

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оценка надежности системы физической защиты ядерного объекта

УДК 621.039.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5Б	Башлай Алёна Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник исследовательской группы	Савинова И. Ю.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер-экономист 2 категории	Оглезнева А. С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер по охране труда 1 категории	Аверков О. Н.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ФЭУ

(Подпись) _____ (Дата) Долматов О.Ю.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ5Б	Башлай Алёне Сергеевне

Тема работы:

Оценка надежности системы физической защиты	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 959/с от 16.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– система физической защиты одного из помещений, расположенного на ядерном объекте, с целью оценки надежности указанной системы; – функции системы физической защиты: – должна выполнять требуемые задачи, в течение установленного срока службы с периодичностью технического обслуживания – один раз в месяц.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– изучение методической базы по оценке показателей надежности; – сбор информации по построению и содержанию системы физической защиты; – поиск показателей надежности элементов, входящих в состав системы физической защиты; – составление структурной расчетной схемы системы физической защиты; – определение расчетной формулы для определения оценки показателей надежности системы физической защиты с учетом требований по эксплуатации и применению; – проведение расчетов по выведенным формулам;

	– оценка надежности системы физической защиты.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Оглезнева Анна Сергеевна
Социальная ответственность	Аверков Олег Николаевич
Иностранный язык	Степанова Оксана Геннадьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основные понятия надежности системы	
Методика расчета надежности	
Оценка надежности системы физической защиты	
Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
Безопасность использования и анализа данных при помощи электронной вычислительной машины	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник исследовательской группы	Савинова И. Ю.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5Б	Башлай Алёна Сергеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5Б	Башлай Алёне Сергеевне

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	– материально-технических; – энергетических; – информационных; – человеческих.
---	---

<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– электроэнергии.
--	-------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	– проведение предпроектного анализа; – анализ конкурентно-технических решений с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
---	--

<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	– организация структуры проекта.
--	----------------------------------

<i>Планирование процесса управления НТИ</i>	– определение бюджета НТИ.
---	----------------------------

<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	– проведение оценки экономической эффективности НТИ.
---	--

<i>Перечень графического материала</i>	– представлен 1 рисунок и 7 таблиц.
--	-------------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер-экономист 2 категории	Оглезнева А. С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5Б	Башлай Алёна Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5Б	Башлай Алёне Сергеевне

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. *Описание рабочего места*

2. *Законодательные и нормативные документы по теме*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i>	Анализ выявленных вредных факторов: – электромагнитные поля, ионизирующее излучение; – средства защиты.
<i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведенной среды</i>	Анализ выявленных опасных факторов: – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер по охране труда 1 категории	Аверков О. Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5Б	Башлай Алёна Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц, 11 рисунков, 15 таблиц, 17 источников, 6 приложений.

Ключевые слова: надежность, оценка надежности, вероятность безотказной работы, система физической защиты, ядерный объект.

Объектом исследования является система физической защиты и определение ее надежности.

Цель работы – определить уровень вероятности безотказной работы системы физической защиты на ядерном объекте в соответствии с заданными требованиями.

В процессе исследования изучены методики определения надежности, составлены структурные расчетные схемы и формулы для оценки вероятности безотказной работы системы физической защиты, определены исходные данные.

В результате исследования проведена оценка надежности системы физической защиты лабораторного помещения с элементами системы охранной сигнализации в соответствии с установленными требованиями.

Оценка вероятности безотказной работы системы является одним из основных этапов любой разработки Госкорпорации «Ростатом» и позволяет сделать вывод о дальнейшем применении системы физической защиты на ядерных объектах.

Список сокращений

АКПП – автомобильный контрольно-пропускной пункт;
БДГИ – блок детектирования гамма-излучения;
ВБР – вероятность безотказной работы;
ВЗ – внутренняя зона;
ВИП – высоковольтный источник питания;
ВЧ – высокая частота;
Ж/Д КПП – железнодорожный контрольно-пропускной пункт;
ИИИ – источник ионизирующего излучения;
ЛКПП – людской контрольно-пропускной пункт;
НТИ – научно-техническое исследование;
ОВЗ – особо-важная зона;
ПФ – производственный фактор;
ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;
СИЗ – средства индивидуальной защиты;
СВЧ – сверхвысокочастотное излучение;
ССОИ – система сбора и обработки информации;
СФЗ – система физической защиты;
ТБ – техника безопасности;
ТВС – тепловыделяющая сборка;
ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;
ЦПУ – центральный пункт управления;
ЭУ – электронное устройство;
ЭМИ – электромагнитное излучение.

Оглавление

Реферат	7
Список сокращений	8
1 Основные понятия надежности системы.....	13
1.1 Показатели надежности.....	15
1.1.1 Вероятность безотказной работы.....	16
1.1.2 Частота отказов. Средняя частота отказов.....	19
1.1.3 Интенсивность отказов.....	22
1.1.4 Среднее время безотказной работы. Среднее время между соседними отказами	24
1.2 Законы распределения времени между отказами.....	27
1.2.1 Экспоненциальное распределение	29
2 Методика расчета надежности.....	31
2.1 Идентификация объекта.....	32
2.2 Исходные данные.....	34
2.3 Описание методики оценки надежности	40
3 Оценка надежности системы физической защиты	42
3.1 Расчет надежности блока детектирования гамма-излучения.....	42
3.2 Расчет надежности системы охранной сигнализации.....	46
3.3 Расчет надежности системы физической защиты	48
4 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50
4.1 Техничко-экономическое обоснование	50
4.2 Планирование этапов и работ по выполнению оценки надежности системы	50
4.2.1 Состав затрат, включаемых в себестоимость проведения оценки надежности системы.....	51
4.2.2 Формирование и расчет затрат, включаемых в себестоимость.....	51
4.3 Организационная структура проекта	54

4.3.1 Матрица ответственности	55
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой и экономической эффективности исследования.....	57
5 Безопасность использования и анализа данных при помощи электронной вычислительной машины	60
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	60
5.2 Разработка мероприятий по снижению уровней вредного и опасного воздействия и устранения их влияния при работе на ПЭВМ.....	61
5.2.1 Требования и организация работ на ПЭВМ.....	61
5.2.2 Технические мероприятия	62
5.2.3 Условия безопасной работы	64
5.3 Электробезопасность	66
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	67
Заключение	68
Список публикаций студента.....	69
Список использованных источников	71
Приложение А	73
Приложение Б	91
Приложение В.....	92
Приложение Г	93
Приложение Д.....	98
Приложение Е.....	106

Введение

Общепринятая схема организации охраняемых объектов до настоящего времени предполагала использование в качестве основного элемента размещение на объекте или вблизи него поста – часового, охранника и т.д. В функции поста входили следующие задачи:

- обнаружение нарушителя;
- оповещение групп задержания или караула о нарушении;
- принятие соответствующих мер по пресечению действий нарушителя и защите охраняемого объекта.

В настоящее время информация о фактах обнаружения, конкретном местоположении, траекториях и вероятных маршрутах передвижения нарушителей и абонентов служебного персонала по территории ядерного объекта осуществляется с помощью сложных автоматизированных систем и устройств.

Основная задача управления таким системами, связанными с повышением эффективности обнаружения несанкционированного действия, поставила в качестве первоочередной проблему обеспечения высокой надежности автоматизированных систем и технических средств.

Подсознательно надежность связывают с недопустимостью отказов технических средств. Поэтому под надежностью понимают безотказность, т. е. свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение заданного времени или наработки.

Теория надежности устанавливает закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности системы и ее элементов, рассматривает влияние внешних и внутренних воздействий на процессы в системах, создает основы расчета надежности и предсказание отказов, изыскивает способы повышения надежности при конструировании и изготовлении систем и элементов, а также способы сохранения надежности при эксплуатации.

На современном этапе развития техники надежность из желательного качества превратилась в обязательное требование, выражаемое конкретными показателями.

Оценка надежности и безопасности систем физической защиты предусмотрена требованиями государственных стандартов и руководящими документами о декларировании промышленной безопасности и риска. Готовность организаций и предприятий, разрабатывающих и эксплуатирующих различные сложные технические системы, выполнять анализ их надежности и безопасности является обязательным условием их государственной сертификации. Такой анализ необходим на всех этапах жизненного цикла систем и, прежде всего, на стадии проектирования. Его главной целью является получение достоверной информации, необходимой для выработки и обоснования управленческих решений в областях:

- обеспечение надежности и безопасности;
- обеспечение высокого качества выпускаемой продукции;
- оптимизация затрат на обеспечение надежности и безопасности проектируемых или эксплуатируемых систем.

Целью работы является оценка надежности системы физической защиты гипотетического ядерного объекта.

Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи:

- изучение методической базы по оценке показателей надежности;
- сбор информации по построению и содержанию системы физической защиты;
- поиск показателей надежности элементов, входящих в состав системы физической защиты и составление структурной расчетной схемы системы физической защиты;
- определение расчетной формулы для оценки надежности системы физической защиты с учетом требований по эксплуатации и применению, проведение расчетов по выведенным формулам;
- оценка надежности системы физической защиты.

1 Основные понятия надежности системы

Эффективность функционирования систем автоматического управления зависит от надежности как отдельных устройств, входящих в системы, так и аппаратуры, обеспечивающей взаимодействие между этими устройствами. Отказы технических устройств могут привести к аварийным ситуациям, последствия которых трудно представить.

Сложность современных и будущих технических систем, многообразие режимов работы, быстрая смена устаревших элементов новыми – все это обуславливает необходимость общетеоретического подхода к повышению надежности всех систем независимо от их устройства и назначения.

Согласно ГОСТ 27.002-2015, под надежностью понимают способность (свойство) объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1].

По определению надежность – это свойство, т.е. к ней не применимы какие-либо количественные оценки, хотя на практике часто это понятие ассоциируется с вероятностью безотказной работы с соответствующими количественными характеристиками. Поэтому, можно говорить только о показателях надежности и только показателям надежности можно предписывать количественные значения [2].

Теория надежности изучает:

- показатели и количественные характеристики надежности;
- методы анализа надежности элементов и систем;
- методы синтеза элементов и систем с заданной надежностью;
- методы повышения надежности системы на этапах проектирования и эксплуатации;
- методы испытаний на надежность.

В общем случае надежность включает следующие характеристики: безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость.

Под безотказностью понимается свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения [1].

Под ремонтпригодностью понимается свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта [1].

Под долговечностью понимается свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния [1].

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования [1].

Различают два основных состояния объектов: работоспособное и неработоспособное. Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации и конструкторской документации, называется работоспособным состоянием, иначе, неработоспособным [1].

Все неисправности, возникшие при функционировании прибора, разделяют на дефекты, повреждения и отказы.

Каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией, называется дефект [1].

Событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния, называется повреждение [1].

Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, называется отказом [1].

Моменты возникновения отказов в сложной системе обычно являются событиями случайными. Отказы, как случайные события, могут быть

независимыми и зависимыми. Если отказ какого-либо элемента в системе не обусловлен другими отказами, то такой отказ называется независимым. Отказ, обусловленный другими отказами, называется зависимым [1].

Для системы физической защиты большое значение имеют сбои. Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора [1].

Сбой для систем опасен тем, что вследствие сбоя возможно искажение информации, что приводит к неправильному функционированию системы.

Понятие надежности является фундаментальным понятием, которое охватывает все стороны технической эксплуатации элементов и системы.

1.1 Показатели надежности

Качественного определения надежности недостаточно, так как оно не позволяет:

- сформулировать требования к надежности вновь разрабатываемой системы;
- оценить надежность;
- сравнить надежность различных элементов и систем;
- рассчитать сроки службы и необходимое количество запасных элементов для нормальной эксплуатации системы;
- наметить пути повышения надежности, рассчитать количество элементов системы, необходимое для решения поставленной задачи и т.д.

Для этих целей необходимы показатели надежности. Показатель надежности – это количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта [1].

Количественная характеристика надежности является техническим параметром элемента, прибора, системы и др.

Показатели надежности дают представление о надежности всей совокупности системы определенного типа. Указанные показатели позволяют

сравнивать системы по надежности, оценивать надежность числом, намечать пути повышения надежности, эффективнее эксплуатировать систему [3].

Для того, чтобы оценить систему физической защиты, необходимо определить показатели надежности. Подобными характеристиками могут быть: вероятность безотказной работы, среднее время между отказами, интенсивность отказов, частота отказов, коэффициенты надежности. Описание указанных характеристик, их математическая трактовка, а также достоинства и недостатки приводятся ниже.

1.1.1 Вероятность безотказной работы

Под вероятностью безотказной работы ($P(t)$) понимается вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет [1].

Пусть время t – время, в течение которого необходимо определить вероятность безотказной работы, а T_1 – время работы системы от ее включения до первого отказа [3].

Тогда, согласно определению вероятности безотказной работы, справедливо выражение:

$$P(t) = P(T_1 \geq t), \quad (1.1)$$

т.е. вероятность безотказной работы – это вероятность того, что время T_1 от момента включения системы до ее отказа будет больше или равно времени t , в течение которого определяется вероятность безотказной работы [3].

Вероятность безотказной работы зависит от интервала времени, и чем больше этот интервал, тем меньше вероятность, то есть $P(t)$ является убывающей функцией.

Вероятность безотказной работы в течение конечных интервалов времени может иметь значения:

$$0 \leq P(t) \leq 1. \quad (1.2)$$

На практике для определения $P(t)$ из статистических данных об отказах системы обычно используются методы непосредственного подсчета вероятностей. Опытным путем вероятность безотказной работы определяется следующей статистической оценкой:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1.3)$$

где N_0 – число элементов в начале испытаний;

$n(t)$ – число отказавших элементов за время t .

При увеличении числа элементов N_0 статистическая оценка $P^*(t)$ вероятности обнаруживает устойчивость, т.е. $P^*(t)$ не отличается от вероятности безотказной работы:

$$P(t) \approx P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}. \quad (1.4)$$

На практике иногда более подходящей характеристикой является вероятность неисправной работы, или вероятность отказов. Исправная работа и отказ являются событиями несовместными и противоположными. Поэтому вероятность безотказной работы и вероятность отказа $Q(t)$ связаны зависимостью:

$$Q(t) = 1 - P(t), \quad (1.5)$$

или на основании (1.1):

$$Q(t) = P(T_1 \leq t). \quad (1.6)$$

Для статистического определения вероятности отказа, подставляя (1.4) в (1.5), получим формулу:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N_0 - N_0 + n(t)}{N_0} = \frac{n(t)}{N_0}. \quad (1.7)$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$, как количественная характеристика надежности, обладает следующими достоинствами:

- она характеризует изменение надежности во времени;
- она входит во многие другие характеристики системы, а поэтому может быть полезна широкому кругу лиц, занимающихся вопросами проектирования, эксплуатации, ремонта и т.д.;
- вероятность безотказной работы охватывает большинство факторов, существенно влияющих на надежность системы, и поэтому достаточно полно характеризует надежность;
- $P(t)$ может быть оценена расчетным путем до изготовления системы. Это позволяет выбрать оптимальную в смысле надежности структуру системы и ее принципиальную схему;
- $P(t)$ является удобной характеристикой надежности как простейших элементов, так и сложных систем и даже комплексов.

Указанные достоинства вероятности безотказной работы явились причиной наибольшего распространения этой характеристики [3].

Однако вероятность безотказной работы имеет также существенные недостатки:

- она характеризует надежность восстанавливаемых систем только до первого отказа, а поэтому является достаточно полной характеристикой надежности только систем разового использования;
- вероятность безотказной работы не всегда удобна для оценки надежности простых элементов, в особенности таких, у которых отсутствует старение;

– по известной вероятности безотказной работы бывает трудно вычислить другие показатели надежности.

Эти недостатки позволяют понять, что вероятность безотказной работы, как, впрочем, и любая другая характеристика, не полностью характеризует такое свойство как надежность, и поэтому не может быть с ним отождествлена [3].

1.1.2 Частота отказов. Средняя частота отказов

Частотой отказов ($a(t)$) называется отношение числа отказавших элементов системы в единицу времени к числу элементов, первоначально установленных на испытание при условии, что отказавшие элементы не восстанавливаются и не заменяются исправными [3].

Согласно определению:

$$a(t) = \frac{n(t)}{N_0 \Delta t}, \quad (1.8)$$

где $n(t)$ – число отказавших элементов в интервале от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$;

Δt – интервал времени;

N_0 – число элементов системы, первоначально установленных на испытание.

Выражение (1.8) является статистическим определением частоты отказов. Этой количественной характеристике надежности легко дать вероятностное определение [3]. Вычислим в выражении (1.8) $n(t)$, т. е. число элементов, отказавших в интервале Δt .

Очевидно,

$$n(t) = -[N(t + \Delta t) - N(t)], \quad (1.9)$$

где $N(t)$ – число элементов, исправно работающих к моменту времени t ;
 $N(t + \Delta t)$ – число элементов, исправно работающих к моменту времени $t + \Delta t$.

При достаточно большом числе элементов N_0 справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} N(t) &= N_0 P(t), \\ N(t + \Delta t) &= N_0 P(t + \Delta t). \end{aligned} \quad (1.10)$$

Подставляя (1.9) в (1.8) и учитывая (1.10), получим

$$a(t) = - \frac{N_0 [P(t + \Delta t) - P(t)]}{N_0 \Delta t}. \quad (1.11)$$

Устремляя Δt к нулю и переходя к пределу, получим:

$$a(t) = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} = -P'(t) \quad (1.12)$$

или с учетом (1.5):

$$a(t) = Q'(t). \quad (1.13)$$

Из этого выражения видно, что частота отказов есть плотность распределения времени работы системы до ее отказа. Численно она равна взятой с обратным знаком производной от вероятности безотказной работы. Выражение (1.13) является вероятностным определением частоты отказов [3].

Таким образом, между частотой отказов, вероятностью безотказной работы и вероятностью отказов при любом законе распределения времени возникновения отказов существуют однозначные зависимости. Эти зависимости на основании (1.5) и (1.13) имеют вид:

$$Q(t) = \int_0^t a(t) dt, \quad (1.14)$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t a(t) dt. \quad (1.15)$$

Характеристика $a(t)$ имеет также существенные недостатки. Эти недостатки становятся ясными, при рассмотрении выражения (1.8). При определении $a(t)$ фиксируется число отказавших элементов $n(t)$ за промежуток времени Δt при условии, что все отказавшие ранее элементы не восполняются исправными. Это означает, что частоту отказов можно использовать для оценки надежности только таких элементов, которые после возникновения отказов не ремонтируются и не эксплуатируются [3].

Частота отказов, полученная при условии замены отказавшей системы исправной, называется средней частотой отказов и обозначается $\omega(t)$.

Средней частотой отказов называется отношение числа отказавших элементов в единицу времени к числу испытываемых элементов при условии, что все элементы, вышедшие из строя, заменяются исправными (новыми или восстановленными). Таким образом,

$$\omega(t) = \frac{n(t)}{N_0 \Delta t}, \quad (1.16)$$

где $n(t)$ – число отказавших элементов в интервале времени от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$;

N_0 – число испытываемых элементов (N_0 остается в процессе испытания постоянным, так как все отказавшие элементы заменяются исправными);

Δt – интервал времени.

Главное достоинство средней частоты отказов как количественной характеристики надежности состоит в том, что она позволяет довольно полно оценить свойства системы, работающей в режиме смены элементов. Подобные системы после возникновения отказов ремонтируются и затем вновь эксплуатируются. Средняя частота отказов может быть также использована для

оценки надежности сложных систем разового применения в процессе их хранения. Она также довольно просто позволяет определить число отказавших в системе элементов данного типа. Поэтому $\omega(t)$ является наиболее удобной характеристикой для ремонтных предприятий.

К недостаткам средней частоты отказов как характеристики надежности следует отнести сложность определения по известной $\omega(t)$ других характеристик надежности, и в частности основной из них – вероятности безотказной работы [3].

1.1.3 Интенсивность отказов

Интенсивностью отказов ($\lambda(t)$) называется условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник [1]. Интенсивность отказа определяется как отношение числа отказавших элементов системы в единицу времени к среднему числу элементов, исправно работающих в данный отрезок времени при условии, что отказавшие элементы не восстанавливаются и не заменяются исправными.

Согласно определению:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{cp}\Delta t}, \quad (1.17)$$

где $n(t)$ – число отказавших элементов в интервале времени от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$;

Δt – интервал времени;

$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ – среднее число исправно работающих элементов в интервале Δt ;

N_i – число исправно работающих элементов в начале интервала Δt ;

N_{i+1} – число исправно работающих элементов в конце интервала Δt .

Выражение (1.17) является статистическим определением интенсивности отказов. Для вероятностного представления этой характеристики установим зависимость между интенсивностью отказов, вероятностью безотказной работы и частотой отказов [3].

Подставим в выражение (1.17) вместо $n(t)$ его значение из (1.9) и (1.10). Тогда получим:

$$\lambda(t) = - \frac{N_0[P(t+\Delta t) - P(t)]}{N_{cp}\Delta t}. \quad (1.18)$$

Учитывая (1.4) и то, что $N_{cp} = N_0 - n(t)$, найдем

$$\lambda(t) = - \frac{[P(t+\Delta t) - P(t)]}{P(t)\Delta t}. \quad (1.19)$$

В пределе при Δt стремящимся к нулю, получим:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} - \frac{[P(t+\Delta t) - P(t)]}{P(t)\Delta t} = - \frac{P'(t)}{P(t)}. \quad (1.20)$$

Интегрируя (1.19), получим

$$- \int_0^t \lambda(t) dt = \ln P(t) \quad (1.21)$$

или

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1.22)$$

Так как $-P'(t) = a(t)$, то на основании (1.19) получим:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} \quad (1.23)$$

или

$$a(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (1.24)$$

Выражения (1.22) – (1.24) устанавливают зависимость между вероятностью безотказной работы, частотой отказов и интенсивностью отказов [3].

Интенсивность отказов как показатель надежности обладает рядом достоинств. Она является функцией времени и позволяет наглядно установить характерные участки работы системы. Это может позволить существенно повысить надежность системы. Действительно, если известны время приработки t_1 и время конца нормальной работы t_2 , то можно разумно установить время тренировки системы до начала ее эксплуатации и ее ресурс до ремонта. Это позволяет уменьшить число отказов при эксплуатации, т. е. приводит, в конечном счете, к повышению надежности системы [3].

Интенсивность отказов как количественная характеристика надежности имеет тот же недостаток, что и частота отказов: она позволяет достаточно просто характеризовать надежность системы лишь до первого отказа. Поэтому она является удобной характеристикой надежности систем разового применения и, в частности, простейших элементов (сопротивлений, конденсаторов и т.п.).

По известной характеристике $\lambda(t)$ наиболее просто определяются остальные количественные характеристики надежности [3].

1.1.4 Среднее время безотказной работы. Среднее время между соседними отказами

Средним временем безотказной работы называется математическое ожидание времени безотказной работы.

Эта характеристика надежности обозначается T [3]. Для определения среднего времени безотказной работы по статистическим данным пользуются формулой:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (1.25)$$

где t_i – время безотказной работы i -го элемента;

N_0 – число элементов, над которыми проводится испытание.

Из выражения (1.25) видно, что для определения T необходимо знать моменты отказов всех элементов системы, над которыми проводится эксперимент. При большом числе элементов N_0 это может сильно усложнить эксперимент. Поэтому иногда удобно вычислить T по формуле:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{\frac{t_k}{\Delta t}} n_i \bar{t}_i}{N_0}, \quad (1.26)$$

где n_i – число элементов, отказавших в i -м интервале;

$\bar{t}_i = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}$ – среднее время i -го интервала;

t_{i-1} – время в начале i -го интервала;

t_i – время в конце i -го интервала;

t_k – время, в течение которого отказали все N_0 элементов;

Δt – выбранная величина интервала времени.

Вычисления T по формулам (1.25) и (1.26) тем точнее, чем больше число элементов N_0 .

Основным достоинством среднего времени безотказной работы T как показателя надежности является простота его вычисления из экспериментальных данных об отказах системы.

Среднее время безотказной работы является одной из наиболее наглядных количественных характеристик надежности. Однако этому показателю надежности свойственны существенные недостатки. Как математическое ожидание случайной величины, она не может полностью характеризовать время работы системы. Необходимо еще знать, по меньшей мере, дисперсию времени отказов системы. Кроме того, T фактически не

позволяет оценить надежность системы, время работы которой во много раз меньше среднего времени безотказной работы.

Из выражения (1.25) видно, что для вычисления T определяются времена отказов каждого из N_0 элементов. В дальнейшем они в эксперименте не участвуют. Таким образом, среднее время безотказной работы характеризует надежность системы до первого отказа. Это означает, что T хорошо характеризует надежность системы разового использования, например, простейших элементов, которые после отказа не ремонтируются. Величину T можно использовать и для оценки надежности сложных устройств. Однако в этом случае T характеризует надежность до первого их отказа. У системы длительного использования, работающей в режиме смены отказавших элементов, среднее время безотказной работы до первого отказа может существенно отличаться от среднего времени между первым и вторым отказами, вторым и третьим и т.д. Это означает, что среднее время безотказной работы может характеризовать надежность такой системы только до первого отказа. Поэтому надежность системы длительного использования оценивают, в отличие от среднего времени безотказной работы, так называемой наработкой на отказ [3].

Наработкой на отказ называется среднее значение времени между соседними отказами, при условии восстановления каждого отказавшего элемента.

Эта характеристика обозначается t_{cp} и определяется из статистических данных об отказах по формуле:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (1.27)$$

где n – число отказов системы за время t ;

t_i – время исправной работы системы между $(i - 1)$ -м и i -м отказами.

Из определения и формулы (1.27) видно, что наработка на отказ является средним временем между соседними отказами. Формулой (1.27) удобно

пользоваться, если t_{cp} определяется по данным об отказах лишь одного элемента системы. Если испытание проводится с несколькими элементами, то t_{cp} вычисляется по формуле:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} t_{cpj}}{N_0}, \quad (1.28)$$

где t_{cpj} – среднее время между соседними отказами j -го элемента, вычисленное по (1.24);

N_0 – число испытываемых элементов.

Вероятность безотказной работы $P(t)$, частота отказов $a(t)$ (средняя частота отказов $\omega(t)$), интенсивность отказов $\lambda(t)$ и среднее время безотказной работы T (среднее время между соседними отказами t_{cp}) являются основными количественными характеристиками надежности. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Ни одна из них не является исчерпывающей характеристикой надежности. Только все они в совокупности во многих случаях могут характеризовать достаточно полно надежность системы в течение времени ее работы.

1.2 Законы распределения времени между отказами

Время между соседними отказами является непрерывной случайной величиной. Эта случайная величина с вероятностной точки зрения будет полностью определена, если известна ее функция распределения. В теории надежности наиболее целесообразно характеризовать время между соседними отказами производной от функции распределения, т. е. дифференциальным законом распределения. Это объясняется тем, что одни из количественных характеристик надежности, а именно частота отказов, является дифференциальным законом распределения времени между соседними отказами. Эта функция в теории вероятностей часто называется «плотностью

распределения», «плотностью вероятности» или «дифференциальной функцией распределения».

Дифференциальный закон распределения времени между отказами представляет собой некоторую непрерывную функцию времени. С вероятностной точки зрения эта функция полностью описывает случайную величину – время между соседними отказами. Так как закон распределения времени между отказами позволяет достаточно просто определить все основные количественные характеристики надежности, то он является важнейшей характеристикой потока отказов.

Случайные величины в зависимости от их физического смысла могут иметь различные законы распределения. В теории вероятностей известно большое число таких законов. Однако рассматривать количественные характеристики надежности имеет смысл только для ограниченного их числа. Это объясняется тем, что на практике время между отказами сложных систем простейших элементов подчиняется только определенным немногим законам распределения.

Таковыми законами могут быть:

- экспоненциальный;
- Релея;
- нормальный;
- гамма-распределение;
- Вейбулла.

Рассмотрим экспоненциальное распределение, так как именно оно будет использоваться при оценке надежности в данной работе.

1.2.1 Экспоненциальное распределение

Экспоненциальное распределение широко используется в теории надежности, так как доказано, что экспоненциальному распределению подчиняется время безотказной работы многих видов сложных систем, прошедших период приработки, а также промежутки времени между двумя последовательными отказами.

При экспоненциальном законе распределения времени возникновения отказов интенсивность отказов является величиной постоянной, т.е. справедливо условие $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$. Тогда зависимости между основными количественными характеристиками надежности будут выражены формулами:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t}, \quad (1.29)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1.30)$$

$$a(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (1.31)$$

$$T = \int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.32)$$

Условие $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ означает, что средняя частота отказов и среднее время между соседними отказами соответственно равны интенсивности отказов и среднему времени безотказной работы, т.е.

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \lambda(t) = \lambda = \text{const}, \\ t_{cp} &= T. \end{aligned} \quad (1.33)$$

Таким образом, для экспоненциального закона распределения времени возникновения отказов средняя частота отказов превращается в интенсивность отказов, а среднее время между соседними отказами – в среднее время безотказной работы. Основными характеристиками надежности являются:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;

- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- частота отказов $a(t)$;
- среднее время безотказной работы T .

В случае экспоненциального закона эти характеристики пригодны для оценки надежности, как системы разового использования, так и системы длительного использования, работающей в режиме смены отказавших элементов [3].

Экспоненциальное распределение применяется чаще других при оценке надежности объектов. Это объясняется рядом причин.

Во-первых, при постоянных интенсивностях отказов получаются очень простые формулы для оценки показателей надежности. Это связано с тем, что $\lambda = const$ вероятность безотказной работы в течение заданной наработки Δt не зависит от наработки, накопленной до начала интервала Δt .

Во-вторых, экспоненциальное распределение наработки до отказа типично для объектов, состоящих из многих элементов с различными распределениями наработки до отказа. Кроме того, для некоторых объектов можно устранить повышенную интенсивность отказов в начальный период эксплуатации применением «тренировки». Если в процессе эксплуатации этих объектов нет периода значительного износа, то интенсивность отказов можно приближенно считать постоянной [4].

2 Методика расчета надежности

Надежность объекта рассчитывают на стадиях жизненного цикла и соответствующих этим стадиям этапах видов работ, установленных документацией.

Оценка надежности объекта на определенном этапе видов работ, соответствующем некоторой стадии его жизненного цикла, преследует следующие цели:

- обоснование количественных требований по надежности к объекту или его составным частям;
- обоснование необходимых корректировок установленных требований;
- сравнительный анализ надежности вариантов схемно-конструкторского построения объекта и обоснования выбора рационального варианта;
- расчетное определение показателей надежности или параметров распределения характеристик надежности составных частей объекта в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом [5].

Оценка надежности объектов представляет собой в общем случае процедуру последовательного поэтапного уточнения оценок показателей надежности по мере технологии изготовления объекта, правил эксплуатации, критериев отказов и предельных состояний.

Оценка надежности на любом этапе работ включает:

- идентификацию объекта;
- определение целей и задач расчета на данном этапе и требуемых значений рассчитываемых показателей надежности;
- выбор метода расчета, адекватного особенностям объекта, целям расчета, наличию необходимой информации об объекте и исходных данных для расчета;

- составление расчетных моделей для необходимых показателей надежности;
- поиск и предварительную обработку исходных данных для расчета, вычисление значений показателей надежности объекта и, при необходимости, их сопоставление с требуемыми;
- оформление, представление результатов расчета.

Типовая методика расчета надежности содержит:

- характеристику объекта, на который распространяется методика;
- перечень показателей надежности объекта в целом и его составных частей, методы, применяемые для расчета каждого показателя;
- типовые модели для расчета показателей надежности;
- методы и соответствующие методики оценки параметров составных частей объектов, учитываемых в оценке надежности;
- требования к исходным данным для оценки надежности или непосредственно сами исходные данные;
- методы оценки погрешностей показателей надежности;
- требования к форме представления результатов расчета показателей надежности [5].

2.1 Идентификация объекта

Идентификация объекта для расчета надежности включает получение и анализ информации об объекте, условиях его эксплуатации и таких факторов, как:

- назначение и функции объекта;
- критерии и возможные последствия отказов объекта;
- структура объекта;
- наличие, виды и способы резервирования, используемые в объекте;
- уровень квалификации персонала;
- качество программных средств;

– планируемые технологии и организация производства при изготовлении объекта.

Полнота идентификации объекта на рассматриваемом этапе оценки его надежности определяет соответствующий метод расчета [5].

В качестве гипотетического ядерного объекта выбрано производственное предприятие по изготовлению тепловыделяющих сборок. Схема объекта представлена в приложении Б.

В рамках данной работы на выбранном ядерном объекте – предприятии по изготовлению тепловыделяющих сборок, – были выделены следующие этапы технологических процессов:

- доставка заготовок в виде топливных таблеток;
- размещение принятых на объект заготовок в хранилище;
- снаряжение тепловыделяющего элемента топливными таблетками;
- помещение собранных ТВЭЛ в хранилище;
- контроль качества ТВЭЛ;
- сборка ТВЭЛ в тепловыделяющую сборку;
- контроль качества ТВС;
- перемещение ТВС в хранилище готовой продукции;
- вывоз готовой продукции с предприятия.

Ядерный объект получает, хранит и использует ядерный материал в виде топливных таблеток. Ядерные материалы на предприятии хранятся в специально защищенных от несанкционированного доступа помещениях. Физическая защита помещений, зданий и территории, на которых они расположены, является основой системы физической защиты. Основная задача системы физической защиты – противодействие хищению ядерных материалов и предотвращение диверсий по отношению к ядерным материалам, ядерным установкам и пунктам хранения ядерных материалов [6].

Система физической защиты включает в себя средства обнаружения нарушителя, средства его задержания на рубежах защиты и средства реагирования, которые призваны пресечь действия нарушителя.

На данном этапе информации о ядерном объекте достаточно для проведения оценки надежности.

2.2 Исходные данные

Исходными данными для оценки надежности могут быть:

- стандарты и технические условия на составные части объекта;
- справочники по надежности элементов;
- результаты прочностных и иных расчетов объекта и его составных частей.

В качестве исходных данных в работе используются требования к системе охранной сигнализации, согласно нормативно-правовой документации [7,8,9]. Выделенные требования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные требования, предъявляемые к системе охранной сигнализации

Документ	№ п/п	Предъявляемые требования к системе охранной сигнализации
1	2	3
НП 083-15	63	Система охранной сигнализации должна обеспечивать: – обнаружение попыток и фактов несанкционированного проникновения в охраняемые зоны, места нахождения предметов физической защиты; – обнаружение несанкционированных действий в отношении технических средств физической защиты; – контроль работоспособности и обнаружение отказов устройств системы охранной сигнализации;

Продолжение таблицы 1

1	2	3
		– выдачу сигналов тревоги, отказов; – предоставление информации о функционировании технических средств системы охранной сигнализации в пункты управления системы физической защиты.
	64	Средства обнаружения системы охранной сигнализации должны быть установлены таким образом, чтобы отсутствовали неконтролируемые участки («мертвые зоны») на границах охраняемых зон.
	65	Сигналы тревоги и отказов системы охранной сигнализации должны отображаться в пунктах управления системы физической защиты с указанием типов сработавших или отказавших средств обнаружения и мест их размещения (участков тревоги) на схемах (планах) соответствующих участков ядерного объекта.
	66	Информация о сигналах тревоги должна протоколироваться в комплексе инженерно-технических средств физической защиты и храниться на ядерном объекте не менее одного месяца с последней даты регистрации (записи) информации.
ТПР №211	6.5.1	Система охранной сигнализации для периметров охраняемых зон, зданий (сооружений), помещений включает средства обнаружения, оборудование системы сбора, отображения и обработки информации об обстановке на периметре или иных границах охраняемых зон.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
	6.5.1.1	Размещение средств обнаружения на периметрах зон охраны следует осуществлять с учетом их тактико-технических характеристик, перекрытия их зон обнаружения (отсутствия неконтролируемых участков), выполнения требований по защите информации и, по возможности, недоступности аппаратуры для несанкционированных действий со стороны нарушителя.
РД 95 10527-95	3.2.1	В состав системы охранной сигнализации должны входить: средства обнаружения, система тревожно-вызывной организации и система сбора и обработки информации.
	3.2.1.1	По характеру (условиям работы) и назначению все средства обнаружения делятся на две группы: – средства обнаружения, устанавливаемые для охраны периметра защищенной зоны ядерного объекта; – средства обнаружения, устанавливаемые для охраны внутри зданий (помещений). При выборе типа средства обнаружения для защиты периметра ядерного объекта должны учитываться следующие факторы: – тип и размер ограждения периметра; – наличие тропы нарядов; – количество необходимых рубежей сигнализации; – природные и погодные условия в заданной климатической зоне;

Продолжение таблицы 1

1	2	3
---	---	---

		– линии электропередачи (напряжение, удаление по высоте от средств обнаружения, удаление по горизонтали, угол пересечения с периметром, частота коммутации); – близость автомобильных и железных дорог; – рельеф местности; – грунт и глубина промерзания; – аддитивные помехи (влияние радиоканалов, радиопередатчиков, электромагнитные излучения); – воздействие разрядов и других атмосферных явлений. Средства обнаружения периметра должны обеспечивать: – непрерывность действия; – определение места нарушения и при необходимости направление движения нарушителя. При выборе типа средств обнаружения для защиты помещений должны учитываться следующие факторы: – наличие и возможность коммутации вблизи средств обнаружения люминесцентного освещения, рентгеновских и радиоактивных излучений, помех от электросварочной аппаратуры и мощных коммутационных устройств; – турбулентность воздушных масс, наличие вентиляции, систем кондиционирования, акустических шумов, звукопоглощающих
--	--	---

Продолжение таблицы 1

1	2	3
		изоляционных материалов, вибрации стен;

		– состав воздуха (влажность, наличие в воздухе взвешенной пыли, паров химически агрессивных жидкостей и т.п.); – архитектурная планировка помещений, коридоров; – взрыво- и пожаробезопасность помещений; насыщенность помещений технологическим оборудованием.
--	--	--

Для оценки надежности СФЗ на данном этапе работ выбрана система охранной сигнализации в помещении №7. Оснащение помещения № 7 проведено на основании выделенных требований и представлено в приложении В. Структурная схема системы физической защиты помещения № 7 представлена на рисунке 1.

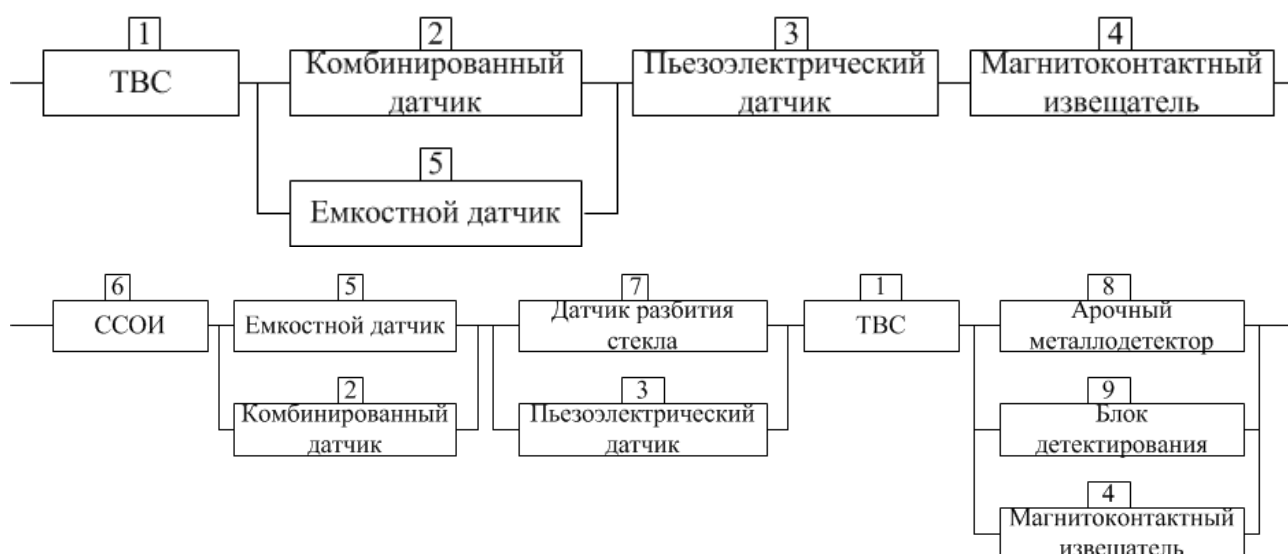


Рисунок 1 – Структурная схема системы охранной сигнализации лабораторного помещения

Помещение № 7 является лабораторией и занимается пробоотбором и анализом содержания ядерного материала на соответствие, согласно нормативным документам.

Оценка надежности проводится для системы в целом.

Большинство датчиков, включенных в СФЗ, имеют паспортные данные, в которых указана необходимая информация для определения показателей надежности. БДГИ разработан специально для системы физической защиты помещения № 7 и состоит из мини-блоков, представленных на рисунке 2.

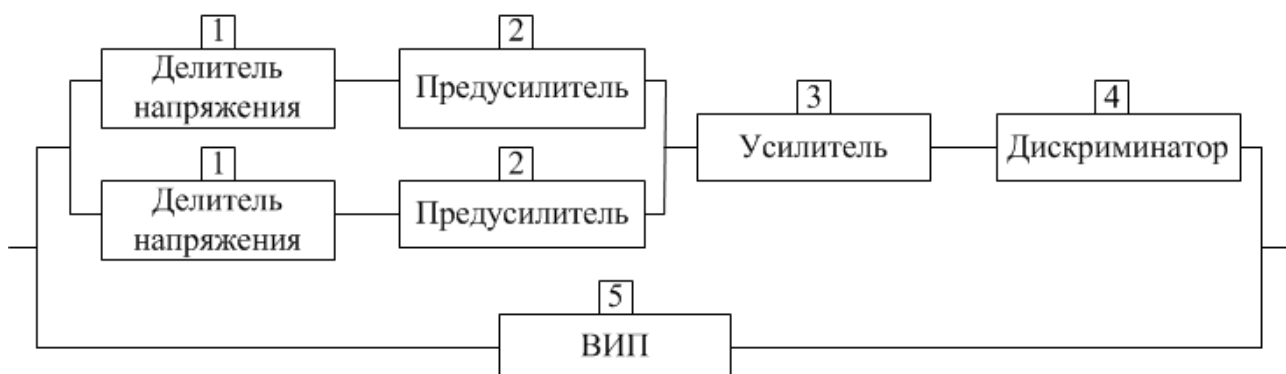


Рисунок 2 – Структурная схема блока детектирования гамма-излучения

Блок детектирования гамма-излучения встроен в арочный металлодетектор и используется для предотвращения несанкционированного выноса (вноса) ядерных материалов.

С целью оценки надежности каждого мини-блока БДГИ определен элементный состав каждого мини-блока.

Электрические принципиальные схемы мини-блоков представлены в приложении Г.

Необходимые исходные данные были определены по справочнику «Надежность электрорадиоизделий» [10] и сведены в таблицу Д.1, представленную в приложение Д.

2.3 Описание методики оценки надежности

Для расчета вероятности безотказной работы системы при экспоненциальном законе распределения времени исправной работы используется следующая формула [13]:

$$P_j = \exp \left[- \sum_{i=1}^N n_i \cdot \lambda_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}} \right] \cdot \exp \left[- \sum_{i=1}^N n_i \cdot \lambda_{\text{хр}i} \cdot T_{\text{хр}} \cdot K_x \right]$$

где $\lambda_{\text{пр}}$ – интенсивность отказов элементов i -го типа при применении;

$\lambda_{\text{хр}i}$ – интенсивность отказов элементов i -го типа при хранении;

K_x – коэффициент, учитывающий влияние условий хранения;

$T_{\text{пр}}$ – время работы при применении, ч;

$T_{\text{хр}}$ – время хранения в заданных условиях, ч;

n_i – количество элементов i -го типа;

N – количество типов элементов;

j – количество блоков в устройстве.

Интенсивности отказов электрорадиоизделий при применении и хранении рассчитываются по формулам, приведенным в справочнике [10] для каждого типа элементов. В общем случае их можно оценить следующим образом:

$$\lambda_{\text{пр}i} = \lambda_{\text{б}i} \cdot K_{\text{э}i} \cdot K_{\text{пр}i} \cdot K_{\text{р}i}, \quad (2.2)$$

$$\lambda_{\text{хр}i} = \lambda_{\text{х.с.г.}i} \cdot K_{\text{пр}i}, \quad (2.3)$$

где $\lambda_{\text{б}i}$ – базовая интенсивность отказов элементов i -го типа при испытании в режиме номинальной электрической нагрузки и нормальной температуры, ч⁻¹;

$\lambda_{\text{х.с.г.}i}$ – интенсивность отказов элементов i -го типа по результатам испытаний на сохраняемость в упаковках заводов-изготовителей, ч⁻¹;

K_{pri} – коэффициент приемки, отражающий уровень качества изготовления элементов i -го типа;

$K_{эi}$ – коэффициент жесткости, учитывающий степень жесткости условий применения элементов i -го типа;

K_{pi} – коэффициент режима, учитывающий изменение базовой интенсивности отказов в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды.

4 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1 Технико-экономическое обоснование

Целью работы является оценка надежности системы физической защиты ядерного объекта.

В процессе работы рассмотрен гипотетический ядерный объект, на котором произведено оснащение выбранного помещения элементами системы охранной сигнализации. Для данного объекта проведена оценка надежности системы.

Экономическая часть данной работы представлена в виде определения затрат на проведение оценки надежности системы физической защиты на ядерном объекте.

4.2 Планирование этапов и работ по выполнению оценки надежности системы

Для выполнения работы задействованы следующие участники:

- начальник группы;
- студент.

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта. Информация по событиям проекта представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Исследование и анализ предметной области	1	Выбор направления исследования	Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент

Продолжение таблицы 7

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
	3	Сбор исходных данных для формирования требований к разработке методики расчетов	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Выделение для расчетов элементов системы охранной сигнализации	Студент
	5	Проведение оценки надежности системы	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	6	Составление пояснительной записки	Студент
	7	Проверка соответствия оформления пояснительной записки требованиям ГОСТ	Руководитель

4.2.1 Состав затрат, включаемых в себестоимость проведения оценки надежности системы

Определение затрат на выполнение оценки надежности производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

Калькуляция плановой себестоимости проведения оценки последствий составляется по следующим статьям затрат: специальное оборудование, затраты на оплату труда рабочих, отчисления на социальные нужды, общепроизводственные расходы, общехозяйственные расходы.

4.2.2 Формирование и расчет затрат, включаемых в себестоимость

Стоимость материалов формируется исходя из цены их приобретения и платы за транспортировку, осуществляемую сторонними организациями. В том

случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов для конкретных работ, незначительны, то их можно опустить. В таблице 8 отображены затраты на материалы оценки надежности и полная себестоимость.

Таблица 8 – Специальное оборудование, комплектующие изделия

№	Наименование	Цена за единицу материалов, руб. в т.ч. НДС	Кол-во материалов, ед.	Затраты на материалы, руб.
1	Системный блок IN WIN	32600	1	32600
2	Монитор ViewSonic VG2439M-LED	9000	1	9000
3	Комплект клавиатура и мышь Logitech RX 250	2100	1	2100
Всего за материалы				43700

В дальнейшем, после окончания сборки компьютера, проведением оценки надежности системы занялись начальник группы и студент. Продолжительность работы каждого составляет 54 дня.

Также для расчета затрат, необходимо учесть затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением оценки надежности системы.

Заработная плата начальника группы составляет 75000 руб. по договору, заработная плата студента 25500 руб.

Суммарная заработная плата работников за 54 дня равна:

$$Z_{\text{сум}} = \frac{(75000 + 25500) \cdot 54}{20,58} = 263702,62 \text{ руб.} \quad (4.1)$$

где 20,58 – среднее число рабочих дней в месяце.

Отчисления на социальные нужды составляют 30 процентов от заработной платы и состоят из:

- 22% от заработной платы в пенсионный фонд при общем годовом начислении до 876000 рублей в год;
- 8% от заработной платы в фонд социального страхования при общем годовом начислении 755000 рублей.

Следовательно, отчисления на социальные нужды составляют:

$$O_{\text{соц.н}} = 263702,62 \cdot 0,3 = 79110,79 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

Затраты на освещение рабочего места входят в общепроизводственные расходы. Общепроизводственные расходы составят 40,8% от заработной платы работников. И составляют:

$$\text{Общ.произ.расх} = 263702,62 \cdot 0,408 = 107590,67 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

Затраты на подготовку компьютера к работе входят в числе прочих в общехозяйственные расходы. И составляют:

$$\text{Общ.хоз.расх} = 263702,62 \cdot 0,716 = 188811,08 \text{ руб.} \quad (4.4)$$

На основании полученных данных составляется калькуляция плановой себестоимости проведения оценки надежности системы по форме, приведенной в таблице 9.

Таблица 9 – Калькуляции плановой себестоимости проведения оценки последствий

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	43700,00

Продолжение таблицы 9

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Затраты на оплату труда работников	263702,62
Отчисления на социальные нужды	79110,79
Общепроизводственные расходы	107590,67
Общехозяйственные расходы	188811,08
Итого	682915,16

4.3 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически. У каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Организационная структура работы

4.3.1 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 10.

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

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

Таблица 10 – Матрица ответственности

Этап проекта	Научный руководитель	Консультант Финансовый	Консультант Социальная ответственность	Консультант по языковому разделу	Студент
Выбор направления исследований	О				
Разработка технического задания на выполнение магистерской диссертации	О				
Утверждение технического задания	О				
Календарное планирование работ	О				
Подбор и изучение материалов по теме	С				
Сбор исходных данных для формирования требований к разработке методики расчетов					И
Выделение функциональных элементов системы					И
Проведение оценки надежности системы					И
Выделение особенностей проведения методики с использованием применяемого оборудования					И
Обобщение и оценка результатов					И
Составление пояснительной записки		С			И
Проверка соответствия оформления пояснительной записки требованиям ГОСТ			С		
Подготовка к защите				С	

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 11). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения [13].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.5)$$

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

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

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

Данные для расчета интегрального финансового показателя представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет интегрального финансового показателя

Стоимость, руб.		Интегральный финансовый показатель разработки	
Φ_{max}	950340		
$\Phi_{\text{проект}}$	682915,15	Проект	0,71
$\Phi_{\text{аналог1}}$	780000	Аналог 1	0,82
$\Phi_{\text{аналог2}}$	950340	Аналог 2	1

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (4.6)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№	Критерии	Весовой коэффициент	Баллы		
			Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1	2	3	4	5	6
1	Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	4	5
2	Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителя)	0,12	5	4	3

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6
3	Помехоустойчивость	0,07	4	4	4
4	Потребность в ресурсах памяти	0,06	5	3	4
5	Уровень шума	0,08	4	3	3
6	Энергосбережение	0,09	4	4	5
7	Надёжность	0,23	5	4	4
8	Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5
Итого		1	4,63	3,88	4,13

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

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финр}}, \quad (4.7)$$

Параметры эффективности разработки представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,82	1	0,71
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,88	4,13	4,63
3	Интегральный показатель эффективности	4,73	4,13	6,52

С учетом рассчитанных интегральных показателей, предлагаемый вариант проекта является наиболее эффективным с позиции ресурсного, финансового и экономического сбережения.

Список публикаций студента

1. Башлай, А. С. Применение способов идентификации в системах безопасности ядерных объектов // Сборник трудов V Международной молодежной научной школы-конференции «Молодых атомщиков Сибири»/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 140 с.

2. Bashlay A. S. The application of identification methods in security systems of nuclear facilities // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию физико-технического образования «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине»/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.

3. Bashlay A.S. Creation of automated training system of control and accounting of nuclear material // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию физико-технического образования «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине»/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.

4. Башлай, А. С. Анализ систем учета и контроля ядерных материалов: мировой опыт [Электронный ресурс] / А. С. Башлай, А. В. Годовых // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине : сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 1-3 июня 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. О. Ю. Долматова [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – [С. 181-182]. – Заглавие с экрана. – Свободный доступ из сети Интернет.

5. Башлай, А. С. Формирование требований для автоматизированной системы учета и контроля ядерных материалов [Электронный ресурс] / А. С. Башлай, А. В. Годовых // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири : сборник тезисов докладов, 14-16 октября 2015 г., г. Томск / Росатом ; Томская

область, Администрация ; Сибирский химический комбинат (СХК) ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт (СТИ). – Томск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. – [С. 33]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.