

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
Возможность использования альтернативных выгорающих поглотителей в реакторе ВВЭР-1000

УДК 621.039.512

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Сливин Алексей Асхарович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	Чертков Ю.Б.	к.ф.-м.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	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 ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	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.
Р2	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.
Р3	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.
Р4	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.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

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

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное 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

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ФЭУ
 _____ О.Ю. Долматов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Сливин Алексей Асхарович

Тема работы:

Возможность использования альтернативных выгорающих поглотителей в реакторе ВВЭР-1000
Утверждена приказом директора (дата, номер) 18.02.2016 №1333/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	– Водно-водяной реактор ВВЭР-1000 с топливом в виде диоксида урана; – традиционные и альтернативные выгорающие поглотители.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	– Аналитический обзор литературных источников по тематике работы; – нейтронно-физический расчет ячейки реактора ВВЭР-1000; – исследование удлинения кампании ядерного реактора, влияние выгорающих поглотителей на повышение глубины выгорания ядерного топлива.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	– Презентация; – чертеж ячейки.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.05.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	Ю.Б. Чертков	к.ф. -м.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Сливин Алексей Асхарович		16.05.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Сливин Алексей Асхарович

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	– стоимость расходных материалов; – норматив заработной платы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– коэффициенты для расчета заработной платы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– отчисления во внебюджетные фонды.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно-технического исследования.
---	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.05.2015
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Сечина А.А.	к.х.н.		16.05.2015

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Сливин Алексей Асхарович		16.05.2015

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Сливин Алексей Асхарович

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с 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 (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (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 каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Сливин Алексей Асхарович		16.05.2016

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

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2016	<i>Выбор конструктивной схемы</i>	
26.05.2016	<i>Расчет критических параметров проектируемого реактора</i>	
02.06.2016	<i>Расчет характеристик «горячего реактора», многогрупповой нейтронно-физический расчет</i>	
09.06.2016	<i>Расчет эффектов реактивности</i>	
20.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	Чертков Ю.Б.	к.ф.-м.н.		16.05.2016

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 69 с., 7 рис., 17 табл., 15 источников, 1 чертеж.

Ключевые слова: водо-водяной энергетический реактор; глубина выгорания; выгорающие поглотители; изотопный состав; элементарная ячейка; тепловыделяющий элемент; реактивность; финансовый менеджмент; социальная ответственность.

Объектом исследования является водо-водяной реактор ВВЭР-1000 с топливом в виде диоксида урана.

Цель работы — исследование возможности повышения глубины выгорания ядерного топлива в реакторе ВВЭР-1000.

В процессе исследования проводился нейтронно-физический расчет ячейки реактора ВВЭР-1000 с различными выгорающими поглотителями с использованием программного комплекса WIMSD-5B с последующей оценкой финансовой составляющей дипломной работы и всех факторов, повлиявших на выполнение работы.

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики ячейки реактора заданного материального состава, оценена финансовая составляющая работы и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ядерный реактор ВВЭР мощностью 1000 МВт, с топливом UO_2 и обогащением топлива по U^{235} – 5 %. При расчетах температура топлива (UO_2) принималась равной 1025 К, температура теплоносителя (H_2O) – 580 К, значение удельной мощности 50 МВт · сут/кг.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время, при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: ядерные реакторы.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

ПЕРЕЧЕНЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Ядерный реактор: устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, сопровождаемой выделением энергии.

Выгорающий поглотитель: поглотители с высоким сечением захвата тепловых нейтронов, неподвижно размещаемые в активной зоне и медленно уничтожаемые при работе реактора за счёт поглощения ими нейтронов, из-за чего на их месте образуются продукты с существенно меньшими сечениями поглощения, что приводит к уменьшению поглощающих свойств активной зоны и высвобождению запаса реактивности.

Глубина выгорания: доля первоначального количества ядер данного типа, которые испытали ядерное превращение в реакторе при воздействии нейтронов (выражается в процентах).

Кампания ядерного реактора: время работы реактора с одной и той же загрузкой ядерного топлива.

Кампания ядерного топлива: время работы топлива в пересчете на полную мощность реактора; время, в течение которого топливо находится в реакторе. реактивности реактора.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВВЭР — водо-водяной энергетический реактор.

ВП — выгорающий поглотитель

СВП

ОЯТ — отработавшее ядерное топливо

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	10
ВВЕДЕНИЕ	15
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	17
1.1 Выгорающий поглотитель гомогенного типа	19
1.2 Минорные актиноиды в качестве выгорающих поглотителей.....	22
1.3 Выгорающий поглотитель в виде покрытия на топливных таблетках.....	27
2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	29
2.1 Методичка расчета	29
2.2 Расчет глубины выгорания при гомогенном размещении Gd_2O_3	32
2.3 Расчет глубины выгорания при гетерогенном размещении Gd_2O_3	34
2.4 Расчет глубины выгорания при ZrB_2 в качестве выгорающего поглотителя	36
2.5 Расчет глубины выгорания при PuO_2 в качестве выгорающего поглотителя.....	38
2.6 Расчет глубины выгорания при использовании в качестве выгорающего поглотителя ThO_2	39
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	41
3.1 Структура работ в рамках научного исследования	41
3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	42
3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	43
3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	46
3.5 Расчет материальных затрат нти	46
3.6 Основная заработная плата исполнителей темы	48
3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	50
3.8 Накладные расходы.....	51
3.9 Формирование бюджета затрат НТИ	52
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	53
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	53

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на пэвм.....	55
4.2.1 Организационные мероприятия.....	55
4.3 Технические мероприятия.....	55
4.4 Условия безопасной работы.....	58
4.5 Электробезопасность	60
4.6 Пожарная и взрывная безопасность	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А	69

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших секторов экономики России является атомная отрасль. Главным критерием энергонеzáвисимости государства, а также стабильного роста экономики, является динамичное развитие атомной отрасли.

В настоящее время Российская Федерация обладает:

- передовыми научно-техническими разработками в области проектирования ядерного топлива и ядерных реакторов, такие проекты как атомные электростанции с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР) доказали свою надежность в процессе тысячи реакторо-лет безаварийной работы;
- самыми совершенными в мире обогатительными технологиями и огромным опытом эксплуатации атомных станций.

Атомная отрасль обеспечивает заказ, а значит — и ресурс развития геологии, материаловедения, металлургии, машиностроения, строительной индустрии и т.д. Это означает, что российская атомная отрасль является локомотивом для развития вышеперечисленных отраслей.

В XXI веке недостаточно просто обладать передовыми технологиями, их нужно постоянно совершенствовать, поэтому стратегической задачей Госкорпорации «Росатом» является повышение конкурентоспособности продукции и услуг на атомных энергетических рынках за счет модернизации существующих технологий, внедрение новых инновационных технологий.

Цель работы: исследование возможности повышения глубины выгорания ядерного топлива в реакторе ВВЭР-1000.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи: проведение нейтронно-физического расчета ячейки с использованием программного обеспечения WIMSD-5B с учетом выгорания топлива и поглотителя, определение зависимости коэффициента размножения для бесконечной среды от глубины выгорания для кампании длительностью в 300 эффективных суток.

Объектом исследования в данной работе является водо-водяной реактор ВВЭР-1000 с топливом в виде диоксида урана. Предметом исследования выступает определение влияния выгорающего поглотителя на глубину выгорания ядерного топлива.

Результаты работы могут найти применение в научно-исследовательских институтах атомной энергетики, в таких как НИКИЭТ им. Доллежала и т.п.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Одними из наиболее распространенных реакторных установок для АЭС являются водо-водяные легководные установки. Усовершенствование реакторов данного типа, в настоящее время, ведется в направлении повышения глубины выгорания ядерного топлива, которая обеспечивается длительными топливными циклами и удлинением кампании реактора (цикл между перегрузками при сохранении общего числа загружаемых ТВС) [1]. Удлинение кампании позволяет уменьшить затраты энергии на собственные нужды и уменьшить частоту выгрузки отработавшего топлива. Достижение высокой длительности кампании реактора достигается путем повышения начального обогащения топлива. От обогащения зависит расход природного урана, количество единиц разделительных работ, глубина выгорания топлива, определяющая эксплуатационные расходы на изготовление новых ТВЭЛов [2].

Увеличение глубины выгорания влечет за собой и нежелательные последствия – увеличенный потенциал мощности разрушения топлива в случае аварийных ситуаций и рост пика мощности [3]. Это приводит к необходимости компенсации высокой избыточной реактивности в начале топливных циклов, что достигается при помощи введения выгорающих поглотителей (ВП), а также использование ВП позволяет избежать чрезмерного использования борного регулирования, снизить нагрузку на управляющие стержни и выровнять распределение энерговыделения по сечению ТВС и реактора в целом.

Использование выгорающих поглотителей дает целый ряд очевидных преимуществ:

- возможность сведения к минимуму числа подвижных поглощающих стержней, оставив их в таком количестве, которое требуется только для оперативного регулирования;
- возможность увеличения первоначальной загрузки топлива в активную зону реактора, которая требуется для увеличения длительности кампании, без увеличения начального запаса реактивности;

– возможность выравнивания распределения энерговыделения по объему реактора;

– возможность регулирования температурного коэффициента реактивности.

В качестве выгорающих поглотителей в реакторах ВВЭР целесообразно рассмотреть применение элементов группы лантаноидов, таких как Eu, Sm, Dy, Gd, Er, Cd и Hf, а также широко используемый поглотитель – бор, имеющих высокие сечения поглощения нейтронов, которые должны быть более 1000 барн, с целью обеспечения высокой физической эффективности данных материалов [2]. Кроме выбора материала важен выбор способа размещения поглотителя в топливной сборке, при этом важно учитывать как технологические, так и физические аспекты. Основные химические элементы, применяемые в качестве поглощающих материалов, и их главные свойства представлены в таблице 1. Здесь σ_a и Σ_a соответственно микроскопическое и макроскопическое сечения поглощения тепловых нейтронов.

Таблица 1 – Основные химические элементы, применяемые в качестве поглощающих материалов

Элемент	Атомный номер	Атомный вес	Температура плавления [°C]	Плотность [г/см ³]	σ_a [барн]	Σ_a [см ⁻¹]
Бор (B ¹⁰)	5	10,0	2300	2,40	3840	568
Бор (ест.)	5	10,82	2300	2,45	755	104
Европий	63	153,0	900	5,22	4300	92,5
Самарий	62	150,35	1052	7,75	5600	166
Диспрозий	66	162,51	1400	8,56	950	35
Гадолиний	64	157,26	1350	7,95	46000	1390
Эрбий	68	167,27	1550	9,10	173	5,7
Кадмий	48	112,41	321	8,65	2450	118
Гафний	72	178,50	2222	13,1	105	4,8

Наибольшее применение из этих материалов имеют бор, гадолиний, эрбий и, в меньшей степени, диспрозий.

1.1 Выгорающий поглотитель гомогенного типа

В реакторах с водой под давлением затруднительно применение непрерывных перегрузок топлива, поэтому в этих реакторах создается избыточный запас реактивности. Частичная компенсация избыточной реактивности выгорающими поглотителями, размещенными в ТВЭлах, приводит к изменению их нейтронно-физических и теплофизических свойств. В настоящее время в качестве выгорающего поглотителя в реакторах водяного типа применяется гадолиний, из-за своего высокого поглощения нейтронов (46000 б.). Скорости выгорания гадолиния и U^{235} сопоставимы, оксид гадолиния образует с оксидом урана твердый раствор, в связи с чем выгорающий поглотитель на основе гадолиния можно использовать непосредственно в объеме топливной таблетки [4]. Технология изготовления таблетки $(U, Gd)O_2$ не отличается от технологии изготовления таблетки из UO_2 .

Вышеперечисленные достоинства гадолиния как ВП позволяют исследовать $(U, Gd)O_2$ в ТВЭлах реактора. При этом преследуются следующие цели:

- убрать из активной зоны СВП, как отдельные конструкционные элементы и уменьшить тем самым паразитный захват нейтронов конструкционными материалами;
- снизить концентрацию борной кислоты в теплоносителе за счет применения более эффективного поглотителя по сравнению с бором;
- исключить следующие операции: извлечение поглотителя при перегрузке топлива, транспортировка, хранение отработанных СВП;
- улучшить водно-топливное отношение решетки;
- добиться оптимального размещения ТВС в активной зоне реактора.

Однако гадолинию присущи и определенные недостатки:

- введение оксида гадолиния в оксид урана приводит к снижению температуры плавления и коэффициента теплопроводности топлива, что влечет за собой снижение безопасной работы ТВЭгов в течении кампании. Для

снижения отрицательного воздействия целесообразно рассмотреть гетерогенное расположение гадолиния, либо расположение в виде гранул;

– природный гадолиний состоит из семи стабильных изотопов, из них только нечетные изотопы имеют высокие сечения поглощения нейтронов. Из-за отсутствия точных данных о сечениях захвата нейтронов и о резонансных интегралах отдельных изотопов гадолиния расчеты изменения реактивности ВП носят оценочный характер. Это приводит к тому, что на практике приходится эмпирическим путем подбирать оптимальную концентрацию гадолиния в топливе. Недостаток или избыток гадолиния приводят в первом случае к «выбегу» реактивности вследствие выгорания поглотителя раньше запланированного времени, либо к недовыгоранию топлива. В обоих случаях это приводит к уменьшению выработки электроэнергии на АЭС [4].

Таблица 1.1 – Изотопный состав природного гадолиния и тепловое сечение поглощения

Изотоп	Массовая доля, %	σ_a , барн
152	0,2	1070
154	2,18	92,3
155	14,8	60000
156	20,47	1,7
157	15,65	254000
158	24,84	2
160	21,86	0,8

Природный гадолиний состоит из семи изотопов, но для нейтронно-физических процессов наиболее существенно влияние Gd^{155} (14,73 %), Gd^{156} (20,47 %) и Gd^{157} (15,68 %). С технологической точки зрения, наиболее подходящим в качестве поглощающего материала является Gd_2O_3 с плотностью 7,85 г/см³.

Традиционно применяется Gd_2O_3 в виде твэгов, рассматривается возможность использования оксида гадолиния в форме проволоки, а также в виде микросфер, равномерно распределенных в топливе. При использовании гранулированного оксида гадолиния в матрице диоксида урана теплопроводность топлива уменьшается незначительно и длительность кампании увеличивается [5].

При использовании уран-гадолиниевого топлива (УГТ) возникают определённые проблемы:

- замещение уранового топлива оксидом гадолиния ведет к уменьшению массы топливного элемента;
- уран-гадолиниевое топливо имеет более низкую теплопроводность по сравнению с диоксидом урана, что приводит к небольшому ухудшению его термодинамических свойств; для уменьшения температуры топлива до заданного максимально предела требуется уменьшение обогащения урана;
- скорость выгорания выгорающих поглотителей превышает скорость выгорания топлива.

Суммарное количество гадолиния в топливе в процессе кампании существенно не меняется. Поэтому целесообразно исследовать возможность использования вместо смеси изотопов гадолиния в качестве выгорающего поглотителя другие элементы или соединения [2].

Наряду с гадолинием возможно применение эрбия. С технологической точки зрения эрбий привлекателен тем, что его соединение Er_2O_3 образует с UO_2 твердый раствор, в связи с чем технология изготовления топливных таблеток $(U, Er)O_2$ почти идентична технологии таблеток UO_2 или $(U, Gd)O_2$. При этом небольшие добавки в количестве 0,4-2,0 % массы не приводят к заметному изменению теплопроводности топлива [4].

Эрбий имеет шесть природных изотопов, однако только Er^{167} является эффективным поглотителем нейтронов с $\sigma_a \cong 670\text{б}$, также эрбий не образует долгоживущих радиоактивных изотопов, период наиболее стабильного из них Er^{169} составляет 9,4 суток.

Наиболее важный изотоп Er167 обладает сильным резонансом ($\sigma_a \cong 29706$) при энергии 0,47 эВ, причем энергетический диапазон резонанса составляет (50-0,1) эВ.

При повышении температуры теплоносителя спектр нейтронов сдвигается в сторону более высокой энергии, при этом поток нейтронов, приходящихся на область резонанса, увеличивается и, следовательно, увеличивается и поглощение нейтронов. Таким образом, использование эрбия в качестве выгорающего поглотителя позволяет улучшить температурный коэффициент реактивности замедлителя [4].

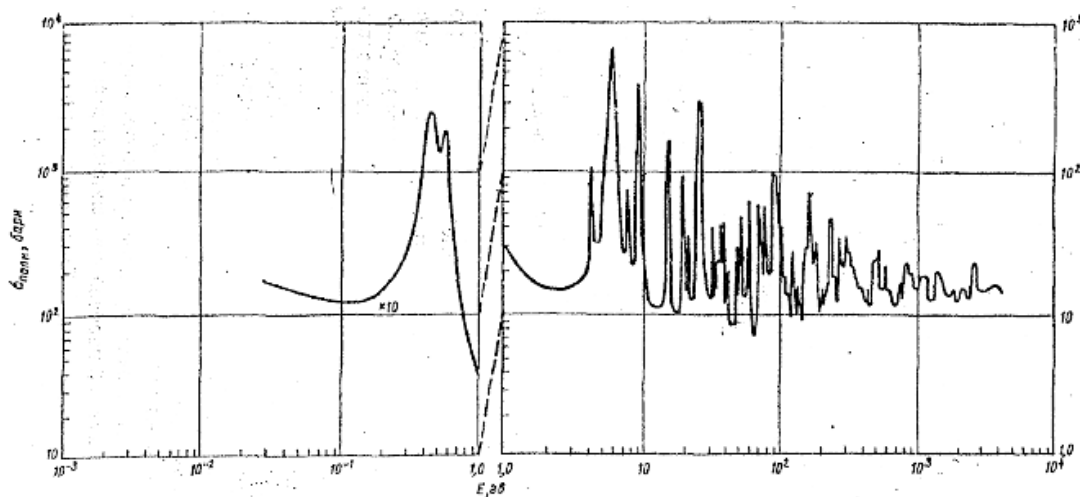


Рисунок 1.1– Полное сечение поглощения эрбия в зависимости от энергии нейтронов

Самыми распространенными формами внесения выгорающих поглотителей в активную зону реакторов в России, являются гомогенное размещение Gd_2O_3 в UO_2 в реакторах ВВЭР, Er_2O_3 в РБМК и расположение стержней-поглотителей на основе бора.

1.2 Минорные актиноиды в качестве выгорающих поглотителей

Способом снижения критической массы стартовой урановой загрузки при условии стабилизации реактивности в период перехода к работе на уран-плутониевом топливе равновесного состава является повышение обогащения

урана в стартовой загрузке при одновременном добавлении к топливу в качестве выгорающего поглотителя энергетического плутония, а также нептуния, америция, кюрия, которые обычно рассматриваются как радиоактивные отходы [6].

Замена Gd_2O_3 на PuO_2 возможна лишь в условиях замкнутого топливного цикла, так как в этом случае предполагается, что топливный цикл включает в себя не только извлечение плутония из отработавшего топлива реакторов, но и надежные технологии для изготовления и обращения с твэлами в условиях высокой радиоактивности [2].

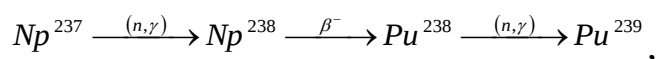
Энергетический плутоний не имеет фиксированного изотопного состава, концентрация неизменных для него пяти изотопов ($Pu^{238-242}$) существенно зависит от многих факторов. Главными факторами, определяющими содержание Pu^{238} и Pu^{241} в энергетическом плутонии, являются степень обогащения ядерного топлива реактора по U^{235} и глубина выгорания ядерного топлива. Накопление Pu^{238} , в отличие от других изотопов плутония, происходит именно из U^{235} и вследствие этого резко растет при увеличении степени обогащения. В легководном реакторе электрической мощностью 1000 МВт ежегодно образуется около 200 кг изотопов плутония. При глубоком выгорании топлива (60 МВт·сут /кг) энергетический плутоний имеет примерно следующий состав: Pu^{239} – 60 %, Pu^{240} – 25 %, Pu^{241} – 10 %, Pu^{242} – 3 %, Pu^{238} – 2 % [7].

Замена гадолиния на плутоний снижает реактивность активной зоны в начале кампании за счет поглощения нейтронов четными изотопами плутония и увеличивает глубину выгорания топлива в конце кампании в результате деления нечетных изотопов.

Кроме плутония, в качестве выгорающего поглотителя могут быть использованы нептуний, америций, кюрий – смесь трансурановых элементов, нарабатываемых в энергетических реакторах независимо от топливного цикла. В условиях замкнутого топливного цикла изотопы нептуния, америция, кюрия при добавлении к начальной загрузке, как и в случае с изотопами плутония, позволяют обеспечить необходимый начальный коэффициент размножения. По

мере захвата нейтронов и перехода в изотопы с большими сечениями деления они поддерживают деление. Однако увеличения к концу кампании глубины выгорания топлива не происходит.

Нептуний (Np^{237}) является делящимся изотопом с большим сечением захвата нейтронов, обладает хорошими стабилизирующими свойствами, которые обусловлены несколькими факторами: при большем сечении захвата нейтронов, по сравнению с U^{238} (примерно в пять раз большее) Np^{237} является на начальной стадии работы реактора выгорающим поглотителем; при захвате нейтронов он порождает продуктивную цепочку, ведущую к образованию изотопов Pu^{238} и Pu^{239} :

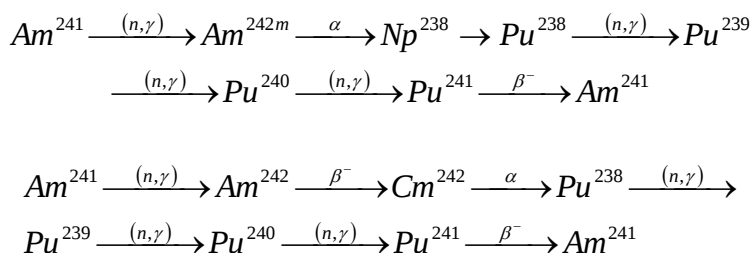


у которых сечения деления много выше, чем у исходного Np^{237} . Это свойство Np^{237} из поглотителя нейтронов со временем превращаться в источник нейтронов позволяет рассматривать его в качестве стабилизатора реактивности.

Так как для уменьшения критической массы урановой стартовой загрузки с целью ее приближения к конечной массе уран-плутониевой загрузки, ожидаемой в конце переходного периода, необходимо увеличить обогащение урана, однако это привело бы к снижению коэффициента конверсии урана в плутоний и снижению запаса реактивности по кампании в ходе выгорания U^{235} и наработки Pu^{239} . Для компенсации «избыточного» обогащения урана служит Np^{237} , частично замещающий U^{238} и понижающий реактивность загрузки. При этом баланс нейтронов в реакторе с учетом дополнительной цепочки образования ^{239}Pu при захвате нейтронов Np^{237} соответствует состоянию, при котором наработка Pu^{239} и связанный с ней рост реактивности полностью компенсирует снижение реактивности в результате горения U^{235} [6]. По мере наработки Pu^{239} и увеличения его доли в составе топлива отпадает необходимость в Np^{237} и его выводят при регенерации отработавшего ядерного топлива из состава топлива и используют в следующих стартовых загрузках.

Основным изотопом америция, накапливаемым в ОЯТ, является Am^{241} .

Метастабильные изотопы Am^{241} , по своим свойствам превосходящие Pu^{239} , практически полностью сгорают, не накапливаясь при работе тепловых реакторов [6]. С одной стороны, захваты в америции увеличивают поглощение нейтронов в активной зоне, т.е. он выступает как классический выгорающий поглотитель, с другой стороны, захваты в нем порождают чрезвычайно реактивные изомеры Am^{242} и Am^{241m} , которые, в свою очередь порождают продуктивные захватно-распадные циклические цепочки:



Возникающие изотопы америция и плутония обладают значениями сечений деления в 5-15 раз больше, чем у родительского изотопа Am, они сравнимы и даже превышают сечение деления U^{235} . Поэтому, если повышение обогащения урана по сравнению с «равновесным» в чисто урановой стартовой загрузке, связанное с уменьшением массы загружаемого топлива, привело бы к снижению коэффициента конверсии U в Pu и снижению реактивности по кампании, то при наличии в составе топлива Am^{241} реактивность будет стабилизирована источниками нейтронов упомянутых продуктивных цепочек, образующимися в результате захвата нейтронов в Am^{241} . По мере наработки Pu^{239} и увеличения его доли в составе топлива отпадает необходимость в Am и его выводят при регенерации ОЯТ из состава топлива с возможностью использования в следующих стартовых загрузках [6].

Для того, чтобы образованный в реакторном ОЯТ плутоний не был пригодным для использования в военных целях, в его составе должно быть повышено содержание изотопа Pu^{238} . Этот изотоп подвержен α -распаду с периодом 87,74 года, а также имеет высокие показатели спонтанного деления, что существенно осложняет задачу по созданию ядерного оружия.

Одним из способов увеличения концентрации изотопа Pu^{238} в ОЯТ

является введение в свежее топливо младших актинидов, в особенности, нептуния и америция. На отдельных изотопах названных элементов под действием нейтронного потока происходят ядерные реакции, приводящие к накоплению Pu^{238} .

Для ВВЭР-1000 одним из лучших материалов для выгорающих поглотителей является америций. Введение этого элемента в состав свежего топлива позволяет обеспечить наименьшее изменение реактивности в ходе кампании среди рассмотренных вариантов, на первом отрезке кампании – до глубин выгорания порядка 20 ГВт·сут/т - реактивность будет оставаться практически постоянной. Доля Pu^{240} в реакторном плутонии понизится на несколько процентов, однако одновременно резко возрастёт доля Pu^{238} – до 10-15% при различных композициях выгорающих поглотителей. В свою очередь это сделает накопленный плутоний малопригодным для военного применения, так как в соответствии с оценкой Кесслера, плутоний, в котором содержится 6 % и более Pu^{238} может считаться столь же защищённым от угрозы распространения, как и уран с обогащением ниже 20 % [2].

Процесс получения в ядерном реакторе Pu^{238} из Am^{241} реализуется с задержкой, в связи с накоплением изотопа Cm^{242} , период полураспада которого составляет 162,8 суток, однако при добавлении к америцию некоторого количества нептуния, ускорит процесс получения Pu^{238} буквально за считанные дни, так как период полураспада изотопа Np^{238} равняется всего лишь 2,117 суткам.

У топлива, представляющего собой смесь урана и младших актинидов, имеются следующие недостатки: повышенное накопление гелия вследствие α -распадов, трудности с использованием, так как оно входит в число особо контролируемых ядерных материалов.

1.3 Выгорающий поглотитель в виде покрытия на топливных таблетках

Благодаря наличию системы борного регулирования в реакторах с водой под давлением снижаются требования к поглощающей способности материала выгорающего поглотителя. В связи с этим возможно применение боросодержащих соединений в качестве выгорающих поглотителей.

Однако применение бора осложнено такими негативными факторами как набухание и растрескивание соединений в связи с накоплением гелия по реакции $B^{10}(n, \alpha)Li^7$, а также генерирования термонапряжений в объеме материала из-за неравномерного выгорания ядер B^{10} . В отличие от оксидов гадолиния и эрбия оксид бора не образует твердого раствора с UO_2 . К достоинствам бора относятся его низкая стоимость, доступность, технологичность. При размещении боросодержащего содержания в виде тонких покрытий (25 мкм) на поверхностях топливных таблеток позволяет добиться квазигомогенного размещения ВП [4].

В качестве ВП рассматриваются материалы: В, BN, B_4C , TiB_2 , ZrB_2 и бористые стекла. Однако некоторые материалы не подходят по своим физическим свойствам: плохого сцепления с таблеткой (В), низкой радиационной стойкости (В, BN, B_4C), низкого содержания бора (бористые стекла, с оптимальным составом B_2O_3 -20%, SiO_2 -40%, Na_2O -10%, BaO -10%, CaO -10%, Al_2O_3 -10%). Малое содержание ядер B^{10} может быть преодолено введением мелких частиц (< 1 мкм) карбида бора по массе до 80% [4].

С точки зрения термомеханических свойств, а именно термических коэффициентов линейного расширения с UO_2 и структурной стабильности под облучением, наиболее применимы в качестве ВП дибориды TiB_2 и ZrB_2 .

Соединение TiB_2 превосходит ZrB_2 по содержанию бора в соотношении 31,1% и 19,2%, одинаковая поглощающая способность достигается при толщине покрытия в 15 мкм (TiB_2) и 25 мкм (ZrB_2). Однако сечение поглощения

у Ti выше чем у Zr (5,6 и 0,18 б.). Кроме того, совместимым материалом, как с топливом, так и с циркониевой оболочкой твэла является ZrB_2 .

Преимущества использования UO_2-ZrB_2 по сравнению с $(U,Gd)O_2$:

- ZrB_2 предпочтительнее Gd_2O_3 в более длительных циклах, так как обогащение топлива не снижается;
- в ТВС с топливом UO_2-ZrB_2 коэффициент «всплеска» мощности (отношение максимального энерговыделения к среднему) меньше, чем в ТВС с $(U, Gd)O_2$;
- достижение более полного выгорания топлива из-за близкой к нулю поглощающей способности вследствие выгорания B^{10} ;
- обеспечение большего по модулю температурного коэффициента реактивности. Отрицательный ТКР с гадолинием убывает быстрее, чем с диборидом циркония;
- в активных зонах с диборидом циркония наблюдается снижение амплитуды выбега запаса реактивности.

Технология остекловывания таблеток заключается в нанесении смеси порошков боросодержащего материала на поверхность таблеток и последующий отжиг при температуре 900-1000 °C. Данная технология плохо поддается механизации и автоматизации, при отжиге трудно выдержать требуемую толщину слоя покрытия.

В США практикуется технология напыления ZrB_2 в виде тонкого слоя на топливную таблетку. В России эта технология пока не нашла применения в атомной энергетике [8].

2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Методичка расчета

Нейтронно-физические расчеты ячейки проводились с использованием программного комплекса WIMSD-5B с учетом выгорания топлива и поглотителя.

Программа WIMS-D5 (Winfrith Improved Multigroup Scheme, версия D5) предназначенная для детального, нейтронно-физического расчета ячеек реакторов различных типов, в том числе и с учетом выгорания. Программа применяется для расчетов тепловых и быстрых реакторов. Она успешно применяется и для проектирования реакторов, и для расчетов и анализа различных эффектов в существующих реакторах.

Данная версия была передана в Россию в конце 1977 г, а в сентябре 1990 г. она была адаптирована для персональных компьютеров.

Расчет выгорания топлива и поглотителя для бесконечной гетерогенной цилиндрической ячейки с 69-ю группами констант проводился с использованием DSN метода (метод дискретных ординат) [9]. Для некоторых из констант имеются по несколько наборов микроконстант, полученных по разным теоретическим моделям. Разные наборы констант имеются для водорода, бора, изотопов урана и плутония.

Программа может решать задачи в плоской, цилиндрической и сферической одномерных геометриях и в двумерной rz -геометрии.

В качестве расчетной модели рассматривалась элементарная ячейка активной зоны реактора ВВЭР-1000 с одиночным твэлом и с окружающим его водяным теплоносителем.

Расчет проводился в цилиндрической геометрии, для чего было выполнено преобразование реальной шестигранной элементарной ячейки к цилиндрическому виду. При определении внешнего радиуса такой ячейки исходили из условия сохранения площади ячейки. Расстояние между твэлами в

реакторе ВВЭР-1000 составляет 1,275 см, поэтому внешний радиус цилиндризованной элементарной ячейки составил 0,6694 см. Расчетная модель элементарной ячейки представлена на рисунке 2.

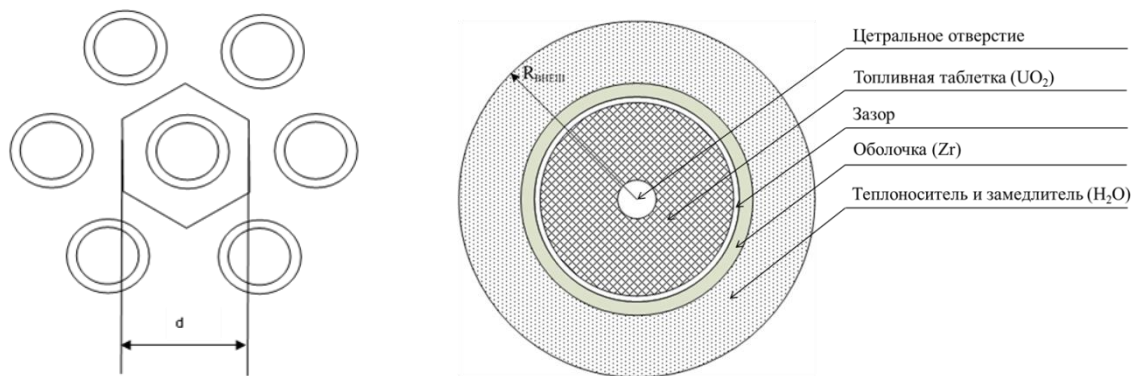


Рисунок 2.1 – Расчетная модель ячейки ВВЭР-1000

Для достижения длины кампании реактора не менее 300 эффективных суток было выбрано обогащение топлива по ^{235}U – 5 %. При расчетах температура топлива (UO_2) принималась равной 1025 К, температура теплоносителя (H_2O) – 580 К. Измерение нуклидного состава топлива в ячейках проводилось при значении удельной мощности 50 МВт·сут/кг до величины глубины выгорания 65 МВт·сут/кг [10].

Приведем пример расчета концентраций для программного обеспечения WIMSD-5B:

$$N_{\text{топ}} = \frac{0,6023 \cdot \rho_{\text{топ}}}{A}, \quad (2.1)$$

где $\rho_{\text{топ}}$ – плотность топлива (г/см^3);

0,6023 – число Авогадро для программы WIMSD-5B;

A – атомная масса (г/моль).

Для диоксида урана UO_2 значение плотности равно $10,5 \text{ г/см}^3$, тогда концентрация топлива и изотопов урана с учетом обогащения равны:

$$N_{\text{UO}_2} = \frac{0,6023 \cdot \rho_{\text{UO}_2}}{A} = \frac{0,6023 \cdot 10,5}{238 \cdot 0,95 + 235 \cdot 0,05 + 2 \cdot 16} = 0,023435 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{U}}^5 = 0,05 \cdot 0,023435 = 0,0012175 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{U}}^8 = 0,95 \cdot 0,023435 = 0,0222633 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{O}_2} = 2 \cdot 0,023435 = 0,04687 \frac{1}{\text{см}^3}.$$

Для смеси $(\text{U}, \text{Gd})\text{O}_2$ с содержанием оксида гадолиния 1% от массы урана:

$$N_{\text{UO}_2} = \frac{0,6023 \cdot \rho_{\text{UO}_2}}{A} = \frac{0,6023 \cdot 10,5 \cdot 0,99}{238 \cdot 0,95 + 235 \cdot 0,05 + 2 \cdot 16} = 0,023201 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{U}}^5 = 0,05 \cdot 0,023201 = 0,00116 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{U}}^8 = 0,95 \cdot 0,023201 = 0,0220409 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{O}_2} = 2 \cdot 0,023201 = 0,046402 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{Gd}_2\text{O}_3} = \frac{0,6023 \cdot \rho_{\text{Gd}_2\text{O}_3}}{A} = \frac{0,6023 \cdot 10,7 \cdot 0,01}{362,50} = 0,00017778 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{Gd}} = 2 \cdot 0,00017778 = 0,0003556 \frac{1}{\text{см}^3},$$

Из семи изотопов природного гадолиния в программном обеспечении WIMSD-5B используются следующие изотопы: Gd^{154} , Gd^{155} , Gd^{156} , Gd^{157} , Gd^{158} .

$$N_{\text{Gd}}^{154} = 0,0218 \cdot 0,0003556 = 0,0000038756 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{Gd}}^{155} = 0,148 \cdot 0,0003556 = 0,000052628 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{Gd}}^{156} = 0,0247 \cdot 0,0003556 = 0,00000878332 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{Gd}}^{157} = 0,1565 \cdot 0,0003556 = 0,000055651 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{Gd}}^{158} = 0,2484 \cdot 0,0003556 = 0,000088331 \frac{1}{\text{см}^3},$$

$$N_{\text{O}_3} = 3 \cdot 0,00017778 = 0,00053334 \frac{1}{\text{см}^3},$$

2.2 Расчет глубины выгорания при гомогенном размещении Gd_2O_3

Анализ результатов расчета гомогенного размещения оксида гадолиния показал, что глубокая глубина выгорания и длительный период кампании реактора требует увеличения количества его повышенного содержания в топливе поглотителей, что вызывает увеличение влияния отрицательных побочных эффектов, таких как уменьшение теплопроводности топлива из-за увеличения содержания выгорающих изотопов и уменьшение размножающих свойств топлива.

Таблица 2.2 – расчет концентрации гомогенной смеси $\text{UO}_2 - \text{Gd}_2\text{O}_3$

Топливо	Концентрация, $\frac{1}{\text{см}^3}$	
	1 %	0,5 %
UO_2	0,023201	0,023318
U^{235}	0,00116	0,00117
U^{238}	0,02204	0,02215
Gd_2O_3	0,00017778	0,000088911
Gd^{154}	0,0000077512	0,0000038756
Gd^{155}	0,0000526228	0,0000263112
Gd^{156}	0,0000087823	0,0000043911
Gd^{157}	0,0000556451	0,000027822

Gd^{158}	0,0000883211	0,000044160
O_2	0,046935	0,0469027

На рисунке 2 приведены результаты расчета зависимости коэффициента размножения в бесконечной среде (k_∞) от глубины выгорания топлива.

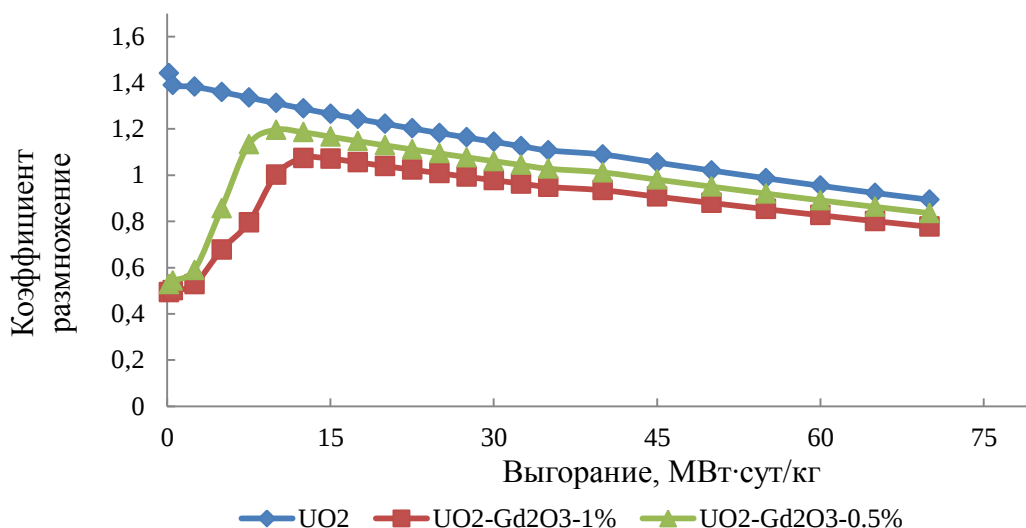


Рисунок 2.2 – Зависимость коэффициента размножения (k_∞) от глубины выгорания топлива при различном содержании оксида гадолиния в гомогенном размещении

Из-за уменьшенного содержания топлива при высоких выгораниях (при полном выгорании гадолиния) k_∞ лежит ниже аналогичных значений топлива без ВП.

Введение Gd_2O_3 в ТВЭгах приводит и к падению теплопроводности до двух раз по сравнению с чистой двуокисью урана. Следует отметить и отрицательную зависимость теплопроводности от температуры.

Расчет выгорания изотопов гадолиния показал, что зависимость времени выгорания поглотителя от первоначального содержания его в топливе имеет практический линейный характер в диапазоне 0,2 % до 6 %. При увеличении массовой доли гадолиния на 1 %, время, требующееся на выгорание, возрастает примерно на 68 суток. Для стандартной кампании реактора ВВЭР-1000 в 300 суток, при условии практически полного выгорания поглотителя за это время,

потребуется содержание доли гадолиния в ТВЭгах до 2,2 % весовых, для кампании в 480 суток - до 5 %, для кампании в 660 суток - до 7,7 %.

2.3 Расчет глубины выгорания при гетерогенном размещении Gd_2O_3

При гетерогенном размещении гадолиния в центре топливной таблетки в виде проволоки существенно замедляется темп выгорания поглотителя по сравнению с вариантом с гомогенным размещением в топливе. Это связано с тем, что поток тепловых нейтронов падает, проходя через слой топлива, а, следовательно, уменьшается и скорость реакции поглощения нейтронов гадолинием. Данный способ размещения выгорающего поглотителя позволяет практически избежать выбега реактивности в начале кампании, а также достичь эффекта «плато» в одиночном ТВЭле для коэффициента размножения на широком начальном отрезке времени работы на мощности.

Таблица 2.3 – расчет концентрации гетерогенном расположении Gd_2O_3

Топливо	Концентрация, $\frac{1}{\text{см}^3}$		
	0,5 %	1 %	2 %
Gd_2O_3	0,00008889	0,00017778	0,00035556
Gd^{154}	0,000003875	0,0000077512	0,000015502
Gd^{155}	0,000026311	0,0000526228	0,0004804864
Gd^{156}	0,0000043911	0,0000087823	0,000017564
Gd^{157}	0,000027822	0,0000556451	0,000111293
Gd^{158}	0,000044161	0,0000883211	0,00017664
O_2	0,00026667	0,00053334	0,00106668
UO_2	0,0234357		
U^{235}	0,0011717		
U^{238}	0,0222639		

O_2	0,0468714
-------	-----------

Результаты расчетов k_{∞} от выгорания топлива представлены на рисунке 3.

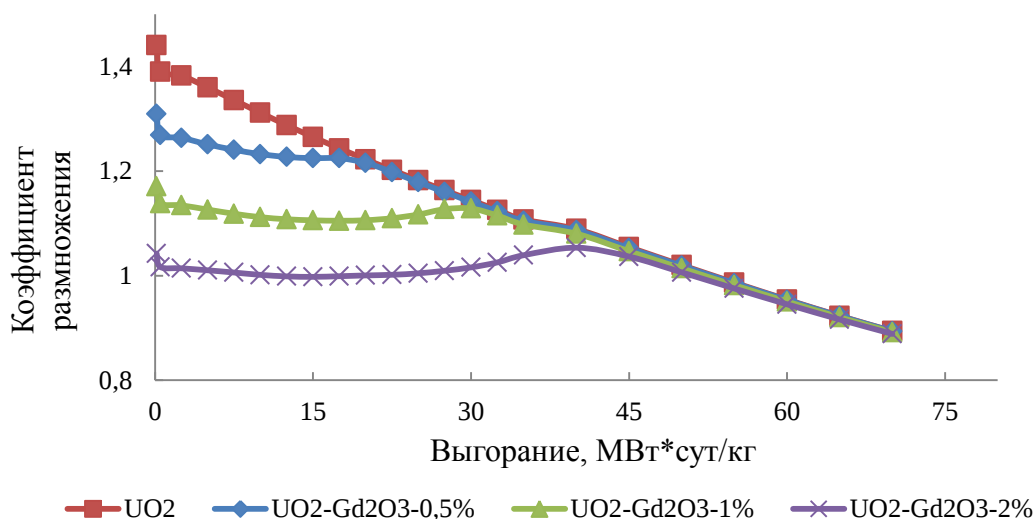


Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента размножения (k_{∞}) от глубины выгорания топлива при различном содержании оксида гадолиния в центральном отверстии ТВЭЛОВ

Преимуществом гетерогенного размещения является, то, что материал выгорающего поглотителя располагается не в самом топливе, а, следовательно, не уменьшает его содержания в ТВэле и не влияет на его теплофизические и механические свойства. Количество выгорающего поглотителя, расположенного в центральном отверстии топливной таблетки, ограничено диаметром этого отверстия. Максимальное содержание оксида гадолиния при полном заполнении центрального отверстия в ТВэле может составить до 3 % от массы топлива, но, как показывают расчеты, его требуется гораздо меньше.

Изменение концентрации выгорающего поглотителя по его радиусу происходит неравномерно, так как здесь сказывается эффект блокировки центральных зон периферийными зонами. Внешние слои выгорают более интенсивно, чем внутренние.

Время, требующееся на практически полное выгорание гадолиния, составляет до 343 суток при содержании поглотителя 0,2 % от массы топлива. Для кампании реактора длительностью в 480 суток потребуется содержание оксида гадолиния не более 0,6 % весовых, и не более 1,6 % для кампании 660 суток, что в 7,6 и 4,7 раза меньше, чем для варианта с гомогенным размещением соответственно. Такой способ размещения ВП требует гораздо меньшего его содержания и позволяет существенно снизить и непроизводительное поглощение нейтронов.

2.4 Расчет глубины выгорания при ZrB_2 в качестве выгорающего поглотителя

Главным изотопом, при использовании бора в качестве выгорающего поглотителя, является ^{10}B , обладающий большим сечением поглощения нейтронов в тепловой области энергий. Согласно ядерной реакции $B^{10}(n, \alpha)Li^7$ происходит образование гелия, в результате чего повышается давление в твэле — это главный недостаток борного поглотителя.

Таблица 2.4 – расчет концентрации топлива UO_2 с напылением ZrB_2

Топливо	Концентрация, $\frac{1}{\text{см}^3}$
UO_2	0,014999
U^{235}	0,000750
U^{238}	0,014249
O_2	0,029998
ZrB_2	0,0307448
Zr	0,0307448
B^{10}	0,0060875
B^{11}	0,0246573

Эффективность использования диборида циркония занимает промежуточное положение между гомогенным размещением оксида гадолиния в топливе и его гетерогенным размещением в виде проволоки в центральном отверстии. Начальная компенсация и выбег реактивности не так велики, как в первом варианте, и нет такого замедленного высвобождения реактивности, как во втором варианте. Это видно на рисунке 4.

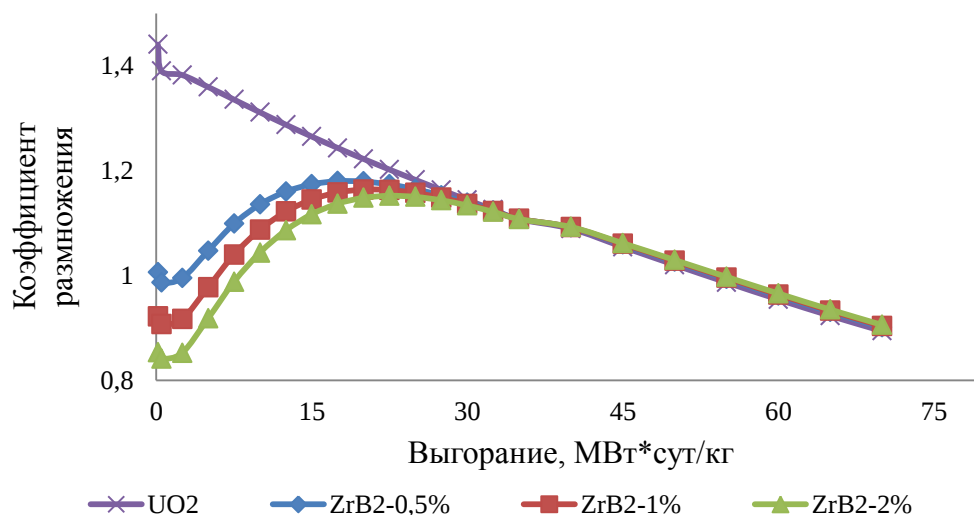


Рисунок 2.4 – Зависимость коэффициента размножения (k_{∞}) от глубины выгорания топлива при различной толщине напыления (при различном содержании диборида циркония в твэле)

Способ размещения выгорающего поглотителя в виде напыления сохраняет преимущества и недостатки, свойственные гетерогенному размещению ВП. Главный недостаток, связан с ограничением толщины напыления толщиной зазора между топливной таблеткой и оболочкой твэла. При толщине напыления 0,0031 см, что соответствует 1 % от массы топлива, за кампанию длительностью 300 суток выгорает 88 % поглотителя, за кампанию длительностью 480 суток - 95 % поглотителя и за кампанию длительностью 660 суток - 99 %.

Для увеличения доли выгорающего поглотителя необходимо будет увеличивать количество твэлов с напылением диборида циркония в ТВС.

2.5 Расчет глубины выгорания при PuO_2 в качестве выгорающего поглотителя

Рассмотрим динамику изменения глубины выгорания топлива в активной зоне при использовании PuO_2 вместо Gd_2O_3 . Такая замена осуществима лишь в условиях замкнутого топливного цикла, так как такой процесс подразумевает под собой помимо извлечения плутония из ОЯТ, но и технологии по изготовлению и обращению с твэлами в условиях высокой радиоактивности.

Таблица 2.5 – расчет концентрации смеси $\text{UO}_2 - \text{PuO}_2$ при содержании плутония 1,6 % от массы тяж.ат.

Топливо	Концентрация, $\frac{1}{\text{см}^3}$
UO_2	0,02306
U^{235}	0,001153
U^{238}	0,021907
PuO_2	0,0004012
Pu^{238}	0,000008024
Pu^{239}	0,00024072
Pu^{240}	0,0001003
Pu^{241}	0,00004012
Pu^{242}	0,000012036
O_2	0,0469224

В данном случае PuO_2 добавляется к обогащенному урану, в отличие от классического случая, в котором PuO_2 добавляется к отвалному или природному урану. Результаты расчетов приведены на рисунке 5.

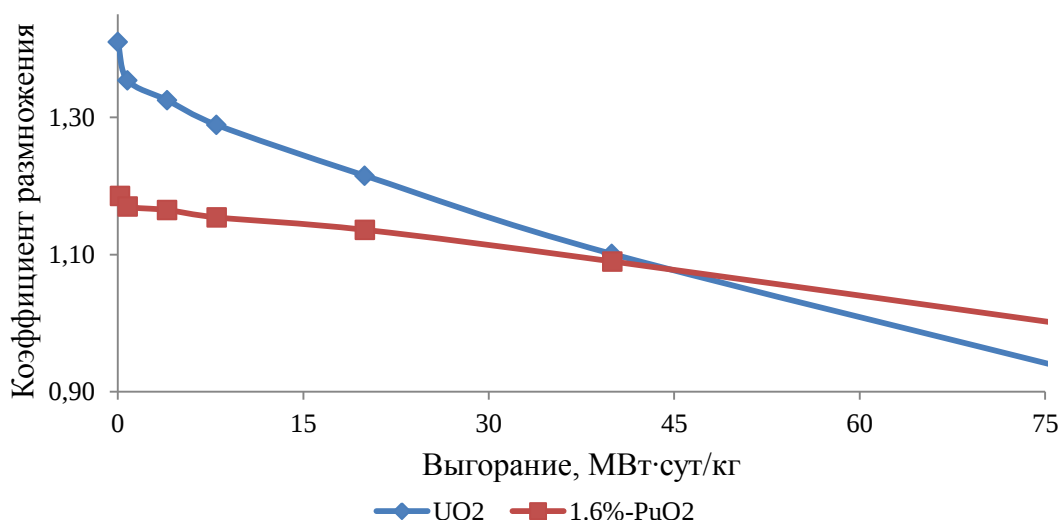


Рисунок 2.5 – Зависимость коэффициента размножения (k_{∞}) от глубины выгорания топлива для UO_2 с обогащением в 5 % и смеси UO_2 с PuO_2 (Pu — энергетический плутоний)

Из анализа полученных кривых следует, что замена гадолиния плутонием в начале активной зоны снижает реактивность за счет поглощения нейтронов четными изотопами, однако к концу кампании глубина выгорания увеличивается за счет деления нечетных изотопов. При сохранении обогащения топлива возможно увеличение кампании топливной загрузки, уменьшение количества перегрузок отработавшего топлива в единицу времени работы реактора. При добавлении плутония в количестве 1,6 % тяж. ат. позволяет увеличить глубину выгорания топлива примерно на 0,5 МВт · сут/кг.

2.6 Расчет глубины выгорания при использовании в качестве выгорающего поглотителя ThO_2

В рамках дипломной работы также рассмотрена возможность частичного использования ториевого цикла с добавлением к диоксиду урана 10 % тория, в котором Th^{232} после захвата нейтрона и последующего

радиоактивного распада превращается в делящийся U^{233} . Однако из-за малого сечения поглощения тепловых нейтронов такой путь оказывается тупиковым.

Таблица 2.6 – расчет концентрации смеси $UO_2 - ThO_2$

Топливо	Концентрация, $\frac{1}{\text{см}^3}$
UO_2	0,0210922
U^{235}	0,001052
U^{238}	0,0200264
ThO_2	0,0004012
Th^{232}	0,00221266
O_2	0,0467231

Соответствующие кривые приведены на рисунке 6.

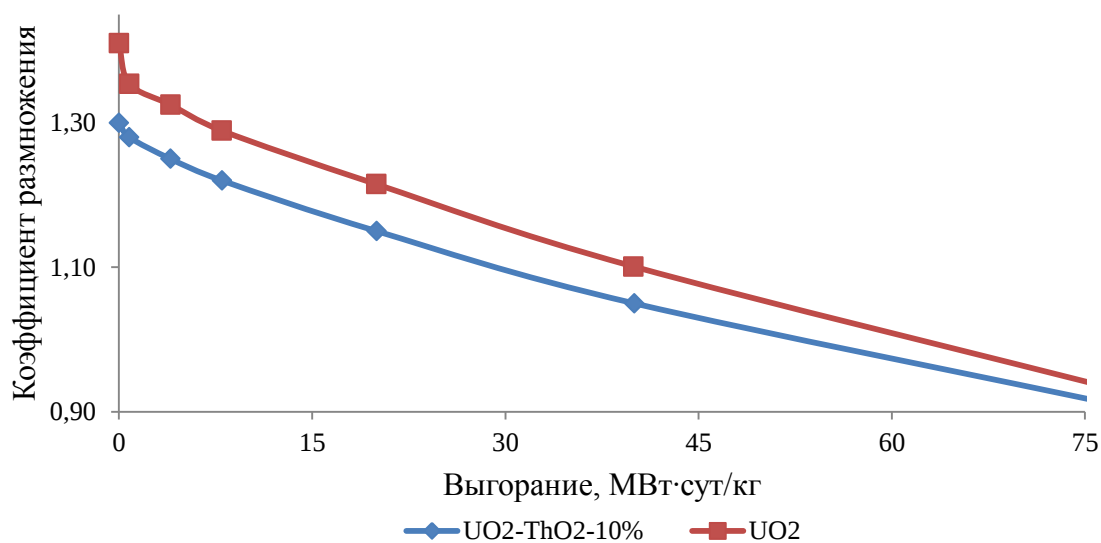


Рисунок 2.6 – Зависимость коэффициента размножения (k_{∞}) от глубины выгорания топлива без поглотителя и с ThO_2 в качестве поглотителя

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель и студент.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Научный руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Разработка общей методики проведения исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Научный руководитель, студент
	7	Освоение оборудования и программного обеспечения	Студент
	8	Построение модели	Студент
	9	Практический расчет	Студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент

	11	Составление и оформление расчетов	Студент
	12	Составление пояснительной записки	Студент
	13	Подготовка к защите темы	Студент

3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования [11].

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

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxі}}{5}, \quad (3.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как

удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3.2)$$

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

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

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

3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным графиком проведения научных работ является ленточная диаграмма Ганта [11].

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.3)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.4)$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 96 - 20} = 1,47$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.3 — Временные показатели проведения научного исследования (Н.р. – научный руководитель; С – студент)

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность в раб. днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	$t_{\min}$, чел-дни	$t_{\max}$, чел-дни	$t_{\text{ож}},$ чел-дни			
1. Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Н.р.	0,9	1
2. Выбор направления исследования	1	2	1,4	Н.р. С	0,7	1
3. Подбор и изучение материалов по теме	7	10	8,2	С	8,2	12
4. Разработка общей методики проведения исследований	1	6	3	Н.р. С	1,5	2
5. Календарное планирование работ по теме	2	5	3,2	Н.р. С	1,6	2
6. Проведение теоретических расчетов и обоснований	1	3	1,8	Н.р. С	0,9	1
7. Освоение оборудования и программного обеспечения	5	10	7	С	7	10
8. Построение модели	2	7	4	С	4	6
9. Практический расчет	4	5	4,4	С	4,4	7
10. Оценка эффективности полученных результатов	4	5	4,4	Н.р. С	2,2	3
11. Составление и оформление расчетов	4	7	5,2	С	5,2	8
12. Составление пояснительной записки	4	5	4,4	С	4,4	7
13. Подготовка к защите темы	1	2	1,4	С	1,4	2

На основе таблицы 3.3 построен календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках

научно-исследовательского проекта на основе таблицы 3.4 с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования.

Таблица 3.4 — Календарный план-график проведения НИР по теме

№ раб	Вид работ	Исполнители	$T_{\text{кп}}$, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ							
				Май				Июнь			
				1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление и утверждение технического задания	Н.р.	1	■							
2	Выбор направления исследования	Н.р. С	1	■							
3	Подбор и изучение материалов по теме	С	12		■						
4	Разработка общей методики проведения исследований	Н.р. С	2			■					
5	Календарное планирование работ по теме	Н.р. С	2			■					
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Н.р. С	1				■				
7	Освоение оборудования и программного обеспечения	С	10				■				
8	Построение модели	С	6					■			
9	Практический расчет	С	7						■		
10	Оценка эффективности полученных результатов	Н.р. С	3							■	
11	Составление и оформление расчетов	С	8							■	
12	Составление пояснительной записки	С	7								■
13	Подготовка к защите темы	С	2								■

3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (3.5)$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.5.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – студент.

Основные работы для ВКР проводились за персональным компьютером (ноутбуком) в комнате жилого дома. Время, проведенное работой у компьютера, примем равным 900 часам. Мощность ноутбука: 0,9 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2,7 \cdot 0,9 \cdot 900 = 2187 \quad (3.6)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2187 рублей.

Материальные затраты, необходимые для выполнения представленных в проекте расчетов разработки, представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 — Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
1. Бумага	шт.	200	0,4	80
2. Печать на листе А4	шт.	200	1,5	300
3. Карандаш	шт.	4	8	32
4. Ластик	Шт.	1	10	10

5. Доступ в интернет	месяц	5	360	1800
6. Электроэнергия	кВт·ч	810	2,70	2187
Итого				4409

3.6 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научного руководителя и стипендия студента за время дипломирования. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Расчёт основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Трудо- ёмкость, чел.-дн.		Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.	
		С	Н.р	С	Н.р.	С	Н.р.
1	Составление и утверждение технического задания	-	1,8	165,88	602,2	-	1083,96
2	Выбор направления исследования	0,7	0,7			116,12	421,54
3	Подбор и изучение материалов по теме	8,2	-			1360,22	-
4	Разработка общей методики проведения исследований	1,5	1,5			248,82	903,3
5	Календарное планирование работ по теме	1,6	1,6			265,41	963,52
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	0,9	0,9			149,29	541,98
7	Освоение оборудования и программного обеспечения	7	-			1161,16	-
8	Построение модели	4	-			663,52	-
9	Практический расчет	4,4	-			729,87	-
10	Оценка эффективности полученных результатов	2,2	2,2			364,94	1324,84
11	Составление и оформление расчетов	5,2	-			862,58	-
12	Составление пояснительной записки	4,4	-			729,87	-

13	Подготовка к защите темы	1,4	-			232,23	-
Итого:						6884,03	5239,14

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (3.7)$$

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

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (3.8)$$

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

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.9)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. таблица 3.7.

Таблица 3.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
-----------------------------	--------------	---------

Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	256	256
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	31	45
Действительный годовой фонд рабочего времени	225	211

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{Д}}) k_{\text{р}}, \quad (3.10)$$

где $З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_{\text{Д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – 15-20 % от $З_{\text{ТС}}$; в расчетах используется значение равное 0,35);

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

Таблица 3.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	9305,94	1,3	19961,24	922,65	8,7	5239,14
Студент	3125	-	3125	154,03	41,5	6884,03
Итого $З_{\text{осн}}$						12123,17

3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.11)$$

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

На основании пункта 1 ст. 58 Федерального закона от 24.07.2009 № 212-ФЗ (ред. от 23.05.2015) для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году установлена пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представляются в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Научный руководитель
Основная заработная плата, руб.	5239,14
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Сумма отчислений	1646,97
Итого	1646,97

3.8 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров [11].

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнение темы. Расчёт накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$С_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.12)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов, равный 30 %.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (5239,14 + 838,26) = 1823,22 \text{ руб.}$$

3.9 Формирование бюджета затрат НТИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	4409
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12123,17
Отчисления во внебюджетные фонды	1646,97
Накладные расходы	1823,22
Бюджет затрат НТИ	20002,36

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [12].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [12], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 4.1 .

Таблица 4.1 — Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Кафедра ФЭУ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно- эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

На бакалавра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда,

эмоциональные перегрузки).

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ

4.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

4.3 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 3.

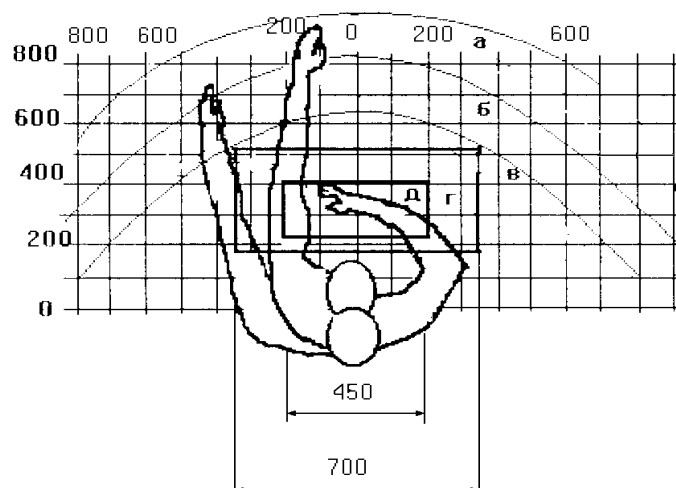


Рисунок 4.3 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура — в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);

Документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони — в (слева) — литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола — литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не

менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500 – 600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 ° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 °. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 °. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической

напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.4 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [13] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность — 40%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с, температура летом — 20 – 25 °С, зимой — 13 – 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц — 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц — 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц– 2 кГц — 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц — 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

– применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [13] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.5 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);

- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей) [14].

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно с [15], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;

- работа с открытой электроаппаратурой;

- короткие замыкания в блоке питания;

- несоблюдение правил пожарной безопасности;

– наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации .

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения — предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);

- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;

- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчетные исследования, связанные с увеличением глубины выгорания ядерного топлива ВВЭР-1000, показали следующее:

- для существующих годовых кампаний реактора целесообразно использование гомогенного размещения оксида гадолиния в топливе в виде ТВЭГов. При длительности кампании 300 суток требуется от 1 до 2,2 % от массы топлива;

- для более длительных кампаний реактора (1,5-2 года) предпочтительно гетерогенное размещение оксида гадолиния в центре топливной таблетки. Для кампании реактора длительностью 18 месяцев потребуется 0,6 % Gd_2O_3 от массы топлива, для кампании в 24 месяца – 1,6 %, что в 7,6 и 4,7 раза меньше, чем для варианта с гомогенным размещением соответственно;

- при напылении диборида циркония на топливные таблетки время необходимое для выгорания поглотителя слабо зависит от начального содержания выгорающего поглотителя (толщины напыления). Полное выгорание поглотителя наблюдается лишь в длительных топливных циклах (24 месяца);

- в условиях замкнутого топливного цикла добавление энергетического плутония к обогащенному урану, используемому в качестве топлива для ВВЭР-1000, в количестве 1,6 % тяж. ат. позволяет увеличить глубину выгорания топлива примерно на 0,5 МВт·сут/кг;

- в условиях замкнутого топливного цикла добавление к обогащенному урану всего набора изотопов нептуния, америция, кюрия позволяет поддерживать постоянный уровень радиотоксичности, определяемой долгоживущими α -излучающими нуклидами, которые в противном случае накапливаются в долговременных хранилищах отработавшего топлива ядерных реакторов.

– в рамках дипломной работы была рассмотрена возможность частичного использования ториевого цикла с добавлением к диоксиду урана 10 % тория, однако такой путь оказывается тупиковым

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Сливин А. А., Чертков Ю. Б., Аникин М. Н. Расчетно-экспериментальные исследования реактивностных параметров реактора ИРТ-Т //science and Technology. – 2008. – Т. 45. – №. 6. – С. 582-587.
2. Сливин А. А., Лебедев И. И., Чертков Ю. Б. Организация дополнительных экспериментальных каналов для облучения слитков кремния в реакторе ИРТ-Т// VII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине»: сборник тезисов докладов, 3-6 июня 2015г., г. Томск.
3. Сливин А. А., Аникин М. Н., Чертков Ю. Б. Использование выгорающих поглотителей в ядерных реакторах типа ВВЭР. Поиск альтернативных материалов //VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, 14-16 октября 2015г., г. Томск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2015.–147с. ISBN 978-5-93915-122-1. – 2015. – С. 104.
4. Сливин А. А., Аникин М. Н., Чертков Ю. Б. Возможность использования альтернативных выгорающих поглотителей в ядерных реакторах типа ВВЭР //Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий, 21-25 марта 2016г., г.Северск: Изд: ФГАОУ ВПО «Национальный Исследовательский ядерный университет «МИФИ», СЕВЕРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давахра Сааду. Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР: Дис. канд. Тех. Наук : 05.14.03 Москва, 2006 13с.
2. С. В. Широков, В. В. Заец. Глубина выгорания ядерного топлива ВВЭР с различными выгорающими поглотителями. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина
3. Аль Афров А. М., Андрушенко С. А., Украинцев В. Ф., Васильев Б. Ю., Косоуков К. Б., Семченков Ю. М., Кокосадзе Э. Л., Иванов Е. А. ВВЭР – 1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 488 с. – 1000 экс
4. Конотоп Ю. Ф., Одейчук Н. П., Красноруцкий В. С. Современное состояние проблемы поглощающих нейтроны материалов и изделий на их основе для реакторов типа ВВЭР-1000: Аналитический обзор //Харьков: ННЦ ХФТИ. – 1998. – С. 68-78.
5. Альдавахра С., Савандер В. И., Белоусов Н. И. Методика расчета и анализ применения гранулированных поглотителей в ВВЭР //Атомная энергия. – 2006. – Т. 100. – №. 1. – С. 8-12.
6. Лемехов В.В., Смирнов В.С., Уманский А.А. Минорные актиноиды как фактор безопасности уранового старта ядерной энергетики на быстрых нейтронах. ОАО «НИКИЭТ», г.Москва, Россия.
7. Национальная Академия наук Беларуси Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» информационный бюллетень № 1(9) 2012 [электронный ресурс] Url: http://sosny.bas-net.by/wp-content/uploads/2012/09/bul_2012_1.pdf (дата обращения 25.05.2016)
8. Патент РФ № 2131626 – Таблетка ядерного топлива с покрытием (ее варианты), способ нанесения покрытия и установка для осуществления способа

9. WIMSD-IAEA Library [электронный ресурс] Url: <http://nucleus.iaea.org/CIR/CIR/WIMSDLibrary.html> (дата обращения 30.05.2016)
10. Кандалов В. Б., Преображенский Д. Г., Романов А. И., Самойлов О. Б., Фальков А. А., Шишкин А. А. Тепловыделяющая сборка ТВСА ВВЭР-1000: направления развития и результаты эксплуатации
11. Гаврикова Н. А., Тухватулина Л. Р., Видяев И. Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение //Томск: Издательство Томского политехнического университета. – 2014.
12. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07.
13. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.002-74; введ. 1976-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2002.
14. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988.
15. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.

ПРИЛОЖЕНИЕ А