

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Обеспечение безопасности при обращении с ядерными материалами на заводе по регенерации топлива

УДК 621.039.53/.54:621.039.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Г	Беденко Н. Т.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Меньшикова Е. В.	к. ф. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры 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		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
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.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	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).
Р9	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.
Р10	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.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ О. Ю. Долматов

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Г	Беденко Нелли Тимуровне

Тема работы:

Обеспечение безопасности при обращении с ядерными материалами на заводе по регенерации топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none">– завод по регенерации топлива;– план объекта;– требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта и технологического процесса;– угроза: хищение ядерного материала;– оборудование лаборатории неразрушающего контроля
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none">– анализ нормативно-правовых документов по вопросам организации и функционирования систем физической защиты, учета и контроля ядерных материалов на ядерном объекте;– формирование и выделение требований к оснащению элементами комплекса инженерно-технических средств физической защиты границ защищенной зоны на основе

	<p>определения модели нарушителя и сценариев совершения несанкционированных действий;</p> <p>– мероприятия в рамках систем учета и контроля ядерных материалов (выделение зон объекта, исходя из требований организации охраняемых зон в системе физической защиты и зоне баланса материалов для системы учета и контроля ядерных материалов);</p> <p>– анализ спектральных характеристик образца;</p> <p>– определение категории ядерного материала</p>
Перечень графического материала	схема ядерного объекта – обязательный чертеж

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Е. В. Меньшикова
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Нет

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

08.05.2017

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Степанов Б.П.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Г	Беденко Н. Т.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Г	Беденко Нелли Тимуровне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Физико-энергетические установки
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Материальные затраты – 160 руб. 2. Человеческие ресурсы – 72786 руб. 3. Отчисления во внебюджетные фонды – 14776 руб. 4. Электроэнергия – 1270 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Электроэнергия – 5,8 руб. за 1 кВт·ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 27,1%. 2. Коэффициент накладных расходов, равный 16%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности научного исследования	Сравнения конкурентных технических решений (разработок)
2. Формирование плана и графика разработки научного исследования	1. Иерархическая структура работ 2. SWOT-анализ 3. Календарный план-график реализации проекта
3. Составление бюджета научного исследования	Бюджет научно-технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы исполнителей темы; – отчисления на социальные нужды; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	08.05.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Меньшикова Е. В.	к. ф. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Г	Беденко Н. Т.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Г	Беденко Нелли Тимуровне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Физико-энергетические установки
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных факторов работы: микроклимат, освещение, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, шум, вибрации; – опасных факторов работы: вероятность поражения электрическим током, пожаровзрывоопасность.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	электробезопасность, пожарная безопасность, требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (источники, средства защиты); – пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	08.05.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Г	Беденко Н. Т		

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Уровень образования высшее
 Кафедра Физико-энергетические установки
 Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работы

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.05.2017	<i>Выдача задания</i>	
15.05.2017	<i>Проведение анализа уязвимости ядерного объекта</i>	
22.05.2017	<i>Выделение рубежей охраны</i>	
29.05.2017	<i>Проведение измерений и анализ полученных результатов</i>	
08.06.2017	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 89 с., 5 рис., 24 табл., 26 источников, 8 прил.

Ключевые слова: физическая защита, учет и контроль, альфа-спектрометрия, обеспечение безопасности, ядерный материал, регенерация ядерного топлива.

Объектом исследования: завод по регенерации ядерного топлива.

Цель работы – формирование требований к обеспечению безопасности при обращении с ЯМ на заводе по регенерации топлива.

В процессе исследования проводились: анализ нормативно-правовых документов в области организации систем физической защиты и учета и контроля ядерных материалов; проектирование оснащения элементами комплекса инженерно-технических средств физической защиты границ защищенной зоны; определение изотопного состава образца на основе его спектральных характеристик; оценка бюджета научно-технического исследования; описание рабочего места студента на предмет возникновения вредных и опасных факторов работы.

В результате исследования сформированы практические рекомендации к обеспечению безопасного обращения с ЯМ, которое включает в себя организацию систем учета и контроля и физической защиты. Результаты работы могут быть использованы предприятиями, осуществляющими переработку ядерного топлива при организации СФЗ и СУиК ЯМ на ядерном объекте.

Обозначения и сокращения

АКПП – автомобильный контрольный пропускной пункт;

ВЗ – внутренняя зона;

ЖДКПП – железнодорожный контрольный пропускной пункт;

ЗБМ – зона баланса материалов;

ЗЗ – защищенная зона;

ИТСФЗ – инженерно-технические средства физической защиты;

КСП – контрольно-следовая полоса;

КИТСФЗ – комплекс инженерных и технических средств физической защиты;

КТИ – ключевая точка измерений;

ЛКПП – людской контрольный пропускной пункт;

ЛПУ – локальный пункт управления;

НСД – несанкционированный доступ;

ОВЗ – особо важная зона;

ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка;

ОЯТ – отработанное ядерное топливо;

ПД – продукты деления;

РИК – рабочая инвентаризационная комиссия;

ПНСД – последствия несанкционированных действий;

ПФЗ – предметы физической защиты;

СКУД – система контроля и управления доступом;

СО – средство обнаружения;

СОЭН – система оптико-электронного наблюдения

СУиК – система учета и контроля;

СФЗ – система физической защиты;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТУК – транспортно-упаковочный контейнер;

ТВС – тревожно-вызывная сигнализация;

ТСФЗ – технические средства физической защиты;

УЕ – учетная единица;

ФБ – физический барьер;

ФЗ – физическая защита;

ЦПУ – центральный пункт управления;

ЯМ – ядерные материалы;

ЯО – ядерный объект;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл.

Оглавление

Введение.....	17
1 Основы безопасного обращения с ЯМ на объектах использования атомной энергии	19
1.1 Организация системы физической защиты на ядерном объекте	19
1.1.1 Цели и задачи системы физической защиты	20
1.1.2 Создание эффективной системы физической защиты	21
1.2 Государственная система учета и контроля ядерных материалов.....	22
1.2.1 Процедуры УиК на ядерном объекте.....	23
1.2.2 Особенности проведения УиК на предприятии.....	24
2.1 Технологии организации безопасного обращения с ЯМ на объекте.....	26
2.1.1 Описание технологических процессов	27
2.2 Анализ уязвимости.....	28
2.3 Методы проведения измерений характеристик ЯМ.....	32
3 Результаты проведения исследований	36
3.1 Организация системы УиК.....	36
3.2 Выделение охраняемых зон	38
3.3 Модель и сценарий действий нарушителей	39
3.4 Оснащение границ охраняемой зоны.....	41
3.5 Оснащение людского контрольно-пропускного пункта.....	43
3.6 Оснащение автомобильного контрольно-пропускного пункта.....	44
3.7 Оснащение железнодорожного контрольно-пропускного пункта.....	45
3.8 Спектральный анализ характеристик образца	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.1.2 Технология QuaD	49
4.1.3 SWOT-анализ.....	51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	54
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	54
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	54
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	55
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	56
4.2.5 Расчет материальных затрат НТИ	57
4.2.6 Основная заработная плата исполнителей темы.....	58
4.2.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	60
4.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	60
4.2.9 Накладные расходы.....	61
4.2.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	62
5 Социальная ответственность	65
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	65
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на пэвм.....	67
5.2.1 Организационные мероприятия.....	67
5.3 Условия безопасной работы.....	70
5.4 Электробезопасность	72

5.5 Пожарная и взрывная безопасность	73
Заключение	75
Список публикаций студента.....	76
Список использованных источников	77
Приложение А	81
Приложение Б.....	83
Приложение В.....	84
Приложение Г	85
Приложение Д.....	86
Приложение Е.....	87
Приложение Ж.....	88
Приложение З	89

Введение

Вопросы безопасности атомной отрасли остаются актуальными на протяжении всего времени использования ядерных технологий. Одной из задач безопасного использования ядерных технологий является обеспечение режима нераспространения, составляющей которого является создание и эксплуатация систем учета и контроля ядерных материалов (СУиК ЯМ), систем физической защиты ядерных объектов (СФЗ ЯО).

Обеспечение безопасного обращения с ядерными технологиями всегда является актуальным вопросом, одной из задач которого является соблюдение режима нераспространения. Для обеспечения этой задачи создаются системы учета и контроля ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов. Успешное эксплуатирование этих систем обеспечивает безопасность атомной отрасли.

Создание, эксплуатирование и совершенствование этих систем осуществляется на трех уровнях: государственном, ведомственном и объектовом. Системы создаются с учетом особенностей каждого объекта. Индивидуальный подход к проектированию систем обеспечивает максимальную безопасность на каждом этапе ядерного топливного цикла. При эксплуатировании ЯТЦ закрытого типа уязвимым местом будет являться завод по регенерации топлива, на котором происходит переработка отработанного ядерного топлива в целях его повторного использования. Актуальной задачей является обеспечение безопасности на заводе по регенерации ядерного топлива.

Целью выпускной квалификационной работы является формирование требований к обеспечению безопасности при обращении с ЯМ на заводе по регенерации топлива.

В рамках данной цели были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать нормативно-правовые документы по вопросам организации и функционирования систем физической защиты, учета и контроля ядерных материалов на ядерном объекте;
- сформировать комплекс мероприятий в рамках системы учета и контроля ядерных материалов;
- выделить требования к оснащению элементами комплекса инженерно-технических средств физической защиты границ защищенной зоны на основе определенных модели нарушителя и сценария совершения несанкционированных действий;
- провести анализ спектральных характеристик образца;
- составить бюджет на разработку научно-технического исследования;
- описать рабочее место студента на предмет возникновения вредных и опасных факторов работы.

1 Основы безопасного обращения с ЯМ на объектах использования атомной энергии

В настоящее время ключевой задачей безопасного использования современных ядерных технологий является обеспечения режима нераспространения ядерных материалов (далее в тексте ЯМ). Согласно [федеральному закону № 170 "Об использовании атомной энергии"] необходимо осуществление физической защиты (ФЗ) ЯУ, радиационных источников, пунктов хранения ядерных материалов (ПХЯМ) и радиоактивных веществ, которая предусматривает единую систему планирования, координации, контроля и реализации комплекса технических и организационных мер [1].

Данный документ:

- определяет правовую основу и принципы регулирования отношений, возникающих при использовании атомной энергии;
- направлен на защиту здоровья и жизни людей, охрану окружающей среды, защиту собственности при использовании атомной энергии;
- призван способствовать развитию атомной науки и техники, содействовать укреплению международного режима безопасного использования атомной энергии.

Для безопасного использования ядерных технологий создается система физической защиты (СФЗ), система учета и контроля ядерных материалов (УиК ЯМ)

1.1 Организация системы физической защиты на ядерном объекте

Физическая защита (ФЗ) – это деятельность в области использовании атомной энергии, направленная на предотвращение диверсии или хищения в отношении ЯМ, ЯУ и ПХ ЯМ [2].

Физическая защита должна обеспечивать безопасное функционирование ядерного объекта. Для реализации ФЗ на ядерном объекте создается система

физической защиты (СФЗ) – это совокупность организационных мер, правовых норм, комплекса технических и инженерных средств, направленных на защиту предприятия.

1.1.1 Цели и задачи системы физической защиты

Для построения СФЗ необходимо поставить следующие цели: что защищать, как защищать и от кого защищать.

В соответствии с целями выстраиваются задачи [3]:

- сдерживание от НСД;
- обнаружение НСД;
- задержка/замедление проникновения/продвижения нарушителя;
- реагирование на НСД.

Своевременное обнаружение совершения НСД позволяет минимизировать ущерб, нанесенный нарушителем.

Обнаружение может производиться с помощью таких средств:

- визуальное наблюдение;
- видеонаблюдение;
- электронные датчики;
- печати и пломбы;
- регистрационные записи учет

Замедление нарушителя происходит по средствам установления физических барьеров на пути его возможного проникновения. Мерой задержания является время после обнаружения, которое требуется нарушителю для хищения ЯМ или совершения диверсии. Задержка происходит только после обнаружения.

Основную задачу по реагированию на НСД выполняют силы охраны. Подразделение охраны наделены полномочиями: применение специальных средств по нормативным документам; применение силы; применение оружия

Система физической защиты строится в соответствии с основными принципами [4]:

- зональность – создание охраняемых зон с учетом важности ПФЗ, усиление защитных мер от периферии к ПФЗ;
- адекватность – соответствие СФЗ рассматриваемым вероятным угрозам и моделям нарушителей;
- равнопрочность – защита предмета физической защиты от возможных последствий НСД и от реализации сценария нарушителем;
- адаптивность – возможность СФЗ адаптироваться к изменениям угроз и моделей нарушителей, в конфигурации объекта, видов и способов охраны, размещения ЯМ и др.;
- надежность и живучесть – СФЗ должна быть способна выполнять задачи в штатных и чрезвычайных ситуациях;
- регулярный контроль функционирования – периодически проводятся учения и оценка эффективности СФЗ.

1.1.2 Создание эффективной системы физической защиты

Создание СФЗ включает в себя следующие стадии: предпроектная, проектирование, оборудование СФЗ, ввод в эксплуатацию.

Предпроектная стадия включает в себя:

- анализ уязвимости ЯО: описание особенностей объекта, определение ПФЗ, определение уязвимых мест ЯУ и ПХ, угроз и моделей нарушителей;
- категорирование ПФЗ, ЯО: на категорирование ПФЗ влияет категория ЯМ, степень секретности, последствия НСД, категория ЯО определяется исходя из категории ПФЗ, располагающегося на нем;
- концептуальный проект ЯО: синтез структуры и состава СФЗ, оценка основных характеристик выбранных вариантов;
- обоснование инвестиций: рассмотрение экономических аспектов выбранных вариантов;

- техническое задание на СФЗ.

Стадия проектирования включает в себя разработку: комплекса инженерно-технических средств, проектно-конструкторской документации организационно-технических документов, чертежей.

Стадия ввода в эксплуатацию включает:

- подготовку ЯО к вводу СФЗ в действие;
- подготовку персонала;
- предварительные испытания;
- опытную эксплуатацию;
- приемочные испытания;
- приемка комиссией.

На каждой стадии проводится оценка эффективности СФЗ. Если обнаруживаются ошибки в работе СФЗ, все работы начинаются заново.

1.2 Государственная система учета и контроля ядерных материалов

ГСУиК ЯМ состоит из СУиК на уровне организации, нормативно-правовой базы, информационно-аналитической системы, а также из внешнего органа контроля и надзора.

ГСУиК ЯМ включает в себя: сбор, регистрацию и анализ информации о количестве, составе и перемещении ЯМ; документальный учет всех хозяйственных и технологических операциях с ЯМ; проверку достоверности получаемой информации, её своевременности и актуальности [5].

ГСУиК ЯМ осуществляется:

- в ЗБМ организации;
- эксплуатирующими организациями;
- органами управления в области учета и контроля ядерных материалов на ведомственном и федеральном уровнях.

1.2.1 Процедуры УиК на ядерном объекте

В основных правилах учета и контроля ЯМ [6] обозначено минимальное количество ЯМ, начиная с которого они подлежат учету и контролю.

Для обеспечения дифференцированного подхода к процедурам УиК ядерный материал должен быть категорирован. Категории представляют собой количественные и качественные характеристики ЯМ с точки зрения учета и контроля. Также определяющими являются химическая форма и вид самого ядерного материала.

На объекте выделяются зоны баланса материалов (ЗБМ) – административно и территориально установленная зона для ведения учета и контроля ЯМ. В ЗБМ ведется деятельность по определению количества ЯМ; проведению физических инвентаризаций ЯМ; обеспечению контроля потерь, излишков и недостачи ЯМ.

Структура и содержание ЗБМ регламентируется [7] и должна содержать: характеристику ЯМ, находящихся в ЗБМ; описание границ ЗБМ; схемы мест расположения и перемещения ЯМ в ЗБМ; периодичность проведения, формы отчетностей физических инвентаризаций; перечень средств контроля доступа, применяемых в ЗБМ.

Для проведения измерений характеристик ЯМ, определения их атрибутивных признаков, контроля при перемещении из одной зоны в другую в каждой ЗБМ устанавливаются ключевые точки измерений (КТИ).

Категория расположенных на объекте ЯМ определяет требования к частоте инвентаризации в ЗБМ, точности контрольных измерений при подведении баланса ЯМ.

Для обеспечения контроля ЯМ используются средства контроля доступа, которые определяются как технические средства для обнаружения несанкционированных действий по отношению к ЯМ. Среди них можно выделить средства наблюдения (автоматизированные технические системы, устройства видеонаблюдения) и пломбы.

1.2.2 Особенности проведения УиК на предприятии

Ядерный материал на объекте может быть представлен в виде учетной единицы и в балк-форме. Описание УЕ и их атрибутивных признаков (АП) на объекте представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Описание УЕ на объекте

ЗБМ	КТИ	УЕ	АП
А	1	ОТВС	имеет соответствующий ИН; тип активной зоны совпадает с данными учетных документов.
	2		
В	4	Контейнер с ЯМ	имеет соответствующий ИН; заданная масса-брутто в пределах погрешности измерений; имеется в наличии; находится в заданном местоположении; наличие и целостность пломбы подтверждает отсутствие НСД.
	5		
Г	3	– (балк-форма)	заданная масса-брутто в пределах погрешности измерений; лигатурная масса, масса элемента и изотопа соответствует данным учетных документов; соответствие номера бирки контейнера; имеет заявленное содержание изотопа(ов) в пределах погрешности измерений.

В соответствии с [6] для ЯМ 4 категории частота проведения плановых физических инвентаризаций составляет 1 раз в 12 календарных месяцев; для ЯМ 3 категории – 1 раз в 6 календарных месяцев; для ЯМ 2 категории – 1 раз в 3 календарных месяцев; для ЯМ 1 категории – 1 раз в 2 календарных месяцев. ФИ проводится рабочей инвентаризационной комиссией (РИК). Все работы, связанные с приемом, отправкой и перемещением ОЯТ, на время проведения ФИ должны быть приостановлены.

Физической инвентаризации (ФИ) подлежат все ЯМ, находящиеся в ЗБМ. В процессе физических инвентаризаций ЯМ выполняются проверки данных учета, атрибутивных признаков, измерения параметров (характеристик) ЯМ.

Выбор контейнеров с ЯМ осуществляется с помощью кластерной выборки. Это существенно экономит временные и финансовые ресурсы, т.к. в ПХ ЯМ ярко выраженная кластерная (гнездовая) структура расположения контейнеров с ЯМ.

Цели и задачи ФИ:

- определения фактически наличного количества ЯМ в ЗБМ;
- установления соответствия фактических параметров УЕ существующим учетным данным;
- подведения баланса ЯМ, определения ИР и ее погрешности;
- проверки ведения учета и контроля ЯМ.

На основании документа о проведении ФИ директор подразделения формирует РИК, которая, в свою очередь, составляет план проведения ФИ.

Состав РИК:

- Председатель – главный инженер подразделения;
- Члены – два сотрудника, ответственные за УиК в ПХ ЯМ.

В плане проведения ФИ устанавливается время проведения и ответственное лицо.

РИК проверяет соответствие фактического наличия ЯМ учетным данным, а именно:

- фактическое наличие учетных единиц с ЯМ в ЗБМ;
- атрибутивные признаки и количество УЕ, массу ЯМ согласно учетным документам;
- при необходимости проверяется соответствие учетных данных данным первичной документации (паспортов);
- состояния пломб, анализ данных других СКД, в том числе применяемых в целях физической защиты помещений, в которых осуществляется обращение с ЯМ;
- соответствие СНК учетным данным;

На время проведения ФИ приостанавливаются все транзакции. Транзакция – запись в базе данных факта изменения состояния ЯМ, либо информации о ЯМ [8].

Данные изменения соответствуют операциям, производимым с ЯМ.

По результатам работы, проведенной РИК, составляется список фактически наличного количества ЯМ.

2 Описание методов проведения исследования

2.1 Технологии организации безопасного обращения с ЯМ на объекте

Ядерный топливный цикл – это вся совокупность производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и кончая удалением радиоактивных отходов.

В зависимости от вида ядерного топлива и конкретных условий ядерные топливные циклы могут различаться в деталях, но их общая принципиальная схема имеет следующий вид: на первой стадии осуществляют добычу урановой руды, извлечение из руды урана, его глубокая очистку и изготовление твэл и ТВС; вторая стадия представляет собой кампанию ядерного реактора и временное хранение ОЯТ; третья стадия включает в себя транспортировку, хранение и переработку ОЯТ [9].

При открытом ЯТЦ на третьей стадии также происходит обращение с радиоактивными отходами и их захоронение.

На третьей стадии закрытого ЯТЦ на радиохимических предприятиях осуществляется переработка ОЯТ с целью возврата в цикл невыгоревшего урана-235, почти всей массы урана-238, а также изотопов энергетического плутония, образовавшихся при работе ядерного реактора.

Закрытый ЯТЦ является выгодный, как с экономической точки зрения – возврат отработанного топлива, в котором после переработки также содержится плутоний, в цикл; так и с точки зрения высокорadioактивных и опасных отходов, которые необходимо надлежащим образом хранить. Но в тоже время с точки зрения режима нераспространения закрытый ЯТЦ является уязвимым, так как извлекаемый из ОТВС плутоний может быть использован для изготовления ядерного оружия. Снижение риска распространения является одним из важнейших критериев при выборе перспективных топливных циклов. В связи с этим обеспечение безопасности на предприятиях ЯТЦ является первостепенной задачей.

2.1.1 Описание технологических процессов

На рассматриваемом ядерном объекте происходит переработка ОЯТ с целью выделения урана и плутония. До переработки ОЯТ хранится в бассейне выдержки, затем поступает в технологический процесс, после которого выделенные ЯМ формируются в контейнеры и отправляются другие на предприятия ядерного цикла.

Технологический процесс переработки ОЯТ включает:

- вскрытие ТВЭЛов с ОЯТ водно-химическим методом;
- растворение ядерного топлива в азотной кислоте;
- экстракционная очистка и выделение урана, плутония и нептуния.

В основе всех современных технологических схем переработки (ОЯТ) лежат экстракционные процессы. Наиболее популярной технологией переработки ОЯТ на данный момент является Пьюрекс-процесс, который заключается в восстановительной реэкстракции плутония из совместного экстракта с ураном и продуктами деления.

Раствор, после растворения ОТВС в азотной кислоте, экстрагируют 30 % раствором ТБФ в керосине. Затем в процессе реэкстракции происходит разделение U и Pu. Вновь проводят экстракцию ТБФ в керосине с целью очистки U от ПД. После отделения плутония от основной массы U в первом цикле экстракции, дальнейшая очистка его осуществляется на стадии аффинажа [10].

На рисунке 2.1 представлена краткая схема Пьюрекс-процесса.



Рисунок 2.1 – Краткая схема Пьюрекс-процесса

2.2 Анализ уязвимости

Согласно [11], для выполнения задач физической защиты на предпроектном этапе необходимо проведение анализа уязвимости. Результаты анализа являются исходными данными для разработки технического задания на СФЗ.

Анализ уязвимости проводится при создании и совершенствовании СФЗ, а также при изменении угрозы и модели нарушителя, и при изменении ПФЗ и его размещения. При этом если отсутствуют приведенные ранее основания, анализ уязвимости пересматривается каждые пять лет.

При проведении анализа уязвимости необходимо учитывать:

- описание ядерного объекта и его территориального расположения;
- определение предметов физической защиты и описание мест их хранения;
- определение угроз и модели нарушителей.

Отчет по анализу уязвимости ядерного объекта включает сведения о ядерном объекте, предметах физической защиты, угрозах и вероятных способах их осуществления и модели нарушителей [12].

При описании ядерного объекта выявляются его территориальные особенности, условия работы, способ хранения ЯМ, движение транспорта и др. Описание характеристик ЯО представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Описание характеристик ЯО

Характеристика	Описание
Протяженность границ ЯО	3 км
Особенности территориального расположения	удаленность 12 км на юго-запад от ближайшего населенного пункта и других объектов; транспортные пути – асфальтированная дорога и железнодорожный путь; местность – степная (температурный режим: летом от 18 до 32 °С, зимой от минус 2 до минус 20 °С); осадки 466 мм в год; водоемы – 0,5 км до водохранилища; тип почвы – чернозем; карликовая растительность и животные небольших размеров
Условия работы ЯО	смены: с 08:00 до 14:00, с 14:00 до 20:00, с 20:00 до 02:00, с 02:00 до 08:00
Особенности доступа персонала к ЯМ	разграничение доступа в помещениях ЯО, исполнение правила двух лиц при доступе в ОВЗ
Общее число сотрудников в смене	85 человек
Количество автомобильного транспорта, проходящего через КПП в день	от 1 до 7 автомобилей
Периодичность прихода железнодорожного состава	1 раз в месяц
Порядок доставки сотрудников на ЯО	служебный автобус, личный автомобиль
Места хранения	пункт хранения ЯМ №1 – бассейны выдержки ОТВС; пункт хранения ЯМ №2 – хранение порошков PuO ₂ , U ₃ O ₈ , NpO ₂ , плава UO ₂ (NO ₃) ₂ *6H ₂ O; пункт хранения РВ и РАО
Способ хранения	в герметичных контейнерах, стеллажи
Технологические процессы в пределах ПУ	водно-экстракционная переработка ОЯТ
Частота и направление перемещения учетных единиц	по мере необходимости передача ЯМ из ПХ №1 на производственный участок, где происходит процесс переработки ОТВС, затем передача готового продукта (порошки PuO ₂ , U ₃ O ₈ , NpO ₂ , плава UO ₂ (NO ₃) ₂ *6H ₂ O) в ПХ №2, все образовавшиеся отходы, РВ и РАО отправляются в ПХ РВ и РАО.

После рассмотрения особенностей объекта, определяется предмет физической защиты.

При размещении предмета физической защиты принимаются во внимание количество ядерного материала и возможность его использования для изготовления ядерного взрывного устройства или его компонентов

Предмет физической защиты категоризируется исходя из нескольких основных признаков: количество ЯМ, его категории, возможность его использования для изготовления взрывного устройства, последствия НСД. Категорирование ядерного объекта осуществляется исходя из размещенного на его территории ПФЗ:

- I категория – ПФЗ категории А;
- II категория – ПФЗ категории Б;
- III категория – ПФЗ категории В или Г;
- IV категория – ПФЗ категории Д.

Когда определено что защищать, необходимо определить, от кого защищать, то есть рассмотреть возможные угрозы и вероятные способы их осуществления, определить модель нарушителей, сценарий и тактику их действий. Это необходимо для формирования набора требований к СФЗ и оценки её эффективности.

Основными угрозами по отношению к ядерному объекту являются:

- вооруженное нападение;
- тайное проникновение;
- организация диверсии, террористический акт;
- подкуп и шантаж сотрудников объекта, а также их семей;
- неквалифицированные действия персонала.

Модель нарушителя является комплексной характеристикой, которая отражает уровень физической подготовки, техническое оснащение, психологическое состояние, а также осведомленность нарушителя об объекте и его особенностях.

Общая модель нарушителя представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Общая модель нарушителя

Параметр нарушителя	Характеристика
Тип	<ul style="list-style-type: none"> – террористы; – экстремисты; – принужденные сотрудники; – психически неуравновешенные люди и сотрудники.
Цель	<ul style="list-style-type: none"> – хищение ЯМ; – диверсия в отношении ЯМ, ЯУ и ПХ ЯМ; – захват заложников с целью выдвижения требований; – препятствие нормальной деятельности ЯО; – хищение конфиденциальной информации.
Мотивы	<ul style="list-style-type: none"> – политические; – экономические; – идеологические (социальные, религиозные, экологические); – личные.
Способ проникновения	<ul style="list-style-type: none"> – недостатки в СФЗ; – вооруженный; – подкуп и содействие внутреннего нарушителя.
Тактика действий	<ul style="list-style-type: none"> – насильственная; – скрытая; – обманная; – комбинированная.

На основании этой модели можно выделить пять типов нарушителей, представленных в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Типы нарушителей

Нарушитель	Тип	Особенности
Внешний	I	Малочисленная группа; уровень осведомленности – средний; тактика – скрытая.
	II	Диверсионно-террористическая группа; уровень осведомленности – средний; тактика – насильственная.
Внутренний	I	Обслуживающий персонал, не имеющий допуска к местам хранения ЯМ и уязвимым местам ЯУ; уровень осведомленности – средний; тактика – скрытая.
	II	Сотрудник, имеющий непосредственный доступ к предметам диверсии и хищения; уровень осведомленности – средний; тактика – скрытая.
	III	Личный состав подразделения охраны или сотрудник службы безопасности; уровень осведомленности – высокий; тактика – скрытая.
Комбинированный	-	Сговор внутреннего и внешнего нарушителя с применением любой тактики

По итогам проведения анализа уязвимости составляется отчет, на основе которого происходит проектирование системы физической защиты, а затем оценка её эффективности. Если система физической защиты справляется со

своими задачами, то объект вводят в эксплуатацию, если нет, то анализ уязвимости проводится заново.

2.3 Методы проведения измерений характеристик ЯМ

Для обеспечения учета и контроля ядерных материалов необходимо иметь адекватное представление о наличии, количестве и составе ЯМ. Технологический процесс обусловлен определенными потерями ЯМ, которые необходимо контролировать для обеспечения норм ядерной и радиационной безопасности.

Анализ характеристик ЯМ может быть разрушающим и неразрушающим. Неразрушающий анализ позволяет проводить измерения пробы, не подвергая её изменениям на молекулярном или атомарном уровне. Эти методы обеспечивают дистанционный контроль ЯМ. Разрушающие методы анализа превосходят неразрушающие по точности и чувствительности. Они используют физико-химические, химические и радиохимические процессы [13].

Одним из наиболее информативных методов анализа является спектрометрия. К достоинствам метода будет относиться высокая точность результатов, возможность анализа образца, содержащего сложную смесь нуклидов, экспрессность.

Альфа-спектрометрия – методом, основанный на измерении спектров альфа-излучения, испускаемого ядерными материалами. Чаще всего данный метод используется при проведении разрушающего анализа, так как проведение измерений альфа-излучения образца при неразрушающем анализе осложняется из-за особенностей взаимодействия альфа-частиц с веществом.

Основным источником альфа-излучения служат радиоактивные изотопы, в процессе распада испускающие альфа-частицы с энергиями от 4 до 10 МэВ [14].

Альфа частицы обладают высокой ионизационной способностью, которая обусловлена большой массой и зарядом, но при этом низкой

проникающей способностью из-за этих же свойств. При проведении измерений необходимо учитывать, что альфа-частицы могут потерять значительную часть энергии за счет самопоглощения, в воздушном пространстве между источником и детектором и в самом входном окне детектора [15].

Чтобы уменьшить погрешность, связанную с самопоглощением, применяют разрушающие методы для изготовления особо тонких образцов альфа-активных веществ. Толщина слоя должна быть не более 50-100 мкг/см².

Для предотвращения ослабления потока альфа-частицы и потери их энергий в воздухе детектор и источник помещается в вакуумную камеру.

Эти потери энергии в веществе выходного окна источника приводят к уменьшению энергии регистрируемых α -частиц и к уширению спектральной линии источника. Величину потерь энергии во входном окне детектора учитывают при проведении калибровки [16].

Для измерений альфа-спектрометра наибольшее распространение получили кремниевые полупроводниковые поверхностно-барьерные детекторы (SBS – Surface Barrier Detector) или ион-имплантированные (PIPS – Passivated Implanted Barrier Detector) детекторы [13].

После проведения всех измерений, для получения информации от образца необходимо проанализировать полученный спектр.

Спектр, полученный от пробы, служит основным источником информации об этой пробе. Форма спектра зависит от разрешающей способности, размеров и материала детектора, а также от состава, размера проб и геометрии измерений.

Амплитуда регистрируемого сигнала пропорциональна энергии частицы. Поэтому каждому значению амплитуды должна присваиваться определенная энергия. Это достигается путем проведения энергетической калибровки.

После проведения калибровки по энергии полученный спектр подвергается качественному и количественному анализу.

Необходимой процедурой анализа спектра является его разбиение на участки с явно фоновыми точками. Это может быть сделано как визуальным

осмотром спектра, так и путем применения чисто математических способов. Правильное определение положения пика (центроиды) имеет принципиальное значение для проведения идентификации нуклидов.

Центроида может быть определена визуально, графически или с помощью метода первых моментов:

$$x_0 = \frac{\int_{x_1}^{x_2} xy(x)dx}{\int_{x_1}^{x_2} y(x)dx}, \quad (2.1)$$

где x_1 и x_2 – границы рассматриваемой площади;

y_i – число отсчетов в канале x_i .

После нахождения центроиды проводят идентификацию изотопов по библиотеке нуклидов, в которой содержится название нуклида, его энергетические линии и выход каждой линии. Говорить о содержании того или иного изотопа можно тогда, когда все его энергетические линии присутствуют на исходном спектре.

Для детекторов высокого разрешения пик полного поглощения обычно симметричен и описывается функцией Гаусса:

$$y(x) = y_0 \cdot \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.2)$$

где $y(x)$ – число отсчетов в канале x ;

y_0 – амплитуда пика;

x_0 – центроида пика;

σ^2 – дисперсия.

Однако пик полного поглощения альфа-спектра не повторяет точно форму кривой Гаусса из-за уширения в низкоэнергетической области – «хвоста». Это необходимо учитывать при проведении качественного и количественного анализа.

Между параметром σ^2 (дисперсией) и полной шириной на половине высоты ПШПВ функции Гаусса справедливо следующее соотношение:

$$\text{ПШПВ} = 2\sqrt{2\ln 2} \cdot \sigma. \quad (2.3)$$

Размер анализируемого участка спектра выбирается 2,5-3 ПШПВ [4].

Для проведения количественного анализа необходимо знать число зарегистрированных частиц в пике полного поглощения. Для нахождения числа импульсов в пике выделяют соответствующую область спектра и проводят суммирование числа импульсов в пределах этой области. Из полученного значения вычитают значение фона под пика полного поглощения.

Для нахождения фона определяют среднее число частиц по всем фоновым участкам, затем домножают это значение на количество каналов, которые входят в рассматриваемую область пика.

Для вычисления активности образца используется следующая формула:

$$A = \frac{S_{\text{пика}}}{\omega \cdot \varepsilon \cdot t_{\text{изм}}}, \quad (2.4)$$

где $S_{\text{пика}}$ – площадь пика, частиц;

ω – выход;

$\varepsilon = 0,09$ – эффективность;

$t_{\text{изм}} = 253$ – время измерения, с.

После вычисления активности можно найти массу изотопа в образце по формуле:

$$m = \frac{A \cdot \mu \cdot T_{1/2}}{\ln 2 \cdot N_A}, \quad (2.5)$$

где μ – молярная масса, г/моль;

$T_{1/2}$ – период полураспада, с;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ – постоянная Авогадро, частиц/моль.

Таким образом, в ходе анализа спектра будет определен изотопный состав образца, найдена его активность и масса. Иными словами, будет проведен качественный и количественный анализы.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Достижение коммерческой привлекательности обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [21].

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является разработка системы физической защиты на заводе по регенерации топлива.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственная корпорация по атомной энергетике «Росатом», а также атомные компании России, входящие в её состав.

4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (*Quality Advisor*) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение

целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии лежит нахождение средневзвешенной величины групп показателей. Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
Показатели оценки качества разработки					
1. Унифицированность	0,1	80	100	0,8	8
2. Надежность	0,12	85	100	0,85	10,2
3. Уровень материалоемкости разработки	0,04	55	100	0,55	2,2
4. Безопасность	0,15	90	100	0,9	13,5
5. Предоставляемые возможности	0,05	65	100	0,65	3,25
6. Простота эксплуатации	0,12	85	100	0,85	10,2
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность продукта	0,12	70	100	0,7	8,4
8. Уровень проникновения на рынок	0,1	75	100	0,75	7,5
9. Перспективность рынка	0,1	80	100	0,8	8
10. Стоимость разработки	0,1	70	100	0,7	7
Итого	1				78,25

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле 4.1:

$$P_{cp} = \sum V_i B_i = 78,25 \quad (4.1)$$

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

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

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

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

4.1.3 SWOT-анализ

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

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или

возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Сильными сторонами исследования можно назвать следующие свойства и особенности:

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

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

Слабыми сторонами исследования можно назвать следующие свойства и особенности:

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

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

К возможностям данного проекта можно отнести:

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

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

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

К угрозам можно отнести:

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

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

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

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

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

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

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Эта стратегия выбрана, так как необходимо найти стабильный рынок заказов и сбыта товара.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в приложении Ж.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула (4.2):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p (4.3), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (4.4):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (4.5):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.5)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3 – Временные показатели осуществления комплекса работ

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

На основе полученных выше расчетов строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работы в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования.

Календарный план-график проведения ВКР представлен в приложении 3.

Как видно из календарного план-графика проведения ВКР, выполнение работы проводилось в течение всего времени, которое выделили на выполнение ВКР.

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В

процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

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

4.2.5 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (4.6):

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.6)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.4.

Основные работы для ВКР проводились за рабочим местом. Время, проведенное за работой: 438 часов. Мощность рабочих станций: 0,5 кВт.

Таблица 4.4 — Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
2. Бумага	шт.	200	0,5	100
4. Ручка	шт.	2	30	60
Итого				160

4.2.6 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Статья включает основную заработную плату работников (таблица 4.6), непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату (4.7):

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.7)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (4.8):

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p, \quad (4.8)$$

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 (4.9):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.9)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле 4.10:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} * (1 + k_{\text{пр}}) * k_{\text{р}}, \quad (4.10)$$

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

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Таблица 4.6 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	1,3	44447	1894	14	26516
Студент	9893	-	1,3	12861	527	73	38471
Итого							64987

4.2.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле 4.11:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.11)$$

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

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$З_{\text{осн}}$	$З_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	26516	3182
Студент	0,12	38471	4617
		Итого	7799

4.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников (таблица 4.8).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (4.12):

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

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

Для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 4.8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Бакалавр
Основная заработная плата, руб.	26516	38471
Дополнительная заработная плата, руб.	3182	4617
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,27	
Сумма отчислений	8018	11634
Итого	19652	

4.2.9 Накладные расходы

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле (4.13):

$$C = C_{\text{эл}} * F_{\text{об}} * P = 5,8 * 0,5 * 438 = 1270 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 1270 рубля.

Накладные расходы приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Накладные расходы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
1. Электроэнергия	кВт·ч	219	5,8	1 270
3. Печать на листе А4	шт.	200	3	600
6. Доступ в интернет	месяц	3	420	1 260
Итого				3 130

4.2.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	160
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	64 987
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7 799
4. Отчисления во внебюджетные фонды	19 652
5. Накладные расходы	3 130
6. Затраты на научные и производственные командировки	-
7. Контрагентные расходы	-
Бюджет затрат НИИ	95 728

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.14)$$

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

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

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

Сравнение проводилось с уже имеющимся аналогом исследования, бюджет которого составил 102457 руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{r1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{95728}{102457} = 0,93. \quad (4.15)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает удешевление стоимости разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик исполнения проекта

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

$$I_{\text{р-ист1}} = 5 * 0,25 + 4 * 0,1 + 2 * 0,05 + 4 * 0,2 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 = 4$$

$$I_{\text{р-ист2}} = 5 * 0,25 + 5 * 0,1 + 3 * 0,05 + 5 * 0,2 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,5$$

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (4.17):

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}}; I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т. д.} \quad (4.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл. 4.12) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (4.18)$$

Таблица 4.12 — Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,93
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,3	4,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,9	1,12

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

Список публикаций студента

1. Беденко Н.Т., Шевелева А.А., Годовых А.В., Степанов Б.П. Разработка аналитического комплекса по оценке эффективности систем безопасности // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – С. 182-183.

2. Беденко Н. Т. Аспекты социально-экономических проблем развития атомной отрасли // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: материалы конференции в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, Северск, 21-25 марта 2016. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2016 – 153 с.

3. Беденко Н.Т., Годовых А.В., Степанов Б.П., Шевелева А.А. Особенности подготовки операторов систем безопасности для работы на промышленных объектах // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: материалы конференции в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, Северск, 10-14 апреля 2017. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 – 156 с.