтором, получают  $UF_6$  – твердый продукт, возгоняющийся при комнатной температуре и нормальном давлении, а при повышенном давлении плавящийся.

### **1.3.2 Обогащение урана**

Технологический процесс увеличения доли изотопа  $^{235}U$  в уране. В результате природный уран разделяют на обогащенный уран и обедненный

уран. Известно много методов разделения изотопов. Большинство методов основано на разной массе атомов разных изотопов: 235-й немного легче 238-го из-за разницы в количестве нейтронов в ядре. Это проявляется в разной инерции атомов. Например, если заставить атомы двигаться по дуге то тяжёлые будут стремиться двигаться по большему радиусу чем лёгкие. На этом принципе построены электромагнитный и аэродинамический методы. В электромагнитном методе ионы урана разгоняются в ускорителе элементарных частиц и закручиваются в магнитном поле. В аэродинамическом методе газообразное соединение урана продувается через специальное сопло-улитку. Похожий принцип в газовом центрифугировании: газообразное соединение урана помещается в центрифугу, где инерция заставляет тяжёлые молекулы концентрироваться у стенки центрифуги. Термодиффузионный и газодиффузионный методы используют разницу в подвижности молекул: молекулы газа с лёгким изотопом урана более подвижны чем тяжёлые. Поэтому они легче проникают в мелкие поры специальных мембран при газодиффузионной технологии. При термодиффузионном методе менее подвижные молекулы концентрируются в более холодной нижней части разделительной колонны, вытесняя более подвижные в верхнюю горячую часть. Большинство методов разделения работают с газообразными соединениями урана, чаще всего с  $UF_6$ .

Многие из методов пытались использовать для промышленного обогащения урана, однако в настоящее время практически все мощности по обогащению работают на основе газового центрифугирования. Наряду с центрифугированием в прошлом широко использовался газодиффузионный метод. На заре ядерной эры использовались электромагнитный, термодиффузии, аэродинамический методы. На сегодняшний день центрифугирование демонстрирует наилучшие экономические параметры обогащения урана. Однако ведутся исследования перспективных методов разделения, например, лазерное разделение изотопов.

Установка по конверсии  $UF_6$  вблизи Ланьчжоу (производительностью 1500 т U/год) находится в эксплуатации с 1963 г. Два главных завода по обогащению урана (общей мощностью 1000 т ЕРР/год) были построены в рамках соглашений с Россией в 1990-х гг., и в рамках соглашения 2008 г. Россия будет помогать в наращивании мощностей, а также поставлять низкообогащенный уран для удовлетворения будущих потребностей.

### **1.3.3 Изготовление ТВЭЛов и ТВС**

Обогащенный  $UF_6$  поступает на завод в 2,5-т стальных контейнерах. Из него гидролизом получают  $UO_2F_2$ , который затем обрабатывают гидроксидом аммония. Выпавший в осадок диуранат аммония отфильтровывают и обжигают, получая диоксид урана  $UO_2$ , который прессуют и спекают в виде небольших керамических таблеток. Таблетки вкладывают в трубки из циркониевого сплава (циркаля) и получают топливные стержни, т.н. тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), которые объединяют примерно по 200 штук в законченные топливные сборки, готовые для использования на АЭС. Свежее топливо поступает на АЭС в виде тепловыделяющих сборок (ТВС). Эти сборки перевозят в транспортных контейнерах, разработанных по нормам МАГАТЭ специально для перемещения ТВС с завода-изготовителя на АЭС. Естественная радиоактивность свежего топлива в ТВС достаточно низка – ни облучения людей, ни сколько-нибудь значительного загрязнения местности, даже в случае транспортной аварии, практически не происходит.

Обычно представляет собой четырёхгранный (PWR) или шестигранный (ВВЭР) пучок ТВЭЛов длиной от 2,5 до 3,5 м (что примерно соответствует высоте активной зоны) и диаметром от 30 до 40 см, изготовленный из нержавеющей стали или сплава циркония (для уменьшения поглощения нейтронов). Твэлы собираются в ТВС для упрощения учёта и перемещения ядерного топлива в реакторе. В одной ТВС обычно содержится от 150 до 350 твэлов, в активную зону реактора обычно помещается от 200 до 450 ТВС.

Общий вид ТВС реактора ВВЭР-1000 проекта В-320 представлен на рисунке 3 [6].

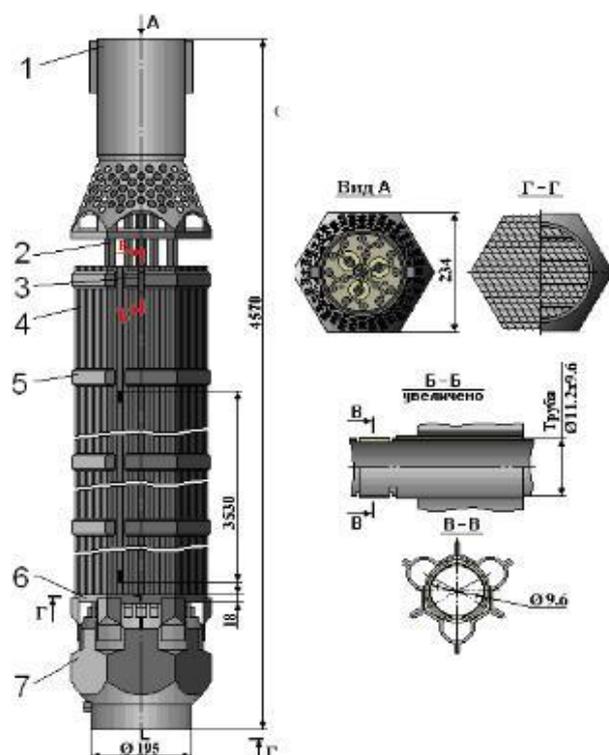


Рисунок 3 – Тепловыделяющая сборка: 1 – головка; 2 – направляющий канал (18 шт.); 3 – труба центральная; 4 – элемент тепловыделяющий; 5 – решетка дистанционирующая (15 шт.); 6 – решетка нижняя; 7 – хвостовик

С помощью вышеупомянутых средств и на основе опыта, накопленного с 1980-х гг., в настоящее время в Китае исследуют и разрабатывают серии топливных сборок китайского топлива (China Fuel CF). В 1990-х гг. компания Areva (Франция) передала технологии проектирования и изготовления топливных сборок серий АFA. В 2000-х гг. началась передача технологии топливной сборки AP-1000 от компании Westinghouse. Помимо изучения топлива CF, заслуживают упоминания еще четыре вида деятельности: утилизация переработанного урана (RU); использование топлива на основе Th; применение топлива TRISO для высокотемпературного реактора (HTR) и MOX-топлива для быстрого реактора-размножителя. В рамках договора с компанией Framatome ANP на передачу Китаю технологии по изготовлению топлива завод был модернизирован с целью обеспечения топливом всех

китайских реакторов PWR [7].

В Китае сейчас существуют два изготовителя топлива: China Jianzhong Nuclear Fuel Co., Ltd. (CJNF) в Yibin (провинция Сычуань) и China Northern Nuclear Fuel Co., Ltd. (CNNFC), в Baotou (Внутренняя Монголия); оба они являются филиалами CNNC.

В CJNF производительность составляет 600 т U/год по топливу PWR и 200 т U/год по топливу ВВЭР-1000. В CNNFC производительность равна 200 т U/год по топливу CANDU-6 и 200 т U/год по топливу AFA 3G PWR. Вскоре в CNNF также будут построены две линии по производству топлива. Одна из них будет способна производить около 400 т U/год топлива AP1000. Другая линия предназначается для фабрикации 300000 шариков TRISO в год от реактора HTR, который находится на заключительных этапах проектирования.

Ожидается, что в 2020 г. полная производственная мощность CJNF превысит 2200 т U/год, а CNNFC достигает 1400 т U/год.

#### **1.3.4 Обращение с отработанным топливом**

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) – это ядерные материалы и продукты деления, находящиеся в составе отработавших (облученных) тепловыделяющих сборок (ТВЭС), которые извлечены из ядерного реактора после их использования (облучения). ОЯТ является наиболее потенциально опасным продуктом использования атомной энергии, поскольку в нем содержится до 98% общей радиоактивности, сосредоточенной во всех материалах ядерного топливного цикла.

В 1 кг ОЯТ АЭС в первый день после его выгрузки из реактора содержится от 26 до 180 тыс. Ки (960-6700 ТБк) радиоактивности. Через год активность 1 кг ОЯТ снижается до 1 тыс. Ки (37 ТБк), через 30 лет – до 0,26 тыс. Ки (9,6 ТБк). Через год после извлечения из реактора, в результате распада короткоживущих радионуклидов, активность ОЯТ снижается в 11-12 раз, а через 30 лет – в 140-220 раз и дальше медленно уменьшается в течение сотен

лет [8].

Национальные концепции государств, связанные с ОЯТ, базируются на двух стратегических подходах. Первый рассматривает отработанное топливо в качестве ценного сырья для получения компонентов нового топлива и ряда радиоактивных изотопов, используемых в медицине, сельском хозяйстве, промышленности. При этом переработка может выполняться по мере наработки ОЯТ или после временного/долговременного хранения. Второй подход определяет ОТВС в качестве РАО, подлежащих захоронению. Большинство стран поддерживает первый подход как более рациональный. Кроме того, требования к размещению ОЯТ на вечное захоронение технически трудно исполнимы и реализуемы на практике в полном объеме. Это является одной из причин того, что ни одного могильника ОЯТ в мире не было введено в эксплуатацию до настоящего времени.

Согласно выбранной стратегии, а также исходя из существующих условий и возможностей, перечень технологических операций по обращению с ОЯТ может включать:

- промежуточное хранение ОТВС в бассейне выдержки;
- транспортировку отработанного топлива на завод по переработке, временное хранилище или могильник;
- промежуточное хранение перед переработкой или захоронением;
- переработку или подготовку ОТВС к временному хранению или захоронению;
- временное хранение или захоронение.

Для долговременного хранения выгоревшего топлива используются технологии мокрого и сухого хранения. Если хранение осуществляется в водной среде (мокрое хранение), то на площадке АЭС сооружаются один или несколько заполненных водой бассейнов хранения (технологически идентичных приреакторным бассейнам выдержки), соединенных транспортными каналами с приреакторными бассейнами АЭС [9].90%

накопленного в мире отработавшего ядерного топлива хранится в «мокрых» хранилищах, остальное – в «сухих» контейнерах.

С целью временной выдержки отработавшего топлива (до его отправки на переработку или захоронение) тепловыделяющие сборки помещают в бассейн выдержки, заполненный борной водой. Через год количество выделяемого топливом тепла снижается примерно в 200 раз, а радиоактивность – в 10 раз, через 5 лет радиоактивность уменьшается в 35 раз.

Временное хранение или захоронение могут осуществляться либо сухим, либо мокрым методами. Большинство методов захоронения являются сухими и предусматриваются в глубоких геологических формациях. Для топлива с оболочками из циркониевых сплавов температура при хранении на воздухе не должна превышать 150 °С. Для хранения в среде инертного газа допустимая температура составляет 350–440 °С.

ОЯТ выдерживается на АЭС не менее трех лет, при этом ведется постоянный контроль уровня и температуры воды в бассейне выдержки и концентрации в ней борной кислоты. Затем ОЯТ вывозят на предприятие по регенерации топлива в специальных транспортных контейнерах, обеспечивающих полную безопасность при транспортировке железнодорожным транспортом даже в случае железнодорожных аварий. Вывоз топлива производится специальным эшеленом, в состав которого входят несколько вагон-агрегатов с транспортными контейнерами.

В материковом Китае ежегодное производство облученного ядерного топлива составляет 370 тонн. Введено в эксплуатацию устройство сухого хранения ОЯТ Циньшань-3. Большая часть ОЯТ хранится в бассейнах на площадке. С 2003 г. в общей сложности 27 контейнеров ОЯТ с площадки Даявань были переведены на пилотное устройство хранения в провинции Ганьсу, которое начало работать в 2003 г. В стадии строительства в топливном комплексе «Ланьчжоу» также находится централизованное хранилище для мокрого хранения производительностью 550 тонн в год [7].

Изучение захоронения отходов началось в 1986 г., а в 2006 г. было принято решение о трехэтапном графике: исследовательская площадка захоронения должна быть готова к 2020 г.; лаборатория глубокого захоронения – до 2040 г.; операции по окончательному захоронению – после 2040 г.

Согласно требованиям правительства с пятого года эксплуатации каждой АЭС ее операторы должны отчислять 2.6% за каждый кВт·ч на нужды конечных стадий топливного цикла, включая транспортировку, хранение, переработку и захоронение ОЯТ.

### **1.3.5 Перемещение ОЯТ на переработку на завод**

Топливо, побывавшее в ядерном реакторе, становится радиоактивным, т. е. опасным для окружающей среды и человека. Поэтому обращение с ним осуществляется дистанционно и с применением толстостенных упаковочных комплектов, позволяющих поглотить испускаемое им излучение. Однако кроме опасности отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) может приносить и несомненную пользу: оно является вторичным сырьем для получения свежего ядерного топлива, поскольку содержит уран-235, изотопы плутония и уран-238. Одной из целей переработки топлива энергетических реакторов является повторное использование в качестве энергетического реакторного топлива, в том числе в составе МОХ-топлива или для реализации закрытого топливного цикла (ЗЯТЦ). В ОЯТ содержится около 1 % изотопов плутония, на основе которого в смеси с обеднённым ураном изготавливается МОХ-топливо.

Переработка ОЯТ позволяет уменьшить вред, наносимый окружающей среде в результате разработки урановых месторождений, так как свежее топливо фабрикуется из очищенного урана и плутония – продуктов переработки облученного топлива. Более того, из ОЯТ выделяются радиоактивные изотопы, используемые в науке, технике и медицине. На сегодняшний день заводы по переработке ОЯТ действуют лишь в четырех странах мира – России, Франции, Великобритании и Японии. В России первым предприятием, способным

перерабатывать ОЯТ, считается Производственное Объединение «Маяк», основанное в 1948 году.

Задача переработки – минимизировать радиационную опасность ОЯТ, безопасно утилизировать неиспользуемые компоненты, выделить полезные вещества и обеспечить их дальнейшее использование. Для этого чаще всего применяются химические методы разделения [10]. Химическая переработка облученного ядерного топлива осуществляется с целью извлечения плутония, урана и других ценных компонентов и очистки их от продуктов деления. В лабораториях ядерных центров многих стран исследовались различные методы переработки облученного топлива, которые можно классифицировать как водные и неводные.

В ряде стран ведутся исследования и разработки так называемых сухих (безводных) методов химической регенерации: фторидных (основанных на превращении U и Pu в газообразную фазу гексафторидов), пирометаллургических, экстракционных, в расплавах солей и др. Их цель – обеспечить наиболее эффективную в техническом и экономическом отношении промышленную технологию регенерации с одновременным решением проблемы переработки, консервации и удаление радиоактивных отходов в наиболее компактном и безопасном для хранения виде. Предполагается, что сухие методы позволят осуществить регенерацию топлива активных зон реакторов-размножителей на быстрых нейтронах с короткой выдержкой этого топлива и с меньшими потерями его по сравнению с жидкостной экстракцией. Эти методы привлекательны также тем, что удельные объемы получаемых радиоактивных отходов малы (преимущественно твердая компактная форма, пригодная для консервации в процессе регенерации). Большая часть установок, на которых проводили исследования и отработку перечисленных выше методов в настоящее время не функционируют.

Интенсивно разрабатывались водные методы переработки, основанные на использовании жидкостной противоточной экстракции. Экстракция урана и

плутония трибутилфосфатом по технологической схеме, названной пьюрекс-процессом, впервые примененной в США в 1945 г. для выделения плутония из облученного металлического природного урана. Этот метод имеет различные усовершенствования и технологические варианты, направленные на снижение радиационного воздействия на экстрагент и достижение более глубокой очистки урана и плутония от продуктов деления.

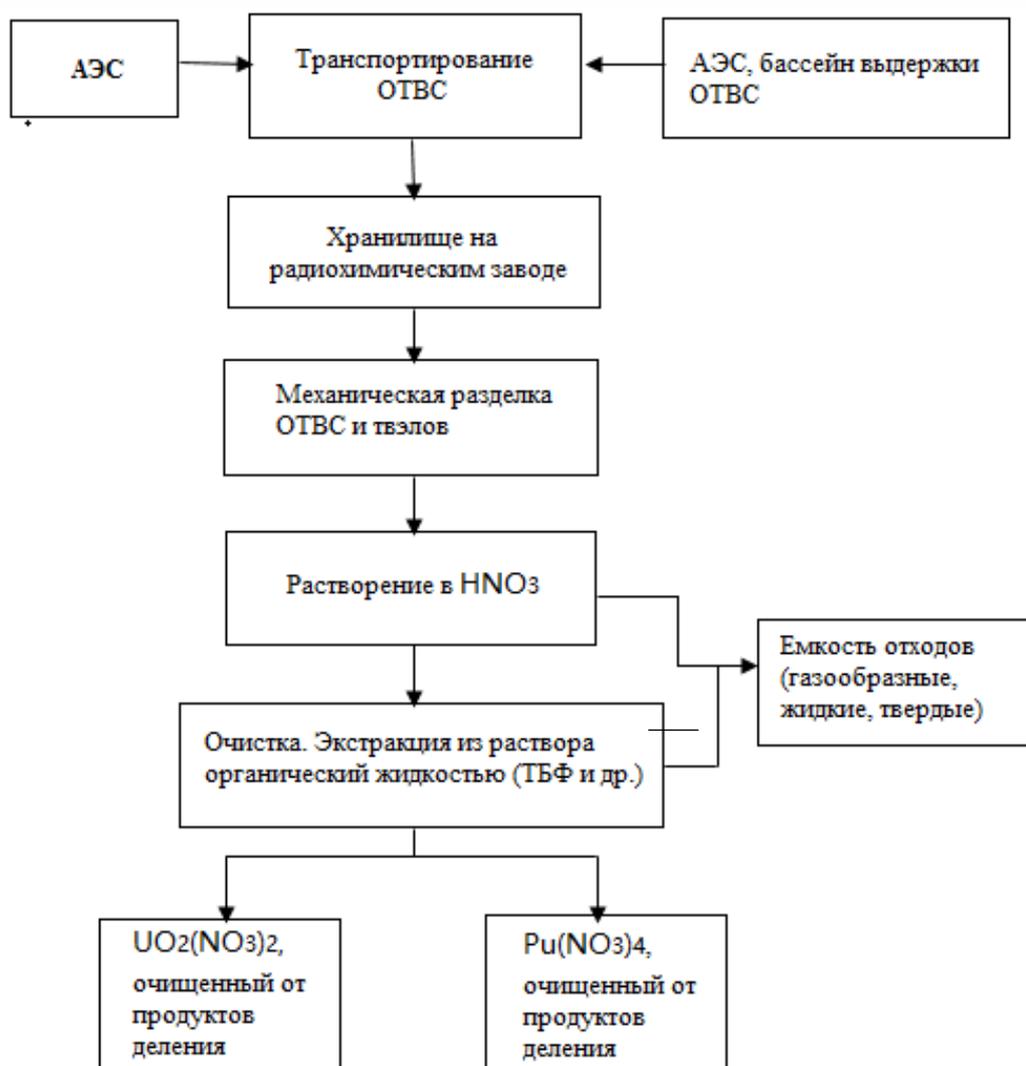


Рисунок 4 – Схема основных этапов подготовки и радиохимической переработки отработавшего топлива методом жидкой экстракции

Эти усовершенствования позволили применить пьюрекс-процесс для переработки окисного топлива. Как при жидкостных, так и при сухих методах химической переработки отработавшего топлива процессы (и связанные с ними трудности) очистки, консервации и удаления газообразных и летучих продуктов

деления весьма схожи, хотя при сухих процессах улавливание и удаление йода и трития упрощаются. На рисунке 4 приведена схема основных этапов подготовки и радиохимической переработки отработавшего топлива методом жидкой экстракции.

Циклы экстракции на перерабатывающих заводах позволяют выделить 98,5-99,5 % урана и плутония, содержащихся в перерабатываемых твэлах, и достичь высоких коэффициентов очистки от продуктов деления.

Если ядерная энергетика Китая сохранит быстрые темпы развития, то в 2020 г. будет аккумулировано более 13000 тонн ОЯТ. Китай принял политику переработки топлива, и развитие переработки идет в ногу с разработкой быстрых реакторов.

В настоящее время закончено сооружение пилотного перерабатывающего завода в Ланьчжоу. Его производительность позволяет перерабатывать 50 т ОЯТ в год. В 2005 г. CNNC инициировала работы по коммерческой переработке топлива. Сейчас разрабатывается коммерческий перерабатывающий завод с ёмкостью хранения 3000–6000 т и мощностью по переработке 800 т/год. Строительство планируется начать в 2020 году и завершить в 2030 году. Основным объектом переработки по проекту будут таблетки ОЯТ. Проектным базисным ОЯТ являются таблетки  $UO_2$  обогащения 4.45% в оболочке М5, со средним выгоранием 45000 МВт·сут/т U.

В настоящее время в России реализуется два варианта обращения с ОЯТ:

– ОЯТ энергоблоков ВВЭР-440, БН-350 и БН-600, ОЯТ исследовательских реакторов и ОЯТ атомных подводных лодок (АПЛ) перерабатывается на ФГУП «ПО «Маяк». Но извлекаемые из ОЯТ делящиеся материалы не возвращаются в топливный цикл большинства этих реакторов, а использовались ранее для производства регенерированного топлива для реакторов РБМК. В то же время урановый топливный цикл оказался разомкнутым на стадии ОЯТ РБМК;

– ОЯТ энергоблоков ВВЭР-1000, РБМК-1000, ЭГП-6 и АМБ, ОЯТ ряда

исследовательских реакторов находится на контролируемом хранении в специальных пристанционных (приреакторных) хранилищах или в централизованном хранилище на ФГУП «Горно-химический комбинат» (ФГУП «ГХК») в г. Железнодорожск, поскольку его переработка на данном этапе экономически неэффективна.

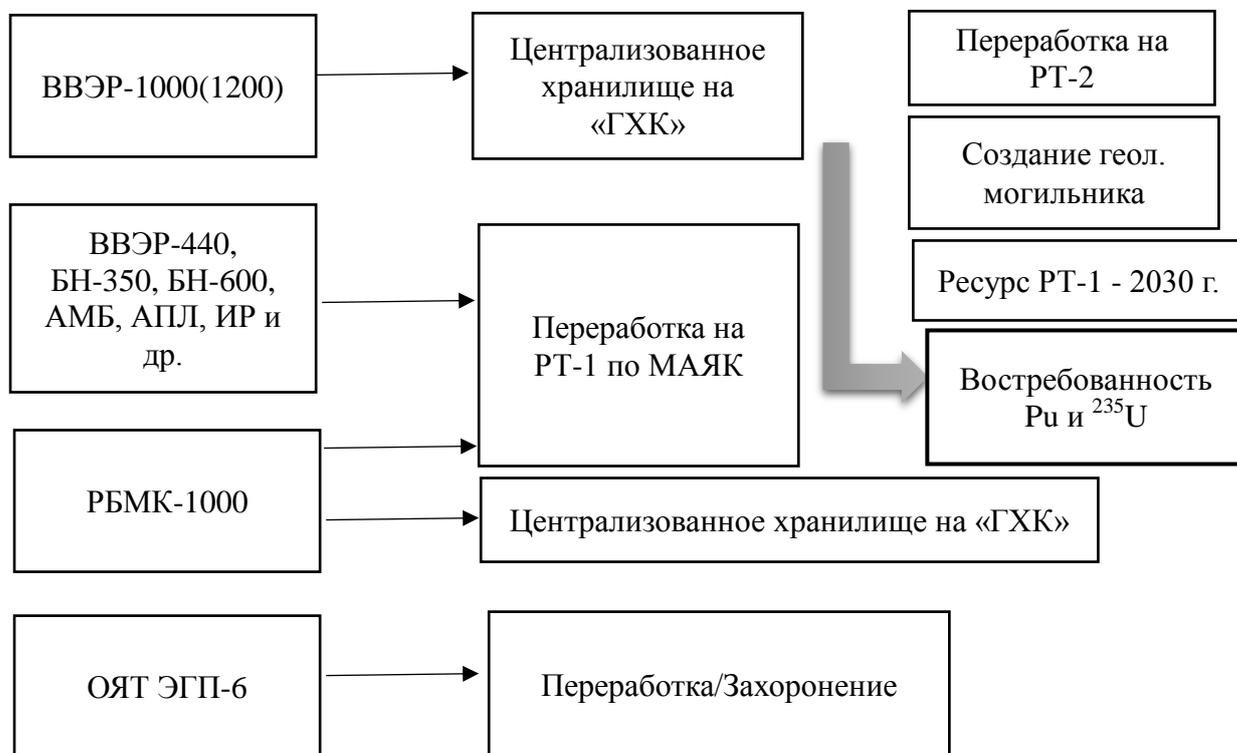


Рисунок 5 – Схема обращения с ОЯТ различных видов

Для решения проблемы накопленного и вновь образующегося ОЯТ Госкорпорация «Росатом» создает систему обращения с отработавшим топливом, включающую нормативно-правовую, финансово-экономическую и инфраструктурную составляющие. Технологическая схема обращения с ОЯТ различных видов на период до 2030 года представлена на рисунке 5.

## **2 Обращения ядерного топлива в ЯТЦ**

### **2.1 Специальное обращение ядерных материалов**

Обеспечение безопасности ЯМ требует соответствующих условий обращения с ними. Эти условия являются результатом применения специально разработанных мер. Совокупность мер, направленных на обеспечение безопасности при обращении с ЯМ (термин «безопасность» включает ядерную, радиационную, техническую, пожарную безопасность, сохранность ЯМ, обеспечение знаний об ЯМ), и представляет специальное обращение с ЯМ [11].

Значительные усилия в мире прилагаются к тому, чтобы обеспечить специальное обращение с ядерными материалами. В том числе, специальное обращение направлено на обеспечение сохранности и полного знания о ЯМ. Это подразумевает три главные составляющие специального обращения: физическая защита, учет и контроль за ядерными материалами (ФЗУК ЯМ). Эти три составляющие специального обращения являются основой национальных гарантий нераспространения у нас в стране.

Выделим несколько факторов особого (специального) обращения с ядерными материалами:

- Ядерные материалы, по крайней мере, часть из них представляют достаточную коммерческую и энергетическую ценность.

- Второй фактор – это то, что ядерные материалы (практически все) представляют радиационную или химическую опасность и обращение с ними должно быть соответствующее. Ядерные материалы представляют ядерную опасность.

- Многие из них представляют опасность с точки зрения возникновения критичности. В случае плохого учета и неправильных действий могут возникать неконтролируемые цепные реакции, которые приводят к тяжелым последствиям.

- Четвертым фактором является то, что существует реальная угроза

использования ядерных материалов в военных или террористических целях, т.е. ЯМ могут применяться для изготовления ядерного оружия и ядерных взрывных устройств.

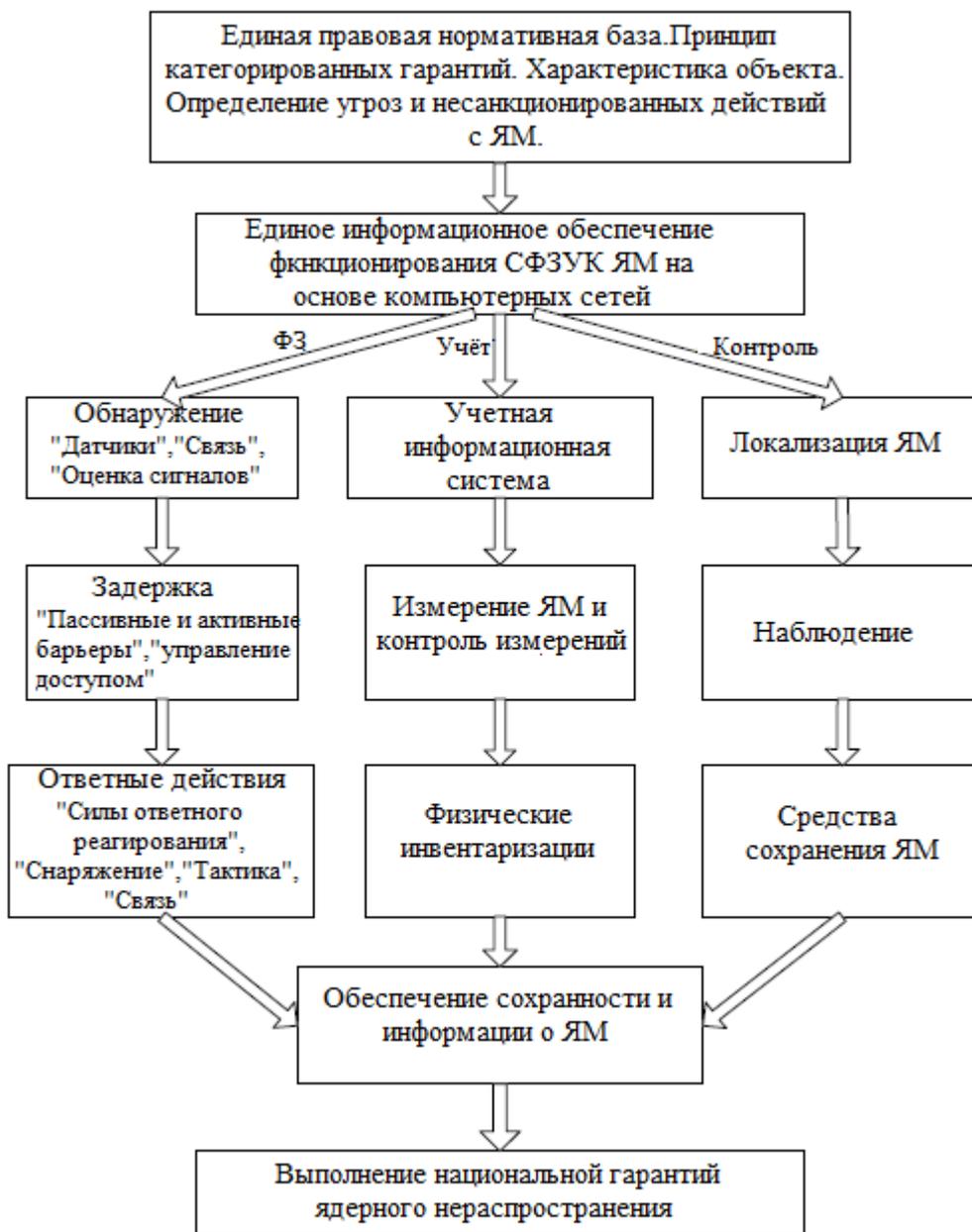


Рисунок 6 – Учет и контроль, физическая защита ядерных материалов [15]

Схематично системы УК и ФЗ ЯМ представлены на рисунке 6. Видно, что каждая из систем включает множество различных мер и средств. В области УК и ФЗ ЯМ Россия широко сотрудничает с США и западноевропейскими странами. Пример – сотрудничество МИФИ с национальными лабораториями США.

Для того чтобы надежно выполнить цели национальных гарантий, необходимо создать эшелонированную защиту ЯМ. Эшелонированная защита означает, что если какая-то из мер не будет выполнена должным образом, это не повысит значительно риск переключения или кражи ЯМ. Учет, контроль и физическая защита ЯМ в определенных ситуациях являются взаимодополняющими и, таким образом, создают эшелонированную защиту ЯМ. Такая ситуация имеет место, если строится защита от несанкционированных действий различных нарушителей в условиях их сговора (например, при сговоре внутреннего нарушителя и охранников объекта). Или при существовании малых утечек ЯМ с охраняемого объекта. Физическая защита обеспечивает сохранность ЯМ в реальном масштабе времени. Однако обнаружение малых утечек ЯМ является проблематичным из-за существования порога чувствительности у аппаратуры, детектирующей ЯМ. В этом отношении система учета и контроля ЯМ естественно дополняет физическую защиту, так как малые утечки ЯМ в течение достаточно длительного времени диагностируются при проведении периодических инвентаризаций ЯМ на объекте.

## **2.2 Учёта и контроля ядерных материалов на стадиях ЯТЦ**

Ядерные материалы (ЯМ) – материалы, содержащие делящиеся вещества, или способные их воспроизвести. Идеей безопасного обращения с ядерными материалами (ЯМ) проникнуто любое использование ядерной энергии, включая ядерную энергетику. Эта идея является основополагающей для международных соглашений и национальных законов.

Безопасность ЯМ с точки зрения общества – это контроль за использованием ЯМ и обеспечение исключительно мирного их использования. ЯМ включают [11]:

– исходные ЯМ – урановые и ториевые руды, природный уран и торий, обедненный уран (уран с пониженным содержанием  $^{235}\text{U}$ );

– специальные ЯМ – обогащенный уран (уран с повышенным содержанием  $^{235}\text{U}$ ), плутоний и  $^{233}\text{U}$ ;

– трансурановые элементы (Np, Am, Cm, Bk, Cf);

– тяжелая вода, дейтерий, тритий, литий.

Учет и контроль ЯМ должен осуществляться:

Государственной корпорацией по атомной энергии "Росатом" (далее - Госкорпорация "Росатом");

в организациях, осуществляющих обращение с ЯМ, в эксплуатируемых организациях (далее - организации);

в ЗБМ организации.

С учетом всего спектра существующих угроз обеспечение физической ядерной безопасности (ФЯБ) должно рассматриваться странами-новичками в качестве одной из основных обязанностей, возникающих при приобретении ядерных установок и материалов. ФЯБ в первую очередь обеспечивается за счет применения мер физической защиты (ФЗ), а также надлежащего учета и контроля (УК).

Учет ядерных материалов – определение количества ЯМ, составление, регистрация и ведение учетных и отчетных документов. Учет основывается на результатах измерений количественных характеристик ЯМ. При этом допускается:

– использование результатов предыдущих измерений ЯМ, если их достоверность подтверждена надлежащим состоянием примененных средств контроля доступа, соответствующими изменениями;

– применение расчетных методов, основанных на результатах предварительных измерений, экспериментальных исследований.

При надзоре за учетом и контролем ЯМ выполняют два вида измерений:

– учетные измерения – измерения количественных характеристик ЯМ и продуктов, результаты которых вносятся в учетные документы;

– подтверждающие измерения – измерения, результаты которых

используются для подтверждения количественных характеристик или атрибутивных признаков ЯМ или учетных единиц.

Таким образом, количественные характеристики ЯМ в местах их нахождения, потоков ЯМ как внутри эксплуатирующих организаций, так и между организациями подлежат тщательному учету. Потому, что информация о ЯМ составляет основу современных систем управления и безопасности на всех уровнях обращения с ядерными материалами.

Применительно к ядерным материалам одним из основных понятий является понятие учетной категории ядерных материалов. Если материал подпадает под учетную категорию, то к нему должны применяться определенные правила учета, контроля и физической защиты. Если материал не подпадает под учетную категорию, то таких жестких правил к нему не применяется [12].

Ядерные материалы подлежат государственному учету и контролю, если значения их масс, находящихся на предприятии, транспортируемых на одном транспортном средстве равны или превышают минимальные количества. Для основных элементов уран-плутониевого и ториевого циклов их минимальные учетные количества составляют 15 г. Для урана и тория природного изотопного состава учетное количество начинается с 500 кг.

Категоризация необходима, прежде всего, для того, чтобы сосредоточить внимание на установках, наиболее привлекательных с точки зрения ядерных материалов, которые можно достаточно просто перевести в оружейные формы.

Категоризация установок, относящихся к Министерству Энергетики США, осуществляется в соответствии с критерием привлекательности и количеством ядерных материалов, находящихся в них.

Здесь категоризация осуществлена двумя параметрами. Первый параметр, обозначаемый цифрой – это параметр количественный. В зависимости от количества ядерных материалов установка, содержащая определенное количество ядерных материалов, относится к I, II, III, IV категории. Вторым

параметр используется для характеристики привлекательности ядерных материалов. Привлекательность оценивается с точки зрения скорости перевода ядерных материалов в форму, пригодную для изготовления ядерного оружия.

В этой связи к категории «А» относятся ядерные материалы, которые имеют оружейное происхождение. Это само оружие и его компоненты. К категории «В» относятся все те материалы, которые могут быть путем очень несложной переработки (переплав, простая химическая обработка) переведены в оружейные формы. Оружейные формы для ядерного материала типа урана и плутония – это, прежде всего металл, или сплавы в виде отдельных компонентов, слитков, стружки и др. Материалы, которые используются для исследовательской деятельности, имеют, как правило, категорию «С» и ниже [13].

В ЗБМ четко определены контролируемые вход–выход, а наличное (инвентарное) количество ЯМ подлежит определению на периодической основе во время физической инвентаризации (ФИ) ЯМ. Для обеспечения должного функционирования системы учета и контроля ЯМ на предприятии важной задачей является правильный выбор структуры зон баланса ЯМ. Однако определение размеров и границ ЗБМ является зачастую не простой задачей.

Определение входных и выходных потоков ЯМ, а также наличного количества ЯМ в ЗБМ проводится в ключевых точках измерения (КТИ). Ключевая точка измерений (КТИ) представляет собой место, оборудованное для измерения параметров ЯМ и его атрибутивных признаков.

Способы определения инвентарного количества в отношении очехлованных изделий (ТВС, отдельные тепловыделяющие элементы и др.) – это штучный учет (идентификация изделий плюс их пересчет) и измерения ЯМ неразрушающими методами.

Контроль ядерных материалов включает контроль за наличием и перемещением ЯМ; контроль доступа к ЯМ, оборудованию и информации; наблюдение за ЯМ, проверку санкционированного размещения и перемещения

ЯМ. Цель этой деятельности – обеспечение сохранности и требуемого порядка в обращении с ЯМ, достоверности знаний о ЯМ [14]. Существуют различные формы контроля ЯМ.

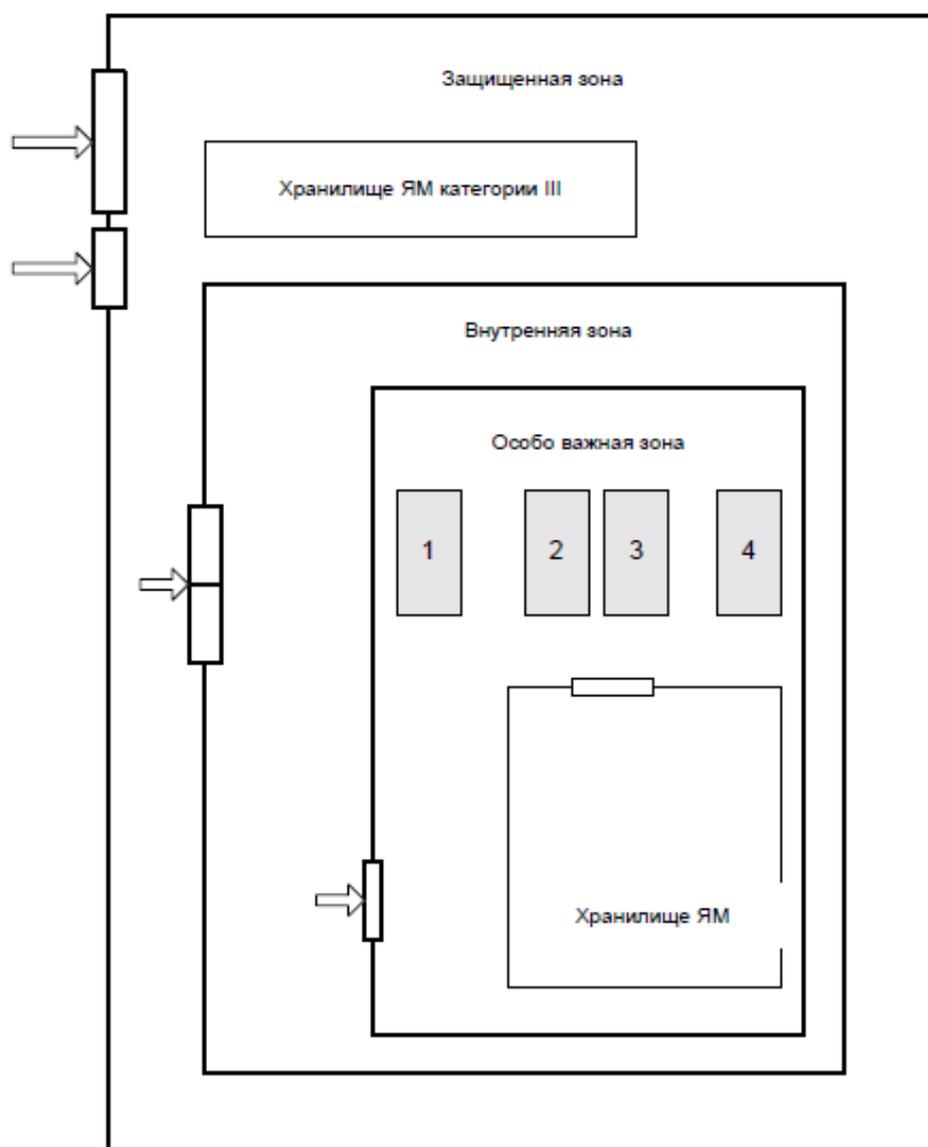


Рисунок 7 – Размещение зон локализации ядерных материалов: 1, 2, 3, 4 – технологические участки

Согласно правилам физической защиты ЯМ и ядерных установок:

- ЯМ 1 и 2 категорий должны использоваться и храниться во внутренней или особо важной зонах;
- ядерные установки должны размещаться во внутренней или особо важной зонах;
- ЯМ третьей категории – в любой охраняемой зоне.

На рисунке 7 приведен пример размещения зон локализации ЯМ различной категории [15].

Контроль ЯМ на предприятиях в ЗБМ осуществляется по двум основным направлениям:

– контроль за наличием ЯМ в местах их расположения. Для этой цели используются различные технические средства и методы, например пломбы различного типа и принципа действия, системы видеонаблюдения, системы радиационного мониторинга помещений, где хранится ЯМ, и т.д. Одним из важных параметров при контроле наличия является уникальная идентификация учетных единиц с ЯМ, например, с помощью бар-код-технологии.

– контроль доступа к ЯМ, который представляет собой набор административно-технические мер по ограничению доступа к ЯМ.

Принципиальная особенность современных систем учета и контроля – максимальное использование средств контроля доступа. В основе систем учета и контроля ядерных материалов во всех развитых странах, лежит принцип измеряемого материального баланса. И при этом порядок измерения наличных ядерных материалов – это, по сути, серьезный физический эксперимент. Однако этого мало. Сами измерения ядерных материалов – процедура относительно длительная и небезопасная (особенно, если речь идет о плутонии). Поэтому, все усилия предпринимаются к тому, чтобы свести измерения ядерных материалов к необходимому минимуму. А непрерывность знаний относительно состояния ядерных материалов обеспечивается за счет применения средств контроля доступа (СКД) к ЯМ. СКД включают два класса мер: по наблюдению и по сохранению.

На стадии обогащения необходимы следующие процедуры учёта и контроля:

- Мониторинг степени обогащения.
- Учёт количества ЯМ и измерение обогащения конечного продукта.
- Анализ (определение количества) ЯМ, остающихся в процессе.

На стадии производства ТВС требуется измерение топливных стержней для контроля ЯМ и качества продукции (измерение массы ЯМ на единицу длины с целью определения степени однородности и выбраковки дефектных изделий).

Свежие ТВС находятся в хранилище свежего ядерного топлива в контейнерах и подаются на эн. блок автотранспортом. Из контейнера ТВС по одной штуке грузоподъёмной машиной подаются в зал бассейнов выдержки и развешиваются в гнёздах стенда для сборки с подвеской. После сборки ТВС хранятся на развесочном стенде в зале бассейнов.

С начала эксплуатации АЭС весь учёт и контроль ядерных материалов основывался на бумажных носителях: карточки, журналы. В них фиксируется вся информация: заводской номер ТВС, вес изотопов урана, история движения. Вручную подготавливалась вся необходимая выходная информация: схемы размещения ОТВС в ЗБВ, задания на загрузку в ТК, на разделку, различные списки и т.п.).

На АЭС, где непосредственно происходит выработка тепла и производства электрической энергии требуется:

- Контрольные измерения свежих топливных сборок (измерение массы ЯМ на единицу длины).
- Контрольные измерения отработавших сборок с целью проверки глубины выгорания и времени охлаждения.

Выгруженные отработавшие герметичные ТВС после хранения их в течение года в глубоких отсеках БВ через ГК переводятся на компактное хранение в транспортных чехлах в неглубокие отсеки. После пятилетнего и более срока выдержки в БВ транспортные чехлы загружаются в защитные контейнеры для отправки на площадку сухого хранилища.

На стадии переработки ОЯТ требуется:

- Анализ концентрации ЯМ в растворах.
- Мониторинг ионообменных колонн и хода процессов разделения

элементов.

- Определение количества ЯМ, остающихся в установке.

### **2.3 Этапы обращения ядерного топлива на АЭС**

Комплекс систем хранения и обращения с ядерным топливом – совокупность систем, устройств, элементов, предназначенных для хранения, загрузки, выгрузки, транспортировки и контроля ядерного топлива. Оборудование для обращения с ЯТ должно предотвращать возможность падения упаковок или тепловыделяющих сборок при нормальной эксплуатации, а также такие повреждения упаковок и ТВС, которые могут привести к аварии при исходных событиях, вызывающих падение упаковок или ТВС.

Комплекс обращения с ядерным топливом на АЭС осуществляется в соответствии с последовательным выполнением организационных мероприятий и транспортно- технологических операций: организация заказа на поставку свежего топлива – тепловыделяющих сборок (ТВС) и поглощающих элементов системы управления и защиты (ПС СУЗ); доставка на АЭС свежего топлива; входной контроль свежего топлива и его временное размещение в хранилище свежего топлива (ХСТ); подготовка топлива к загрузке в реактор; доставка подготовленного топлива из ХСТ в реакторное отделение; операции по перегрузке ядерного топлива в активной зоне реактора – извлечение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) из активной зоны реактора и загрузка его в бассейн выдержки, перестановка в активной зоне ТВС, подлежащих дальнейшей работе, и загрузка в активную зону свежего топлива; хранение отработавшего топлива в бассейне выдержки; загрузка отработавшего топлива в контейнеры; вывоз контейнеров с отработавшим топливом из реакторного отделения; вывоз отработавшего ядерного топлива с территории АЭС на завод регенерации (если предусмотрен такой вариант обращения с ОЯТ) [16].

Операции со свежим топливом включают доставку и хранение свежего топлива и подготовку его к загрузке в реактор. Транспортирование свежего

топлива с завода-изготовителя на АЭС осуществляется спец-эшелонам, в составе которого могут быть спец-вагоны с контейнерами со свежим топливом или специально оборудованные железнодорожные платформы с размещением на них контейнеров, укрытых специальными колпаками-крышками. Указанные транспортные средства удовлетворяют требованиям безопасной перевозки об исключении достижения критического состояния в любых условиях перевозки.

Статья 6., Федерального закона от 01 декабря 2007 г. № 317-ФЗ "О Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" Правовое регулирование деятельности Корпорации также подтверждает преимущество международно-правового регулирования отношения по обращению с ОЯТ: «Корпорация является наделенным полномочиями от имени Российской Федерации в соответствии с Конвенцией о физической защите ядерного материала государственным компетентным органом по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них, центральным государственным органом и пунктом связи и национальным компетентным органом по выполнению обязательств Российской Федерации в области обеспечения физической защиты ядерного материала в Международном агентстве по атомной энергии и других международных организациях.»

Одна из основных проблем в обращении с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) состоит в том, что оно представляет смесь различных веществ (не переработанный – «невыгоревший» уран, продукты радиоактивного распада урана и трансурановые элементы). Энергетически ценные двуокиси изотопов урана (U–238 и U–235) и плутония составляют около 97,5 % ОЯТ. Даже после длительного хранения они могут быть использованы в атомной энергетике. Непригодные к энергетическому использованию радиоактивные отходы (РАО) составляют около 2,5 % ОЯТ. ОЯТ представляет большую опасность, т. к. его радиоактивность огромна [17].

Любые операции с ОЯТ осуществляют с использованием мощной

экранирующей защиты от проникающей радиации. Нарушение технологии в ходе переработки ОЯТ или аварийная ситуация неминуемо приводят к самым тяжелым последствиям.

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

Перевозка ОЯТ производится железнодорожным транспортом, специальными вагонами в защитных металлических контейнерах с толщиной стенки 0,35 м. Конструкция контейнеров обеспечивает ядерную и радиационную безопасность даже в случае крупной аварии на железной дороге. В технологической схеме завода предусмотрена возможность выделения из ОЯТ нептуния и получения его диоксида. Конечным продуктом переработки ОЯТ являются соли урана и диоксид оружейного плутония.

Исходя из перечисленных особенностей МАГАТЭ рекомендует следующие основные задачи безопасного обращения с ОЯТ на АЭС:

- обеспечение подкритичности в течение всего времени эксплуатации;
- предотвращение физического повреждения топливной сборки и/или тепловыделяющих элементов;
- обеспечение надежного теплоотвода;
- поддержание уровня радиационного облучения и выхода радиоактивных веществ при обращении с облученным топливом на разумно достижимом низком уровне.

## **2.4 Требования нормативной документации в области учёта, контроля и физической защиты ЯМ в России и Китае**

Настоящие федеральные нормы и правила устанавливают требования к государственному учету и контролю ядерных материалов при их производстве,

использовании, переработке, хранении и транспортировании.

НП-030-2012 «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» является одним из основных нормативных документов, регламентирующих правила государственного учета и контроля ядерных материалов. Знакомство с ключевыми положениями этого документа необходимо для понимания содержания системы государственного учета и контроля ядерных материалов, образующих ее элементы, а также применяемых процедур и методик ее осуществления [18].

Согласно этому документу, ядерные материалы подлежат государственному учету и контролю, начиная с минимальных количеств.

Также ядерные материалы классифицируют по категориям в целях обеспечения дифференцированного подхода к определению процедур и методов учета и контроля. Всего выделены четыре категории: 1 категория соответствует максимальной «привлекательности»; 4 - минимальной. Эксплуатирующие организации устанавливают зоны баланса материалов (ЗБМ) в пределах ядерной установки или пункта хранения ядерных материалов.

В НП-030-2012 сформулированы требования, которыми следует руководствоваться при организации ЗБМ:

- масса ядерного материала, поступающего в ЗБМ и отправляемого из ЗБМ, должна определяться на основе измеренных характеристик ядерных материалов (кроме случаев, когда допускается применение расчетных методик), результатов полного пересчета и идентификации учетных единиц, тары, в которой находится ядерный материал, по данным сопроводительной документации, паспортным данным ядерных материалов;

- ядерные материалы различных категорий по возможности должны быть отнесены к разным ЗБМ;

- структурные подразделения эксплуатирующей организации, такие, как заводские лаборатории, зоны перевалки и склады, а также участки с ядерными

материалами, требующие специальной защиты информации, должны быть выделены в отдельные ЗБМ.

В НП-083-15 сформированы «требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» [19].

Настоящие нормы и правила устанавливают общие требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов (далее - системы физической защиты):

на ядерных объектах, на территории которых используется или хранится ядерный материал либо размещается и (или) эксплуатируется ядерная установка или пункт хранения, не связанные с разработкой, изготовлением, испытанием, эксплуатацией и утилизацией ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения, а также к физической защите ядерных материалов и ядерных установок, находящихся на судах и других плавсредствах, в космических и летательных аппаратах в процессе плавания и полета;

при перевозках и транспортировании ядерных материалов и ядерных установок автомобильным и железнодорожным транспортом.

У нас в Китае государственный контроль осуществляет специальная организация – Национальная Администрация по ядерной безопасности (NNSA), под руководством Ассоциации атомной энергетики Китая (CAEA), была создана в 1984 году и является лицензирующим и регулирующим органом, который также поддерживает международные соглашения, касающиеся безопасности. Она напрямую подотчетна Государственному совету, но считается недостаточно зависимой от CAEA, которая занимается планированием новых мощностей и утверждением технико-экономических исследований для новых установок [20].

Национальное управление по ядерной безопасности (NNSA) отвечает за лицензирование всех ядерных реакторов и других объектов, за инспекции соблюдения правил безопасности и отчеты о них, правила технической эксплуатации, лицензирование перевозок ядерных материалов, обращение с

отходами и радиационную защиту, включая источники и природные радиоактивные материалы. Оно лицензирует персонал от ядерных производителей до операторов реактора. Управление также отвечает за оценку воздействия ядерных проектов на окружающую среду. Закон 2003 года о профилактике и борьбе с радиоактивным загрязнением, принятый Конгрессом, был дополнен рядом правил, эмитированных в период с 1986 по 2011 год руководством Государственного совета.

Согласно курсу «ставить безопасность и профилактику во главу угла» и принципу глубокоэшелонированной защиты, для управления ядерных материалов принимают следующие меры:

- Физическая защита;
- Учет и контроль ядерных материалов;
- Противоаварийное планирование.

Для обеспечения безопасного и легального использования ядерного материала, чтобы предотвратить кражи, уничтожения, утраты, незаконные передачи и использования, защитить безопасности страны и народа, и способствовать развитию атомной энергетики принят «Правила управления ядерными материалами (NAF501)» в 1987 году [21].

В правиле сформированы ядерные и специальные неядерные материалы, подлежащие учету и контролю:

- $U^{233}$ , материалы и продукты, содержащий  $U^{233}$ ;
- $U^{235}$ , материалы и продукты, содержащий  $U^{235}$ ;
- $Pu^{239}$ , материалы и продукты, содержащий  $Pu^{239}$ ;
- третий, материалы и продукты, содержащий третий;
- литий-6, материалы и продукты, содержащий литий-6;
- другие ядерные материалы необходимо под контролем.

Государство практикует режим лицензирования для ядерных материалов. Организация, обладающий количество ядерных материалов достигает следующие ограничения, нужно просить лицензия на ядерные материалы:

совокупное количество передачи или производства урана, ураносодержащих материалов и продуктов больше или равно 0,01 кг;

любое количество плутония-239, материалов и продуктов, содержащий плутоний-239;

совокупное количество передачи или производства тритий, материалов и продуктов, содержащий тритий больше или равно  $3.7 \times 10^{13}$  БК;

совокупное количество передачи или производства обогащенного лития, материалов и продуктов, содержащий концентрированного лития больше или равно 1 кг.

Согласно «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» статья 23 приняли «Инструкция о применении правила управления ядерными материалами (НАF501/01)» в 1990 году. Инструкция применяется к заявлению, рассмотрению, утверждению и выдаче лицензии на ядерные материалы, учету и контролю и физической защиты ядерных материалов [22].

Статья 24 определяет понятие метода и оценки учета ядерных материалов. Учет ядерных материалов принимает метод замкнутый материальный баланс, инвентаризационная разница данного ЯМ в ЗБМ определяется с помощью уравнения:

$$ИР = ФК + УВ - УМ - НК - ИП$$

где ФК – фактически наличное количество ЯМ в ЗБМ, определенное в результате данной физической инвентаризации;

УВ – документально зарегистрированное увеличение количества ЯМ в ЗБМ за данный МБП в результате всех поступлений, наработок;

УМ – документально зарегистрированное уменьшение количества ЯМ в ЗБМ за данный МБП в результате всех отправок из ЗБМ;

НК – документально зарегистрированное количество ЯМ в ЗБМ на начало данного МБП;

ИП – известный потери.

Когда ИР вдвое превышает стандартную ошибку, то считается, что замкнутый материальный баланс не достигнут, и может присутствовать потеря, хищение или незаконное перемещение ядерных материалов. В этом случае лицензиат должен представить "Отдел" и предлагается, чтобы выяснить причину дисбаланса, а также меры по улучшению.

Для АЭС с реактором СР600 с водой под давлением сформированы основные принципы физической инвентаризации:

- Физическая инвентаризация основана на зоне баланса материалов, инвентаризировать в зависимости типа, физической и химической формы материалов.

- Во время физической инвентаризации должно прекратить передвижения ядерного материала.

- Количество ядерного материала для каждого из инвентаризационных предметов должно быть фактическое измеренное значение.

Периодичностью физических инвентаризаций является:

- Физические инвентаризации для каждого энергоблока должны осуществляться не реже 1 год.

- Физическая инвентаризация обычно должна осуществляться во время заправки топливом.

Статья 29 сформированы требования технической защиты в охраняемой зоне (категорирование ядерных материалов показано в таб. 2):

- В зоне ядерного материала категории 1 должен создать систему технической защиты формируется с сигнализацией, наблюдением и другими техническими средствами.

- В особом месте в зоне ядерного материала категории 2 должен установлены сигнализации, наблюдения и других технических средств.

- Сигнал должен быть быстро прозвучал против незаконного вторжения, несмотря на какой бы технические меры защиты принимаются.

Руководство «Физическая защита ядерного объекта (HAD501/02)»

применяется к гражданскому ядерному объекту построенный, расширенный и ново построенный, принят в 2008 году [23].

Таблица 2 – Категорирование физической защиты ядерных материалов

Материалы	Тип материалов	Категория (кол-во в кг)		
		I	II	III
Плутоний	Необлученный	$\geq 2$	0.01-2	$\leq 0.01$
Уран	Необлученный, обогащенный уран с U обогащением $\geq 20\%$	$> 5$	1-5	0.01-1
	Необлученный, обогащенный уран с U обогащением 10-20%		20	1-20
	Необлученный, обогащенный уран с U обогащением $< 10\%$ (кроме природного и бедного урана)	–	300	10-300
Тритий	Необлученный (атомная доля)	$> 0.01$	0.001-0.0 1	$< 0.001$
Литий	Обогащенный литий (атомная доля)		20	1-20

Охраняемые зоны выделяются в контрольных, защищенной и особо важных, категорирование предметов физической защиты должно осуществляться в соответствии с Правилами физической защиты.

Категория ядерного объекта должна устанавливаться следующим образом:

I категория – ядерные объекты, на которых имеются предметы физической защиты зон контрольных, защищенной и особо важных;

II категория – ядерные объекты, не отнесенные к I категории, на которых имеются предметы физической защиты зон контрольных и защищенной;

III категория – ядерные объекты, не отнесенные к I и II категориям, на которых имеются предметы физической защиты зон контрольных.

При выделении охраняемых зон особо важная зона должна размещаться во защищенной зоне, защищенная зона - в контрольной зоне.

Руководство «Учет и контроль ядерных материалов на АЭС (НАД501/07)» применяется к учету, контролю ядерных материалов на АЭС с легководным реактором (PWR, BWR и реактором теплоснабжения) и тяжеловодным реактором в 2008 году [24].

В руководстве сформированы зона баланса материалов и ключевые точки измерений. Выбор КТИ в ЗБМ должен осуществляться таким образом, чтобы обеспечить контроль передач ЯМ в/из ЗБМ и определение их фактически наличного количества в ЗБМ. КТИ включают текущие и инвентаризационные. Текущие КТИ обозначат арабскими цифрами, инвентаризационные КТИ обозначат большими английскими буквами.

Обычно энергоблок определяется зоной баланса, показана на рисунке 8.

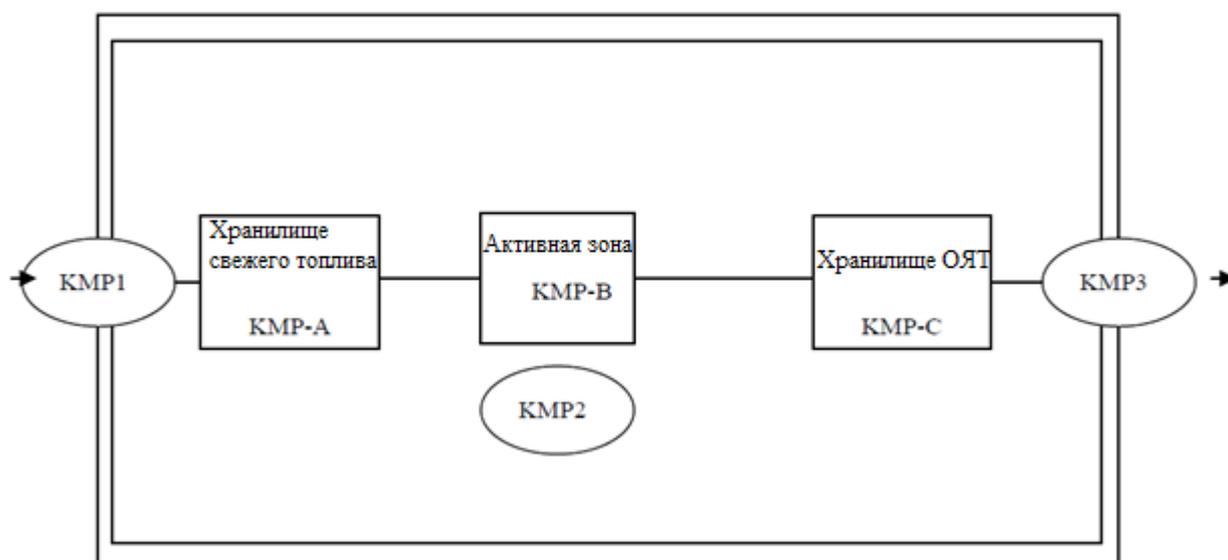


Рисунок 8 – Зона баланса материалов и ключевые точки измерений на АЭС. КМР 1 – Текущие КТИ получения топлива; КМР 2 – Текущие КТИ ядерного потребления и производства; КМР 3 – Текущие КТИ отгрузки ОЯТ.

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

Рыночные отношения в экономике страны вынуждают людей обладать достаточно большими знаниями по ведению бухгалтерского учёта и по расчёту экономической эффективности работ, производимых под его руководством. Выполнение таких расчетов позволяет определить экономические показатели, характеризующие конечные результаты деятельности.

Таким образом, целью данного раздела и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается выполнением планирования научно-исследовательских работ и соответствующих расчетов.

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

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

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;

– финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 8.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Унифицированность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
4. Энергоэкономичность	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
5. Надежность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
6. Уровень шума	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
7. Безопасность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	2	5	0,25	0,1	0,25
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0	4	4	4	0	0	0
12. Ремонтпригодность	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0	4	5	4	0	0	0
2. Уровень проникновения на рынок	0	4	4	4	0	0	0
3. Цена	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
5. Послепродажное обслуживание	0	1	1	1	0	0	0
6. Финансирование научной разработки	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
7. Срок выхода на рынок	0	1	4	4	0	0	0
8. Наличие сертификации разработки	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
<b>Итого</b>	<b>1</b>	61	77	73	4,05	3,7	3,95

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Значение  $K$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $K$  получилось от 5 до 4, то такая разработка считается перспективной. Если от 4 до 3 – то перспективность выше среднего. Если от 3 до 2 – то перспективность средняя. Если от 2 до 1 – то перспективность ниже среднего. Если 1 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

## 4.2 SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

**Первый этап** 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. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Матрица SWOT

<p style="text-align: center;"><b>Сильные стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проект соответствует требованиям нормативно-правовых документов;</li> <li>2. Высокий уровень квалификации специалистов;</li> <li>3. Высокая эффективность взаимодействия персонала;</li> <li>4. Высокая степень контроля со стороны государства;</li> <li>5. Использование современного оборудования.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Слабые стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Узкая специализация проекта (применим только к ядерному объекту);</li> <li>2. Необходимость защиты информации о СФЗ и ее функционировании;</li> <li>3. Недостаток сертифицированных технических средств реализации проекта на рынке;</li> <li>4. Необходимость дорогостоящего этапа лицензирования;</li> <li>5. Высокая стоимость оборудования СФЗ и комплектующих элементов.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сотрудничество с международными организациями в области атомной энергетики;</li> <li>2. Финансирование со стороны государства;</li> <li>3. Применение на объектах развивающейся отрасли (атомная энергетика);</li> <li>4. Возможность использования современных информационных технологий;</li> <li>5. Возможность работы с консультирующими органами в сфере ядерной энергетики.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность совершения акта ядерного терроризма;</li> <li>2. Неустойчивая экономическая ситуация в стране;</li> <li>3. Недостаток квалифицированных кадров в области атомной энергетики;</li> <li>4. Вероятность совершения неумышленных действий персоналом;</li> <li>5. Изменение модели нарушителя.</li> </ol>

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 10.

Таблица 10 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	0	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	+	+	+	+	+
	В4	+	+	+	0	+
	В5	+	+	+	+	+

Таблица 11 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	+	-	-	-
	В2	-	+	-	+	-
	В3	0	+	-	0	0
	В4	+	0	-	-	+
	В5	-	+	0	+	+

Таблица 12 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	0	-	-	-	-
	У2	0	+	0	0	-
	У3	+	-	-	-	-
	У4	0	+	+	+	+
	У5	0	+	0	+	+

Таблица 13 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	+	-	+	+
	У2	+	+	0	+	+
	У3	-	+	-	+	-
	У4	+	+	+	+	+
	У5	0	+	+	0	-

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в табл. 14.

Таблица 14 - SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<p>1. проект соответствует требованиям нормативно-правовых документов;</p> <p>2. высокий уровень квалификации специалистов;</p> <p>3. высокая эффективность взаимодействия персонала;</p> <p>4. высокая степень контроля со стороны государства;</p> <p>5. использование современного оборудования.</p>	<p>1. Узкая специализация проекта (применим только к ядерному объекту);</p> <p>2. Необходимость защиты информации о СФЗ и ее функционировании;</p> <p>3. Недостаток сертифицированных технических средств реализации проекта на рынке;</p> <p>4. Необходимость дорогостоящего этапа лицензирования;</p> <p>5. Высокая стоимость оборудования СФЗ и комплектующих элементов.</p>
<b>Возможности</b>	<p>По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности» можно сделать вывод о том, что заявленная повышенная экономичность, энергоэффективность и безопасность проекта способствует появлению дополнительного спроса на данный продукт.</p>	<p>По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» можно сделать вывод о том, что сложный этап лицензирования и высокая стоимость способствует повышению стоимости конкурентных разработок.</p>
<b>Угрозы</b>	<p>По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» можно сделать вывод о том, что эффективность персонала и использование современного оборудования могут прекращать возникновение совершения акта ядерного терроризма.</p>	<p>По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы», что проведение подобных экспериментов в других ВУЗах и развитие новых методов тесно связаны со слабыми сторонами и являются уязвимыми местами в работе, так же как и недостаточное количество измерений и задержка поставок материалов.</p>
	<p>1. Возможность совершения акта ядерного терроризма;</p> <p>2. Неустойчивая экономическая ситуация в стране;</p> <p>3. Недостаток квалифицированных кадров в области атомной энергетики;</p> <p>4. Вероятность совершения неумышленных действий персоналом;</p> <p>5. Изменение модели нарушителя.</p>	

## 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.3.1 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.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 15.

Таблица 15 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	руководитель студент
	3	Календарное планирование работ по теме	руководитель студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Ознакомление с особенностями обращения ядерного топлива	студент
Практические вопросы	5	Формирование требований по обеспечению безопасности при обращении ядерного топлива	руководитель студент
Проектные работы	6	Концептуальное проектирование	студент
	7	Проведение проектных работ	студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель студент
	9	Определение целесообразности проведения НИР	руководитель студент
Оформление отчёта по НИР	10	Составление пояснительной записки	студент
	11	Подготовка материалов к защите	руководитель студент

### 4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входили научные сотрудники, преподаватели, инженеры, техники, лаборанты и студенты. По каждому виду работ устанавливалась соответствующая должность исполнителя.

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы;  $t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы;  $t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы.

Для обоснованного расчета заработной платы необходимо продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ ,

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирование НТИ была выбрана диаграмма Ганта. Она представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48, \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

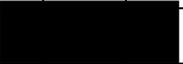
Все рассчитанные значения представлены в таблице 17.

Таблица 17 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\text{mini}}$ , чел-дни	$t_{\text{maxi}}$	$t_{\text{ожи}}$			
1	1	2	1,4	руководитель	1,4	2
2	1	1	1	руководитель студент	0,5	1
3	1	2	1,4	руководитель студент	0,7	1
4	25	30	27	студент	27	40
5	1	2	1,4	руководитель студент	0,7	1
6	13	20	15,8	студент	15,8	24
7	12	16	13,6	студент	13,6	21
8	1	2	1,4	руководитель студент	0,7	1
9	1	2	1,4	руководитель студент	0,7	1
10	18	22	19,6	студент	19,6	30
11	2	4	2,8	руководитель студент	1,4	2

График строится в виде таблицы 18 с разбивкой по месяцам за период времени полтора выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 18 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Этапы и подэтапы		Содержание работ	Т <sub>к</sub> , кал.дн.	Время выполнения работ														
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь			
1	1	Составление и утверждение технического задания	2															
2	2	Подбор и изучение материалов по теме	1															
	3	Календарное планирование работ по теме	1															
3	4	Ознакомление с особенностями обращения ядерного топлива	40															
	5	Формирование требований по обеспечению безопасности при обращении ядерного топлива	1															
	6	Концептуальное проектирование	24															
	7	Проведение проектных работ	21															
4	8	Оценка эффективности полученных результатов	1															
	9	Определение целесообразности проведения НИР	1															
5	10	Составление пояснительной записки	30															
	11	Подготовка темы к защите	2															
Итого дней			124		- научный руководитель					- студент				- руководитель+студент				

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

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе данного исследования формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат:

- а) материальные затраты нти;
- б) затраты на специальное оборудование для научных работ;
- в) основная заработная плата исполнителей темы;
- г) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- д) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- е) накладные расходы.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}, \quad (5)$$

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

$N_{\text{расх } i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $\text{м}^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $\text{м}^2$  и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15-25% от стоимости материалов. от стоимости материалов).

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i} = (1 + 0,15) \cdot (1245 + 280) = 1753,75 \text{ руб.}$$

Стоимость всех материальных затрат, используемых при разработке проекта приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Техническая документация	-	-	1245	1245
Канцелярские товары	-	-	280	280
Компьютер	шт	1	37711	37711
Всего за материалы				39236
Транспортно-заготовительные расходы (15%)				228,75
Итого по статье $Z_M$				37939,75

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле:

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

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (7)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе  $M = 10,4$ );  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала ( $F_d = 1794$  часов/год/человек=236 рабочих дней/год/человек).

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot K_p, \quad (8)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $K_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Например, для научного руководителя имеется месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot K_p = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

А можно получить среднедневную заработную плату научного руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{34190 \cdot 10,4}{236} = 1506,68 \text{ руб.}$$

А основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 1506,68 \cdot 8 = 12053,44 \text{ руб.}$$

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2206 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{2206 \cdot 11,2}{223} = 110,79 \text{ руб.}$$

Основной заработок студента, за время преддипломной практики, равен:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 110,79 \cdot 75,5 = 8364,99 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12–20% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (9)$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб. Например, дополнительная заработная плата:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 12053,44 \cdot 0,12 = 1446,41 \text{ руб.}$$

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (10)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды ( $k_{\text{внеб}} = 0,3$  ). Например, для научного руководителя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (12053,44 + 1446,41) = 4049,96 \text{ руб.}$$

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{м}} + Z_{\text{обор}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}), \quad (11)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Полученный расчет бюджета затрат представлен в таблице 20.

Таблица 20 – расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Научный руководитель	Магистр	Итого
Материальные затраты	-	-	37939,75
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12053,44	8364,99	20418,43
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1446,41	-	1446,41
Отчисления во внебюджетные фонды	4049,96	-	4049,96
Накладные расходы	4146,37		4146,37
Бюджет затрат	-	-	68000,92

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

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

финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i, \quad (13)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Составление и утверждение технического задания	0,1	5	3	4
Подбор и изучение материалов по теме	0,1	4	2	3
Календарное планирование работ по теме	0,05	5	3	3
Ознакомление с особенностями обращения ядерного топлива	0,1	4	3	3
Формирование требований по обеспечению безопасности при обращении ядерного топлива	0,2	4	4	3
Концептуальное проектирование	0,1	3	4	3
Проведение проектных работ	0,1	3	2	1
Оценка эффективности полученных результатов	0,05	2	3	2
Определение целесообразности проведения НИР	0,05	3	2	1
Составление пояснительной записки	0,05	3	2	1
Подготовка материалов к защите	0,1	4	3	2
ИТОГО	1	3,75	3	2,35

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{ucni}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \text{ и т. д.} \quad (14)$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \cdot \quad (15)$$

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3	2,35	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	3	2,35	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,25	1,59	-

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать текущий проект решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## **Список публикаций студента**

1. Ли Чэнь. Анализ технологических особенностей обращения ядерного топлива на АЭС / Ли Чэнь // Сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» / Томский Политехнический университет, Томск. – Томск, 2016. – С. 196.