

**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
<b>Обеспечение безопасности при обращении с ядерными материалами на заводе по регенерации топлива</b>

УДК 621.039.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Шевелева А.А.		

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	Сечина А.А.	к. х. 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 – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО 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>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
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.

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
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  
\_\_\_\_\_ 16.05.2016 О. Ю. Долматов

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Шевелевой Анастасии Андреевне

Тема работы:

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

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

	<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 неизвестного образца;</p> <p>– определение категории ядерного материала</p>
<b>Перечень графического материала</b>	схема ядерного объекта – обязательный чертеж

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А. А. Сечина
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Нет	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	16.05.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Степанов Б.П.	к.т.н.		16.05.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А2Г	Шевелева А.А.		16.05.2016

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А2Г	Шевелевой Анастасии Андреевне

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

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

- стоимость ресурсов технического решения: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих;
- нормы и нормативы расходования ресурсов.

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

- планирование потребности в человеческих ресурсах;
- планирование и формирование бюджета на разработку и внедрение инженерного решения;
- конкурентный анализ экономической эффективности фирм-подрядчиков

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	16.05.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Сечина А.А.	к. х. н.		16.05.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А2Г	Шевелева А.А.		16.05.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А2Г	Шевелевой Анастасии Андреевне

<b>Институт</b>	<b>Физико-технический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Физико-энергетические установки</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	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**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		16.05.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Шевелева А.А.		16.05.2016

**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:	14.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
<i>16.05.2016</i>	<i>Выдача задания</i>	
<i>23.05.2016</i>	<i>Проведение анализа уязвимости ядерного объекта</i>	
<i>30.05.2016</i>	<i>Выделение рубежей охраны</i>	
<i>06.06.2016</i>	<i>Проведение измерений и анализ полученных результатов</i>	
<i>14.06.2016</i>	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Степанов Б.П.	к.т.н		16.05.2016

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ ФТИ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		16.05.2016

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 с., 9 рис., 14 табл., 30 источников, 7 прил.

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

Объектом исследования является 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 неизвестного образца на основе его спектральных характеристик; оценка бюджета внедрения инженерного решения; 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;  
ЗЗ – защищенная зона;  
ИБ – информационная безопасность;  
ИТСФЗ – инженерно-технические средства физической защиты;  
КСП – контрольно-следовая полоса;  
КИТСФЗ – комплекс инженерных и технических средств физической защиты;  
ЛКПП – людской контрольный пропускной пункт;  
ЛПУ – локальный пункт управления;  
НСД – несанкционированный доступ;  
ОВЗ – особо важная зона;  
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;  
ТВС – тревожно-вызывная сигнализация;  
ТСФЗ – технические средства физической защиты;  
ФБ – физический барьер;  
ФЗ – физическая защита;  
ЦПУ – центральный пункт управления;  
ЯМ – ядерные материалы;  
ЯО – ядерный объект;  
ЯТЦ – ядерный топливный цикл

## Оглавление

Введение.....	15
1 Основные составляющие безопасного обращения с ядерными материалами	17
1.1 Организация системы физической защиты на ядерном объекте .....	17
1.1.1 Проектирование систем физической защиты.....	18
1.1.3 Структура системы физической защиты .....	20
1.2 Реализация государственной системы учета и контроля ядерных материалов .....	21
1.2.1 Организация системы учета и контроля ядерных материалов.....	22
1.2.2 Категорирование ядерных материалов .....	23
1.3 Методы анализа ядерных материалов.....	24
1.3.1 Спектрометрия альфа-излучения .....	24
1.3.2 Обработка альфа-спектра .....	25
2 Описание методов проведения исследования.....	29
2.1 Ядерный топливный цикл и режим нераспространения.....	29
2.1.1 Описание технологических операций на ядерном объекте .....	30
2.1.2 Организация системы учета и контроля на ядерном объекте .....	31
2.2 Анализ уязвимости ядерного объекта.....	36
2.2.1 Описание ядерного объекта .....	36
2.2.2 Выделение охраняемых зон .....	38
2.2.3 Модель нарушителя .....	40
3 Результаты проектирования и измерений .....	42
3.1 Оснащение периметра охраняемой зоны.....	42
3.2 Оснащение людского контрольно-пропускного пункта.....	43

3.3 Оснащение автомобильного контрольно-пропускного пункта.....	45
3.4 Оснащение железнодорожного контрольно-пропускного пункта.....	47
3.5 Спектрометрический анализ пробы неизвестного изотопного состава .....	48
3.5.1 Качественный анализ пробы .....	48
3.5.2 Количественный анализ пробы.....	50
4 Финансовый менеджмент.....	52
4.1 Планирование разработки и внедрения инженерного решения.....	52
4.2 Обоснование инвестиций. Расчет материальных затрат.....	53
4.2.1 Затраты на оборудование и монтаж .....	53
4.2.2 Затраты на трудовые ресурсы .....	53
4.3 Оценка вариантов исполнения проекта .....	56
5 Социальная ответственность .....	58
5.1 Анализ рабочего места студента .....	58
5.2 Анализ вредных факторов.....	59
5.2.1 Обеспечение микроклимата .....	60
5.2.2 Организация рабочего места.....	61
5.3 Анализ опасных факторов.....	63
5.3.1 Обеспечение электробезопасности .....	63
5.3.2 Организация защиты от пожарной и взрывной опасности.....	64
Заключение .....	66
Список публикаций студента.....	67
Список использованных источников .....	70
Приложение А .....	74
Приложение Б.....	76
Приложение В.....	77

Приложение Г .....	78
Приложение Д.....	79
Приложение Е.....	80
Приложение Ж.....	81

## 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).

На каждом ядерном объекте СУиК и СФЗ имеют свои особенности, поэтому необходим индивидуальный подход в зависимости от технологических процессов, характерных черт функционирования ЯО, наличия ЯМ разных видов и количеств. В настоящее время активно используются технологические процессы по переработке ядерного топлива с целью его повторного использования, поэтому обеспечение безопасности на заводе по регенерации ядерного топлива является актуальной задачей.

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

Задачи, которые необходимо выполнить в рамках выполнения работы:

- 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 неизвестного образца;

- составить бюджет на разработку и внедрение инженерного решения;
- описать рабочее место студента на предмет возникновения вредных и опасных факторов работы.

Объект исследования: завод по регенерации топлива. Предмет исследования: обеспечение безопасности при обращении с ЯМ.

Результаты работы могут быть использованы предприятиями, осуществляющими переработку ядерного топлива при организации СФЗ и СУиК ЯМ на ядерном объекте.

# **1 Основные составляющие безопасного обращения с ядерными материалами**

## **1.1 Организация системы физической защиты на ядерном объекте**

Физическая защита (ФЗ) ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов это деятельность, направленная на предотвращение несанкционированных действий по отношению к предметам защиты. В качестве несанкционированных действий рассматриваются: хищение или порча ядерного материала, диверсионные акты, угрожающих безопасности ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения [1].

Физическая защита обеспечивается на всех этапах жизненного цикла ядерной установки и ядерного материала.

В российских нормативно-правовых документах отражены требования по обеспечению ФЗ ЯО, установленные с учетом международных обязательств Российской Федерации в области использования атомной энергии [2]. Мероприятия по физической защите носят иерархический характер, они обеспечиваются на государственном, отраслевом уровнях и на уровне отдельного ядерного объекта.

На государственном уровне (государственная система ФЗ) физическая защита представлена в виде совокупности федеральных органов исполнительной власти, которые осуществляют государственное регулирование и управление в области безопасности объектов использования атомной энергии. Также на данном уровне осуществляется надзор и контроль за исполнением требований к физической защите.

На ведомственном (отраслевом) уровне обеспечивается руководство в рамках обеспечения физической защиты на подведомственных объектах с учетом особенностей отрасли. Управленческие структуры координируют материальное обеспечение создания системы физической защиты, оказывают методическую помощь и обеспечивают ведомственный контроль за функционированием СФЗ на ЯО.

На уровне ядерного объекта (объектовая СФЗ) реализуется весь комплекс мероприятий по обеспечению физической защиты в соответствии с нормативными документами на конкретном ядерном объекте. Именно здесь подвергаются решению конкретные задачи по защите ядерного материала и ядерных установок от несанкционированных действий.

Таким образом, деятельность на всех уровнях вносит свой вклад в обеспечении физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов.

### **1.1.1 Проектирование систем физической защиты**

Несанкционированные действия по отношению к ядерным материалам и ядерным установкам могут быть предотвращены путем противодействия нарушителям.

Противодействие нарушителям рассматривается как определенные меры по охране ядерного объекта или обеспечение ответного действия, предотвращающего достижение нарушителями их цели [3]. Исходя из этого выделяются следующие функции СФЗ ЯО [4]:

- предупреждение несанкционированных действий (НСД);
- своевременное обнаружение НСД;
- задержка продвижения нарушителя;
- реагирование на несанкционированные действия и их пресечение.

Для выполнения задач физической защиты на ядерном объекте в соответствии нормативно-правовыми документами государственного, ведомственного и объектового уровнях обеспечивается: анализ уязвимости и оценка эффективности СФЗ на этапах ее проектирования и совершенствования; оценка последствий НСД в отношении предметов системы физической защиты (ПФЗ); категорирование ПФЗ; помещений и ядерного объекта; зонирование ЯО и определение мест размещения ПФЗ; обеспечение функционирования СФЗ.

Данные мероприятия проводятся в соответствии с особенностями конкретного ядерного объекта. При проектировании СФЗ ЯО необходимо определить характер деятельности и технологических операций, которые могут повлиять на обеспечение физической защиты данного ЯО. Помимо этого, определяются границы территории объекта, схема расположения производственных и других зданий, точки доступа на территорию объекта. Вышеперечисленные характеристики позволяют сформулировать требования к обеспечению физической защиты ядерного объекта.

Создание СФЗ включает в себя следующие этапы: предпроектная стадия, стадия проектирования, стадия ввода в действие СФЗ, эксплуатация.

Предпроектная стадия включает в себя анализ уязвимости ЯО, что подразумевает определение ПФЗ: ядерный материал, уязвимые места ядерной установки или пункта хранения. Для каждого ПФЗ формируются потенциальные угрозы и модели вероятных нарушителей.

Также на данном этапе происходит категорирование ПФЗ, помещений, зданий и сооружений в которых размещаются ПФЗ, и ЯО. В качестве показателей категорирования ПФЗ рассматриваются: категория ЯМ, степень секретности ПФЗ, категория последствий несанкционированных действий [5]. Категории помещений, зданий, сооружений, а также категория ЯО определяются исходя из максимальной категории находящихся в них ПФЗ. С учетом выявленных категорий происходит зонирование ЯО, а также определяются основные требования по оснащению охраняемых зон.

Стадия проектирования подразумевает разработку: проекта комплекса инженерно-технических средств, проектно-конструкторской документации организационно-технических документов.

Стадия ввода в действие СФЗ включает проведение строительных и монтажно-наладочных работ, испытание и приемку СФЗ. На данном этапе проводятся предварительные испытания и моделирование использования СФЗ. После этого СФЗ принимается комиссией в эксплуатацию.

### 1.1.3 Структура системы физической защиты

Система физической защиты ядерного объекта представляет собой взаимосвязанную совокупность организационных мер, персонала физической защиты и комплекса инженерно-технических средств (ИТСФЗ).

В совокупности все составные части СФЗ ЯО направлены на выполнение функций физической защиты, а именно: предупреждение, обнаружение, задержка и реагирование.

Комплекс организационных мероприятий устанавливают требования и правила на объекте в плане функционирования СФЗ. Организационные мероприятия включают в себя:

- порядок действия персонала ЯО как в штатных, так и в аварийных ситуациях;
- организация взаимодействия служб объекта, связанных с ФЗ с внешними силовыми структурами и вышестоящими организациями;
- техническое обслуживание ИТСФЗ.

Инженерные средства физической защиты (или физические барьеры) направлены на обеспечение задержки нарушителя, то есть замедление его движения по территории охраняемой зоны. Увеличение времени движения нарушителя по объекту необходимо для того, чтобы силы реагирования успели добраться до него как можно быстрее. Физические барьеры могут быть выполнены как существующих на объекте элементы строительных конструкций (стены, двери), или как искусственно созданные инженерные сооружения: заграждения на периметре и охраняемых зонах, противотаранные устройства, усиленные двери и решетки и т.д.

Технические средства физической защиты направлены на получение информации о несанкционированных действиях нарушителя. Среди технических средств физической защиты можно выделить следующие компоненты:

- система охранной сигнализации, назначением которой является получение информации о совершении НСД (средства обнаружения);
- подсистема оценки ситуации, направленная на подтверждение сигналов тревоги (система телевизионного наблюдения, использование контрольно-следовых полос);
- подсистема управления доступом, реализующая возможность санкционированного доступа на объект и в его охраняемые зоны (организация контрольно-пропускных пунктов);
- система специальной связи, являющаяся средством управления сил реагирования и обеспечивающая связь внутреннюю и внешнюю связь на ЯО;
- обеспечивающие системы, предназначенные для обеспечения функционирования других систем.

Силы реагирования выполняют задачу по пресечению несанкционированных действий нарушителя и их задержанию. Силы реагирования начинают действовать после получения информации о попытках совершения проникновения нарушителя на объект или его охраняемые зоны.

Таким образом, СФЗ представляет собой автоматизированную систему, комплексно выполняющую функции по обеспечению безопасности ядерного объекта.

## **1.2 Реализация государственной системы учета и контроля ядерных материалов**

Требования к государственному учету и контролю ядерных материалов при их производстве, использовании, переработке, хранении и транспортировке установлены в России основными правилами учета и контроля ядерных материалов [6].

В рамках ГСУиК ЯМ осуществляется деятельность по сбору информации о качественном и количественном составе ЯМ, по контролю за наличием и перемещением ЯМ, а также по ведению учетной и отчетной документации.

ГСУ и К ЯМ осуществляется:

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

### **1.2.1 Организация системы учета и контроля ядерных материалов**

ЯМ подлежат государственному учету и контролю, начиная с их минимального количества, установленного [6]. Для обеспечения дифференцированного подхода к применяемым процедурам учета и контроля ядерный материал должен быть категорирован.

Структурной единицей СУиК ЯМ на объектовом уровне является зона баланса материалов (ЗБМ). ЗБМ это 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.

В каждой ЗБМ устанавливаются ключевые точки измерений, в которых ЯМ подвергаются измерению для определения их параметров и атрибутивных

признаков. Также в КТИ определяется наличное количество ЯМ. КТИ в ЗБМ выбираются так, чтобы обеспечить измерение потока и фактически наличного количества ЯМ в ЗБМ.

Помимо структурного деления ядерного объекта для более удобного осуществления целей и задачи учета и контроля ЯМ, в рамках данной системы обеспечивается контроль доступа к ЯМ. Процедуры данной системы включают в себя наблюдение за ЯМ, проверку санкционированного доступа и перемещению 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 устройства индикации вмешательства.

### **1.2.2 Категорирование ядерных материалов**

В государственной системе учета и контроля ядерные материалы разделяются на категории, которые представляют собой количественную характеристику значимости ЯМ с точки зрения учета и контроля.

Категории ЯМ определяются в соответствии с документом [6]. Основным критерием по определению категории ЯМ является его количество. Также определяющими являются химическая форма и вид самого ядерного материала. Уран определяется по степени обогащения  $U^{235}$ . I категория определяется минимальным количеством ЯМ, необходимым для изготовления оружия.

Категория расположенных на объекте ЯМ определяет требования к частоте инвентаризации в ЗБМ, точности контрольных измерений при подведении баланса ЯМ, а также в зависимости от категории ЯМ осуществляется дифференцированный подход к процедурам и методам контроля несанкционированных действий.

## 1.3 Методы анализа ядерных материалов

### 1.3.1 Спектрометрия альфа-излучения

Альфа-спектрометрия является методом, основанным на измерении спектров альфа-излучения, испускаемого ЯМ. Чаще всего данный метод используется при проведении разрушающего анализа [8], так как проведение измерений альфа-излучения образца при неразрушающем анализе проблематично из-за особенностей взаимодействия альфа-частиц с веществом.

Разрушающий анализ проводится в качестве подтверждающих измерений для контроля результатов неразрушающего анализа, а также при проведении особо важных контрольных измерений.

Большинство радиоактивных веществ, излучающих альфа-частицы, испускают частицы в диапазоне энергий от 4 до 7 МэВ. Альфа-частицы обладают высокой ионизирующей способностью: частица с энергией 4,2 МэВ образует в воздухе примерно  $10^5$  пар ионов. Длина пробега альфа-частиц в веществе зависит от их энергии и может изменяться от 2,4 до 10,2 см в воздухе (от 16,5 до 61,6 мкм в алюминии) [9].

Основным методом определения альфа-излучателей с различным периодом полураспада является альфа-спектрометрия с применением полупроводниковых детекторов.

Для определения альфа-излучателей наибольшее распространение получили кремниевые полупроводниковые поверхностно-барьерные (SBS – Surface Barrier Detector) или ион-имплантированные (PIPS – Passivated Implanted Planar Silicon) детекторы. В настоящее время для определения альфа-излучателей применяют кремниевые детекторы различной площади и с толщиной чувствительного слоя около 100 мкм, что обеспечивает поглощение альфа-частиц с энергиями от 4 до 9 МэВ [10].

При проведении измерений необходимо учитывать то, что альфа-частицы являются тяжелыми частицами и, следовательно, могут значительно потерять

энергию внутри источника, в воздушном пространстве на пути к детектору и в самом входном окне детектора.

Поэтому применяются специальные разрушающие методы для изготовления тонких альфа-источников, в которых не будет происходить самопоглощения.

Детектор и источник находятся в вакуумной камере для предотвращения ослабления потока альфа-частиц в воздухе. Современные альфа-спектрометрические системы могут работать одновременно с несколькими детекторами. В подобных системах каждый детектор с вакуумной камерой, предусилителем, источником питания и усилителем составляют интегрированный блок.

Входное окно самого детектора должно быть максимально тонким (до нескольких микрометров). Однако это не позволяет полностью исключить потери энергий альфа-частиц во входном окне («мертвом» слое). Часто используют диафрагму с коллимирующим отверстием или удаляют источник от детектора. Это позволяет уравнивать пробеги частиц в веществе.

### **1.3.2 Обработка альфа-спектра**

Основным источником информации о составе радионуклидов в измеряемых образцах является аппаратный спектр, который косвенно отражает первичный энергетический спектр излучателя.

Регистрируемый аппаратурой сигнал измеряется аналого-цифровым преобразователем. Данному сигналу должна приписываться определенная энергия. Это достигается проведением калибровки измерительной системы.

Энергетическая калибровка проводится для установления соответствия «канал – энергия» и необходима для проведения качественного анализа. Чаще всего для проведения калибровки по энергии используются калибровочные источники, у которых наблюдаются один или два интенсивных энергетических

пика [10]. Энергетическая градуировка хорошей спектрометрической системы приблизительно линейна.

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

$$y(x) = y_0 \cdot \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

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

$y_0$  – амплитуда пика;

$x_0$  – центроида пика;

$\sigma^2$  – дисперсия.

Дисперсия может быть вычислена по следующей формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i-x_0)^2 \cdot y_i}{\sum y_i}, \quad (2)$$

где  $y_i$  – число отсчетов в канале  $x_i$ .

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

$$x_0 = \frac{\int_{x_1}^{x_2} xy(x)dx}{\int_{x_1}^{x_2} y(x)dx}, \quad (3)$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – границы рассматриваемой площади.

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.

Большинство математических способов требуют, чтобы форма пика была близка к кривой Гаусса или была симметрична. Поэтому для определения положения пика альфа-спектра целесообразно использовать графический или визуальные методы.

После определения центроиды пика необходимо провести идентификацию изотопов. Идентификация проводится при помощи библиотек альфа-нуклидов, в которых указываются нуклид, его энергетические линии и выход каждой линии. Для идентификации изотопа необходимо, чтобы в спектре присутствовали все линии данного нуклида и соотношение их скоростей счета совпадало с соотношениями выходов.

Для проведения качественного анализа необходимо знать число зарегистрированных частиц в пике полного поглощения. Для нахождения числа импульсов индивидуальных альфа-пиков выделяют соответствующие области спектра, в которых находятся пики, и проводят суммирование числа импульсов в пределах этих областей.

Между параметром  $\sigma^2$  (дисперсией) и полной шириной на половине высоты ПШПВ справедливо следующее соотношение:

$$\text{ПШПВ} = 2\sqrt{2\ln 2} \cdot \sigma. \quad (4)$$

При определении рассматриваемых областей необходимо отложить 2,5 величины ПШПВ в низкоэнергетическую область и 1,5 ПШПВ в высокоэнергетическую области [11].

После определения рассматриваемых областей происходит суммирование числа отсчетов в рассматриваемой области пика и вычитается фон.

Для проведения качественного анализа необходимо знать еще одну характеристику – эффективность детектирующей системы. Полная эффективность детектирующей системы определяет долю частиц, зарегистрированных детектором к количеству испущенных источником частиц. Эффективность зависит от геометрии измерений, величины самопоглощения

частиц в источнике, собственной эффективности детектора и т.д. Эффективность детектирующей системы альфа-излучения является энергетически независимой, это означает, что альфа-частица любой энергии достоверно регистрируется детектором и передаст всю энергию при попадании в него. Таким образом, необходимо учитывать только геометрические и другие особенности проведения измерений. Уравнение для проведения калибровки по эффективности представляет собой константу.

Для вычисления активности образца используется следующая формула:

$$A = \frac{S_{\text{пика}}}{\omega \cdot \varepsilon \cdot t_{\text{изм}}}, \quad (5)$$

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

$\omega$  – выход;

$\varepsilon = 0,09$  – эффективность;

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

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

$$m = \frac{A \cdot \mu \cdot T_{1/2}}{\ln 2 \cdot N_A}, \quad (6)$$

где  $\mu$  – молярная масса, г/моль;

$T_{1/2}$  – период полураспада, с;

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

Таким образом, применяя методики анализа альфа-спектра, возможно проведение качественного и количественного анализа.

## Список публикаций студента

1. Godovykh A.V., Sheveleva A.A., Stepanov B.P. Appliance of informational and technical means in carrying out project activities by students // IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON - 2016): Proceedings, Abu Dhabi, April 10-13, 2016. - Abu Dhabi: Khalifa University, 2016 - p. 285-290.
2. Sheveleva A.A., Stepanov B.P. Forming of safe urban environment based on external and internal factors // 2016 11<sup>th</sup> International forum on Strategic Technology (IFOST): Proceedings, Novosibirsk, June 1-3, 2016. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2016 – p. 338-341.
3. Шевелева А.А., Степанов Б.П. Maintenance of nuclear non-proliferation regime when using uranium-plutonium nitride fuel // Addressing Emerging Nonproliferation Challenges: Proceedings of Young Scholars Interdisciplinary Forum, Astana, October 9, 2015. - Astana: Nuclear Society of Kazakhstan, 2015 - p. 41-42.
4. Sheveleva A.A., Lemza E.V., Doroshenko M.A. Thermonuclear energy is a future source of energy // Методология проектирования молодежного научно-инновационного пространства как основа подготовки современного инженера: сборник научных трудов международной молодежной научной школы, Томск, 2-4 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 98-101.
5. Бредихина Ю.П., Шевелева А.А. Организация спортивных мероприятий для студентов лечебной физкультуры // Физическая культура и спорт на современном этапе: проблемы, поиски, решения: материалы всероссийской научно-практической конференции, Томск, 18 Декабря 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 97-98.
6. Степанов Б. П., Шевелева А.А. Формирование безопасной городской среды с учетом внешних и внутренних факторов // Города и местные сообщества: материалы всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, 15-16 Апреля 2015. - Пермь: ПНИПУ, 2015 - С. 108-121.

7. Степанов Б.П., Шевелева А.А. Вопросы нераспространения ядерных материалов при реализации проекта Брест-ОД-300 // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции, Томск, 2-4 Декабря 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 12-14.
8. Шевелева А.А., Степанов Б.П. Оценка рисков при выводе из эксплуатации атомных электростанций // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 14-16 Октября 2015. - Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2015 - С. 76.
9. Вахрушева Ю.С., Степанов Б.П., Шевелева А.А. Аналитический комплекс для проектирования систем физической защиты // V Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 22-24 Октября 2014. - Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2014 - С. 47.
10. Годовых А.В., Степанов Б.П., Шевелева А.А. Нормативное обеспечение функционирования систем безопасности // V Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 22-24 Октября 2014. - Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2014 - С. 51.
11. Шевелева А.А., Годовых А.В., Степанов Б.П. Безопасность городской среды как фактор комфортности жизни населения // Международный студенческий научный вестник. - 2015 - №. 4-4. - С. 609-610.
12. Егорова М.С., Шевелева А.А. Динамика процессов реорганизации и ликвидации фирм в России // Молодой ученый. – 2015 - №. 9(89). – С. 594-597.
13. Егорова М.С., Шевелева А.А. Процедуры реорганизации и финансового оздоровления предприятия // Современные научные исследования и инновации. – 2015 - №5. – С. 1-4.
14. Егорова М.С., Шевелева А.А. Теоретические аспекты организации и реорганизации предприятия // Молодой ученый. – 2015 - №9(89). – С. 758-761.

15. Шевелева А.А., Степанов Б.П. Моделирование процесса оценки эффективности систем безопасности // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: Материалы конференции в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, 21-25 марта 2016 г., г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2016 – С. 106.
16. 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.