

Школа _____ инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки _____ 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы _____ отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния обогащения топлива на нейтронно-физические характеристики реактора типа ВВЭР-СКД

УДК 621.039.524.441:621.039.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А9З	Игнатов Иосиф Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преп. ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
Профессиональные	
ПК(У)-1	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы
ПК(У)-2	Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа

ПК(У)-3	Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
ПК(У)-4	Способен использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5	Готов к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6	Способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7	Способен к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готов к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9	Способен к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10	Готов к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12	Готов к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
ПК(У)-13	Способен 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
ПК(У)-14	Готов разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
ПК(У)-15	Способен к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа _____ инженерная школа ядерных технологий _____
Направление подготовки _____ 14.03.02 Ядерные физика и технологии _____
Отделение школы _____ отделение ядерно-топливного цикла _____

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Селиваникова О.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А93	Игнатову Иосифу Александровичу

Тема работы:

Исследование влияния обогащения топлива на нейтронно-физические характеристики реактора типа ВВЭР-СКД	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №31-8/с от 31.01.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – Тепловая мощность 3850 [МВт]; – ядерное горючее UO_2; – температура на входе 290 [°C]; – температура на выходе 540 [°C]; – давление теплоносителя на выходе 25 [МПа]; – твэлы стержневые с наружным охлаждением – материалы оболочек твэлов и кассет ЧС-68;
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Создание расчетных моделей в программах WIMS-D5 и MCU; – Расчет длительности кампании для разного обогащения топлива; – Расчет запаса реактивности для разного обогащения топлива; – Расчет средней глубины выгорания; – Определение оптимального обогащения топлива.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> – Презентация; – чертеж; – спецификация.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Передерин Юрий Владимирович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Игнатов Иосиф Александрович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа _____ инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки _____ 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования _____ бакалавриат
 Отделение школы _____ отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения _____ весенний семестр 2022/2023 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.02.2023	1. Составление технического задания и выбор направления исследований	10
16.02.2023	2. Разработка общей методики проведения исследования	10
16.03.2023	3. Подбор и изучение материалов по теме	10
16.04.2023	4. Создание расчётных моделей и проведение расчетов	30
30.04.2023	5. Обработка полученных данных	20
14.05.2023	6. Оформление выполненной работы	10
28.05.2023	7. Подготовка к защите	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	. Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преп. ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 84 страницы, 24 рисунка, 28 таблиц, 22 источника, 3 приложения, 1 чертеж, 1 спецификация.

Ключевые слова: ядерный реактор; сверхкритические параметры, нейтронно-физический расчет; программный комплекс WIMS; программный комплекс MCU, обогащение, запас реактивности.

Объект исследования: водо-водяной энергетический реактор со сверхкритическими параметрами теплоносителя, тепловая мощность 3850 МВт, топливо UO_2 , материал оболочки твэл – ЧС-68.

Цель работы – создание расчетной модели реактора и исследование его нейтронно-физических характеристик с разным обогащением топлива.

В процессе исследования проводились расчеты нейтронно-физических характеристик реактора с разным обогащением, произведен расчет финансовой составляющей работы, описаны факторы, влиявшие на выполнение работы.

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики реактора с разным обогащением, определено оптимальное обогащение для нормального функционирования, оценено влияние твердого замедлителя на нейтронно-физические характеристики, оценена финансовая составляющая работа и описаны внешние факторы, оказывающие влияние на исследование.

Область применения: ядерная энергетика.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

Содержание

Введение	10
Определения, обозначения, сокращения	12
1 Обзор литературы.....	13
1.1 Сверхкритические параметры воды	13
1.2 Ядерный реактор типа ВВЭР-СКД.....	15
1.3 Однозаходная система циркуляции.....	16
1.4 Двухзаходная система циркуляции	17
1.5 Тепловыделяющие элементы ядерного реактора	19
1.6 Ядерное топливо.....	20
2 Расчетная часть.....	21
2.1 Расчет в программе WIMS	21
2.2 Расчет в программе MCU.....	35
2.3 Сравнение результатов.....	40
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	42
3.1 Потенциальные потребители	45
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений	46
3.1.2 SWOT-анализ.....	48
3.2 Планирование научно-исследовательской работы	51
3.2.1 Структура работы в рамках научного исследования	51
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	52
3.3 Бюджет научно-технического исследования	56
3.3.1 Расчёт материальных затрат научно-технического исследования	56
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей	57
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды.....	59
3.3.4 Накладные расходы	60
3.3.5 Формирование бюджета затрат проекта	61
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	62
4 Социальная ответственность	67
4.1 Компоновка исследовательской рабочей зоны.....	67
4.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов	68

4.3 Освещенность рабочей зоны.....	69
4.4 Превышение уровня шума	70
4.5 Микроклимат	71
4.6 Электробезопасность	72
4.7 Взрывопожароопасность.....	73
4.8 Радиационная безопасность.....	74
4.9 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях	75
4.10 Вывод по разделу	76
Заключение	77
Список использованных источников	78
Приложение А	82
Приложение Б.....	83
Приложение В	84

Введение

В настоящее время классическая энергетика на сгораемом топливе или водной энергии перестает быть на лидирующих позициях из-за повышения стоимости топлива и серьезных проблем с экологией. Альтернативные источники энергии также имеют серьезные недостатки, которые ограничивают их применение. В связи с этим в мире повышается актуальность атомной энергетике, у которой, благодаря постоянному совершенствованию технологий, влияние данных негативных факторов постоянно уменьшается.

Основой современной мировой ядерной энергетике являются реакторы с легкой водой под давлением, в которых вода выступает в качестве замедлителя и теплоносителя. В России энергетические установки такого типа называются водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР). Для повышения конкурентоспособности реакторов и их эффективности, рассматривают различные новые проекты, один из них – это переход в сверхкритическим параметрам теплоноситель. Один из таких проектов – ВВЭР-СКД. Данный проект представляет собой актуальное направление в развитии ядерной энергетике, которое имеет значительный потенциал повышения производительности и безопасности ядерных реакторов, а также сокращения затрат на эксплуатацию и конструирование.

Цель данной работы: исследовать нейтронно-физические характеристики реактора типа ВВЭР-СКД с разным обогащением топлива.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Проведение литературного обзора по теме исследования;
- Выбор рабочих параметров ядерного реактора;
- Создание расчетной модели и расчет в программе WIMS и MCU;
- Определение запаса реактивности при разном обогащении топлива UO_2 ;
- Определение спектра плотности потока нейтронов;

– Получение длительности топливной кампании при разном обогащении топлива UO_2 .

Определения, обозначения, сокращения

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

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.

АЭС – атомная электростанция;

ЯР – ядерный реактор;

ЯТ – ядерное топливо;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

СКД – сверхкритическое давление;

АЗ – активная зона;

ЦЗ – центральная зона;

ПЗ – периферийная зона

МВт – мегаватт;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

1 Обзор литературы

1.1 Сверхкритические параметры воды

В качестве теплоносителя для реакторов со сверхкритическим давлением в первую очередь рассматривается вода, так как в настоящее время это самый популярный в эксплуатации теплоноситель.

Сверхкритическая жидкость – это состояние вещества, при котором различие между жидкостью и газом исчезает. Любое вещество при определённой температуре и давлении выше критической точки, является сверхкритической жидкостью.

Критическая точка для воды – это состояние, при котором существует определенное соотношение температуры и давления, при которых граница между жидкой и газообразной фазами воды исчезает. То есть, при этом состоянии, вода существует в единственной фазе, которая называется сверхкритической. На рисунке 1.1 представлена фазовая диаграмма для воды. Критическая точка для воды находится при температуре 374 °С и давлении 22,1 МПа [1].

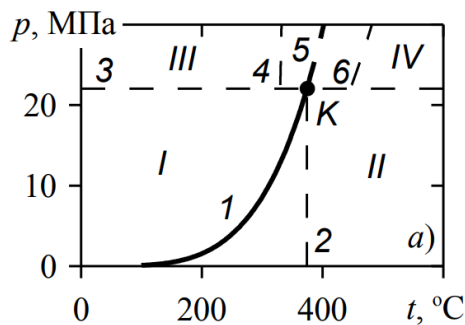


Рисунок 1.1 – Фазовая диаграмма воды, где I - жидкость, II - газ, III-псевдожидкость, IV -псевдогаз.

В критической точке обращается в бесконечность изотермическая сжимаемость, изобарная теплоемкость имеет бесконечное значение, теплота фазового перехода (теплота испарения) становится равной нулю. Параметры воды (давление, температура, удельный объем) в критической точке имеют

следующие значения: $p_{кр} = 22,1$ МПа, $t_{кр} = 374$ °С, $\rho_{кр} = 0,003106$ м³/кг. На рисунке 1.2 показаны теплофизические свойства воды [1].

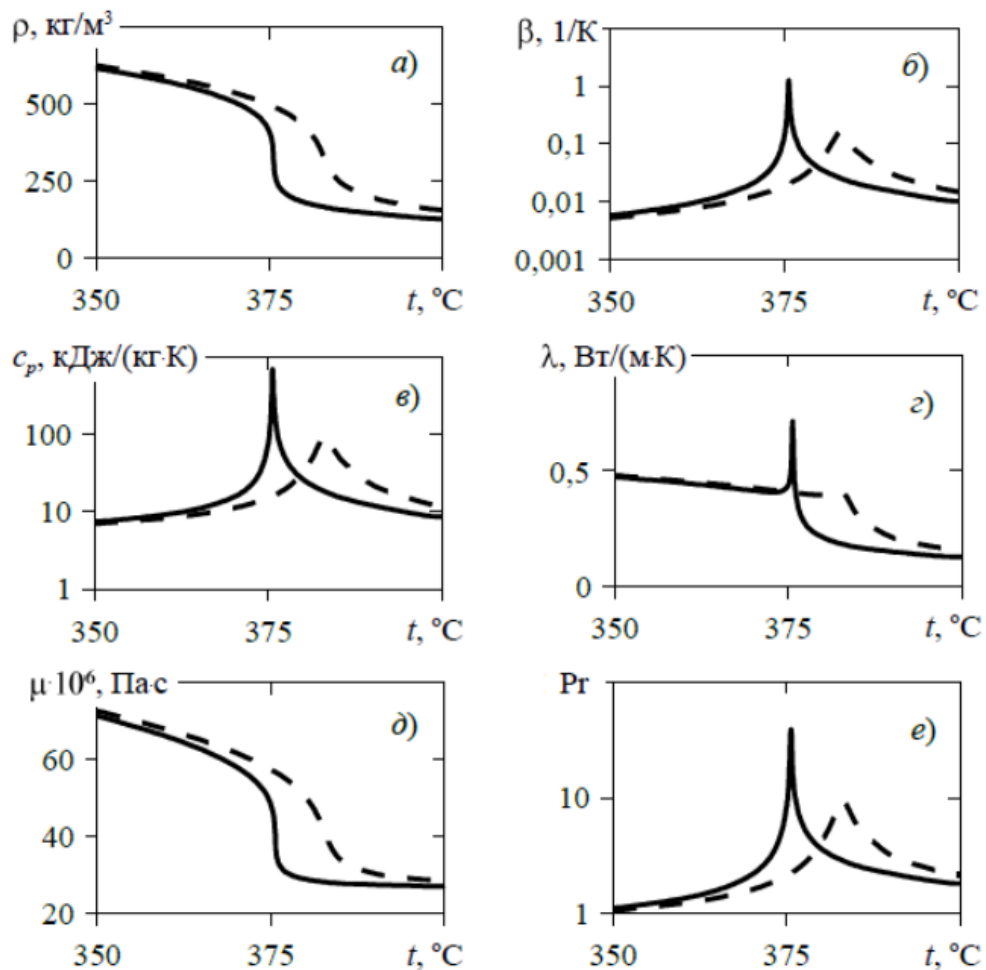


Рисунок 1.2 – Теплофизические свойства воды [2]: а – плотность ρ , б – коэффициент объемного расширения β , в – удельная теплоемкость C_p , г – коэффициент теплопроводности λ , д – динамический коэффициент вязкости μ , е – число Прандтля Pr

Представленные графики показывают, что при превышении давления критической точки существует определенный диапазон температур, при которых свойства воды претерпевают резкие изменения. Удельная теплоемкость, число Прандтля, коэффициент объемного расширения и коэффициент теплопроводности в зависимости от температуры проявляют выраженные максимумы на графиках. В то же время, вязкость и плотность резко снижаются вблизи псевдокритической температуры. По мере удаления от точки с указанным давлением кривые, описывающие зависимости от

температуры и давления, плавно сглаживаются и принимают характер, типичный для однофазных сред [1].

При нагреве воды происходит сильное уменьшение ее плотности, что сильно влияет на теплообмен и течение жидкости. Уменьшается вязкость вещества, что позволяет увеличить скорость течения и улучшить теплообмен. Так же, уменьшение плотности сказывается на плотности нейтронного потока в активной зоне, нейтронный поток сдвигается в область быстро-резонансного спектра, вследствие уменьшения замедляющей способности воды.

1.2 Ядерный реактор типа ВВЭР-СКД

На сегодняшний день наиболее распространенный тип реакторов это водо-водяные реакторы под давлением. Имея значительный опыт работы с данным типом реакторов, были выявлены их сильные и слабые стороны в техническом, конструктивном и технологическом плане. Одним из основных недостатков ВВЭР является относительно низкая температура теплоносителя при выходе из активной зоны, что приводит к недостаточной эффективности энергоблока, а также высокий запас реактивности в начале эксплуатации. Оба эти недостатка можно преодолеть, перейдя к работе с параметрами теплоносителя, превышающими критические значения. Реакторы ВВЭР-СКД обладают большим рядом преимуществ: новые реакторы имеют более высокую рабочую температуру и более высокую тепловую мощность, что позволяет получать более высокую производительность, сокращение объема основного оборудования из-за уменьшения количества контуров теплоносителя, использование жесткого спектра нейтронов, что позволяет достичь высокого коэффициента воспроизводства топлива. Коэффициент полезного действия в реакторной установке со сверхкритическими параметрами теплоносителя увеличивается до 42 – 45% по сравнению со стандартными ВВЭР-1000 33 – 34% [1].

Одним из достоинств данной реакторной установки является отсутствие второго контура теплоносителя. Так как в качестве теплоносителя используется вода под сверхкритическим давлением, отпадает нужда в использовании парогенератора и другого сопутствующего оборудования, следовательно, это делает проект менее затратным при строительстве и обслуживании, по сравнению с серийными ВВЭР-1000.

Главным компонентом ядерного реактора является цилиндрический корпус. Для создания днища и крышки используется прочная сталь, обладающая высокой радиационной стойкостью. В активных зонах корпусных ВВЭР-СКД возможны два варианта конструкции: один предназначен для работы реактора с использованием тепловых нейтронов, а другой - для работы с быстрыми или быстро резонансными нейтронами [1]. Из-за этого рассматривают различные проекты с дополнительными водными элементами в тепловыделяющих сборках, либо использование твердого замедлителя, например, гидрида циркония. Так же прорабатывается два варианта для системы циркуляции теплоносителя в активной зоне: однозаходная и двухзаходная.

1.3 Однозаходная система циркуляции

Система циркуляции является одним из ключевых элементов ядерной установки, обеспечивающим надежную и безопасную работу реактора. Комплексный подход к разработке и выбору оптимальной системы циркуляции, а также использование соответствующих технологий, материалов и методов могут существенно повлиять на эффективность, надежность и экономичность работы ядерной установки. Выбор оптимальной системы циркуляции теплоносителя в большой степени зависит от конкретных условий эксплуатации и требований к установке. При этом необходимо учитывать такие критерии, как эффективность, надежность, безопасность и экономичность, а также удобство обслуживания и ремонта системы.

Для упрощения конструкции и повышения безопасности установки в режимах естественной циркуляции теплоносителя применяется однозаходная схема, в которой теплоноситель поступает в реактор через входные патрубки и опускается в кольцевом зазоре между шахтой и корпусом реактора для дальнейшего нагрева в активной зоне. Полученный пар через выходные патрубки поступает на турбину, схема однозаходной системы циркуляции представлена на рисунке 1.3.

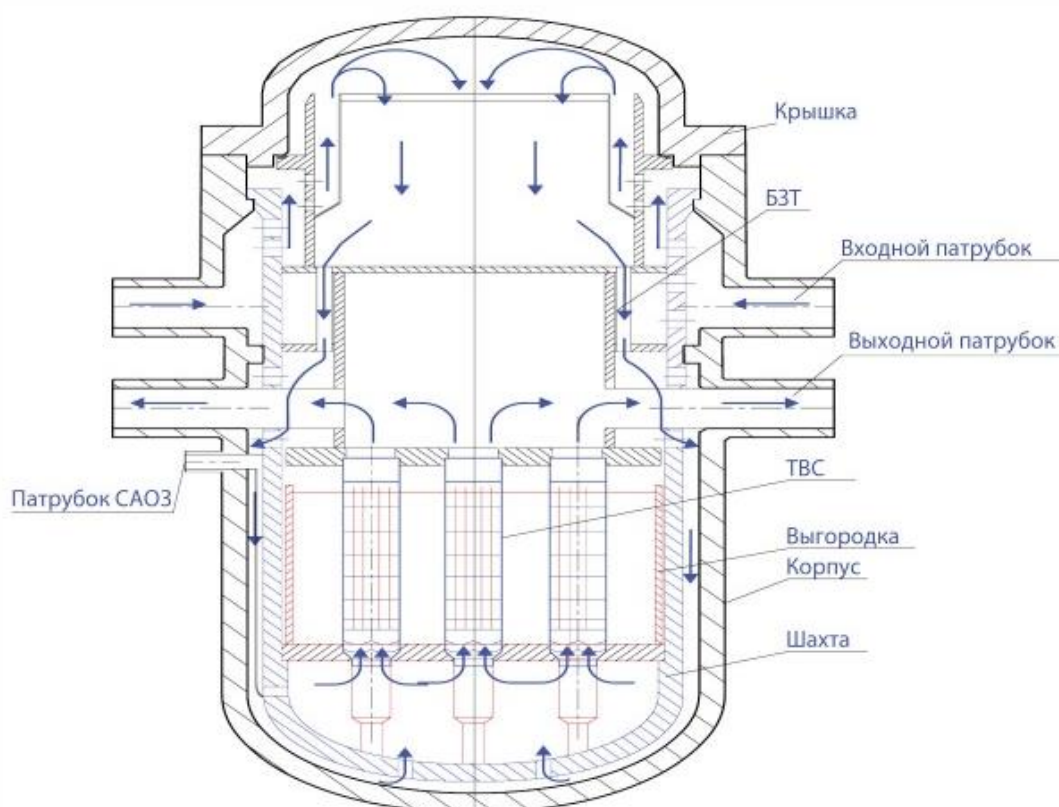


Рисунок 1.3 – Реактор ВВЭР-СКД с однозаходной системой циркуляции [3].

1.4 Двухзаходная система циркуляции

Двухзаходная система циркуляции может оказаться более эффективной и экономичной, чем однозаходная схема в некоторых случаях. Однако, использование такой системы требует более сложной конструкции и повышенных требований к точности изготовления, поэтому ее применение

может быть ограничено некоторыми факторами, такими как стоимость, доступность необходимого оборудования и технологий производства. Кроме того, при использовании двухзаходной системы необходимо учитывать возможные негативные последствия, например, увеличение вероятности турбулентного потока или возникновение проблем с трубопроводами.

В системе двухзаходной циркуляции (рисунок 1.4), теплоноситель подается в активную зону через входные патрубки. Затем он спускается в периферийную зону и проходит через кольцевой зазор между шахтой и корпусом реактора, где происходит смешивание, перед тем как поступить в центральную зону, где происходит подъемное движение [4]. Такая конфигурация системы значительно увеличивает коэффициент теплоотдачи и снижает температуру оболочек тепловыделяющих элементов. Разделение активной зоны на два участка приводит к уменьшению площади проходного сечения для теплоносителя и увеличению его скорости, что повышает эффективность работы системы [5]. Кроме того, существуют различные способы снижения значительных аксиальных неравномерностей энерговыделения, такие как профилирование обогащения топлива или размещение замедлителей в верхней части [6].

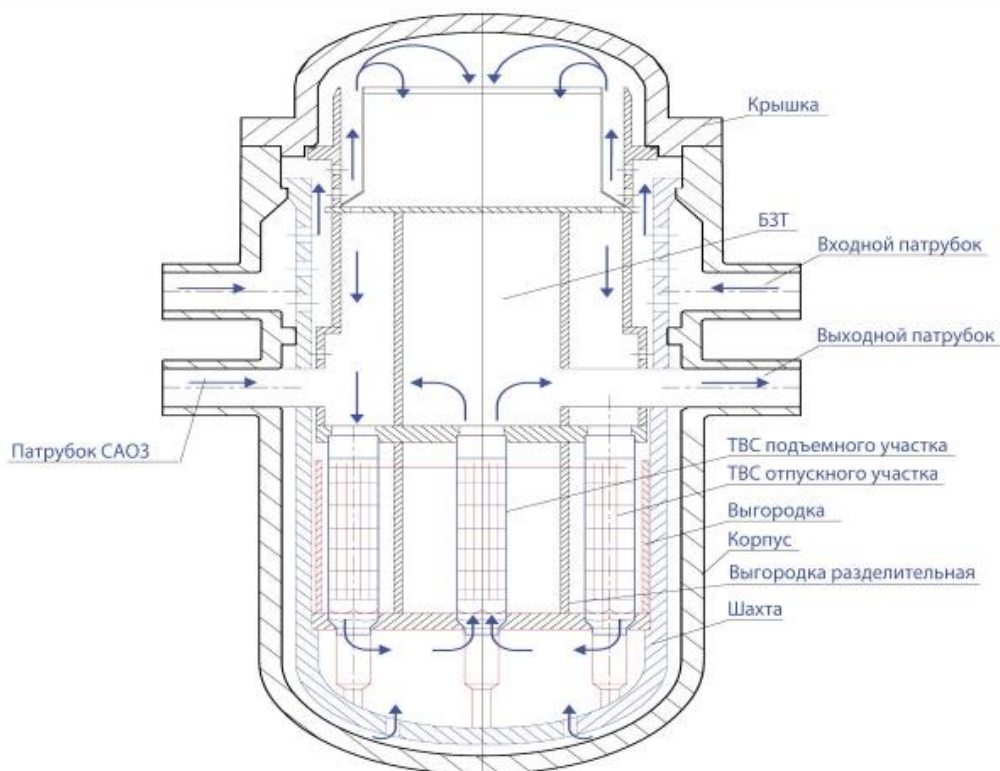


Рисунок 1.4 – Реактор ВВЭР-СКД с двухзаходной системой циркуляции [3].

1.5 Тепловыделяющие элементы ядерного реактора

ТВЭЛ является основным компонентом ядерного реактора, который содержит ядерное топливо и обеспечивает его управление, охлаждение и защиту. Он представляет собой структурный элемент, в котором располагаются топливные составы и стержни управления.

Одной из главных проблем является проблема использования материалов для ВВЭР-СКД. Материалы, которые будут использоваться в проекте ВВЭР-СКД должны обладать высокой коррозионной стойкостью, должны выдерживать высокие перепады температур под высоким давлением. Аустенитные нержавеющие стали обладают чрезвычайно высокой устойчивостью к общей коррозии в условиях водоохлаждаемых реакторов. Для повышения прочности и устойчивости к коррозионному растрескиванию

под напряжением, выбирают стали с повышенным содержанием никеля типа ЭИ847 или ЧС-68 [7]. Исследования характеристики внутриреакторной длительной прочности сталей с повышенным содержанием никеля и никелевого сплава показали, что облучением длительная прочность исследованных сталей и никелевого сплава оказалась практически одинаковой в широком диапазоне температур [8,9].

1.6 Ядерное топливо

На данных реакторах жесткий спектр нейтронов, позволяющий достичь высокого коэффициента воспроизводства топлива, сократить расходы урана, обеспечить введение в топливный цикл ^{238}U и выжигание радиоактивных отходов. Из-за этого могут быть реализованы проекты, как с открытым топливным циклом, так и с закрытым.

2 Расчетная часть

2.1 Расчет в программе WIMS

WIMS (Winfrith Improved Multigroup Scheme) – это компьютерная программа, предназначенная для нейтронно-физического расчета ядерных реакторов. Она разработана для моделирования и анализа поведения нейтронов в ядерном топливе и структурных материалах реактора. WIMS является хорошим инструментом для моделирования нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов. Ее использование помогает исследователям и инженерам разрабатывать и улучшать проекции реакторов, обеспечивая эффективность, безопасность и стабильность ядерной энергетики.

Программа WIMS базируется на методе многогруппового диффузионного приближения, который разделяет спектр нейтронов на несколько групп с различными энергиями. Она использует статистические данные и библиотеки сечений поглощения, рассеяния и иных физических свойств материалов для решения уравнений переноса нейтронов и определения их поведения внутри реактора [11].

В программе WIMS используется универсальная 69-групповая библиотека констант, которая была составлена на основе оцененных нейтронных данных из файлов ENDF, JEF и JENDL, полученных в ГНЦ РФ ФЭИ. Эта библиотека содержит 90 нуклидов, а для некоторых из них имеются несколько наборов микроконстант, полученных по разным теоретическим моделям. Например, для водорода, бора, изотопов урана и плутония имеется несколько наборов констант [11].

Расчет элементарной ячейки в программе WIMS проводился с целью определения оптимального начального обогащения топлива UO_2 , чтобы начальный запас реактивности и длительность топливной кампании превосходили данные параметры реактора ВВЭР-1000.

Основные физические характеристики реактора ВВЭР-СКД, которые будут использоваться при создании модели представлены в таблице 2.1. Физические характеристики реактора ВВЭР-1000 используются для создания сравнительной модели в WIMS представлены в таблице 2.2. Конструкционный материал для оболочки твэла выбрана сталь ЧС-68.

Таблица 2.1 – Основные характеристики реактора ВВЭР-СКД

Наименование	Значение
Давление теплоносителя на выходе из реактора, абсолютное, МПа	25
Тепловая мощность, МВт	3850
Температура теплоносителя на входе в реактор, °С	270-290
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	540
Расчетная температура внутрикорпусных устройств, °С	600
Шаг между ТВС (номинальный), мм	207
Размер чехла ТВС «под ключ», мм	205
Размер оболочки твэла, мм	10,7×0,55
Шаг треугольной решетки твэлов, мм	12
Толщина чехла, мм	2,25
Выгорание топлива, МВт сут/кг U	40-60
Количество твэлов в ТВС, шт	252
Количество чехловых ТВС в АЗ, шт	241
Материал оболочки твэла	Ni – сплав
Материал чехла	Ni – сплав
Высота/диаметр, см	376/350

Физические характеристики реактора ВВЭР-1000 используются для создания сравнительной модели в WIMS представлены в таблице 2.2. Конструкционный материал для оболочки твэла выбрана сталь ЧС-68.

Для сравнения будет использоваться диоксид урана с обогащением 5% по делящемуся изотопу U^{235} для ВВЭР-1000.

Так как элементарная ячейка состоит из нескольких зон, необходимо найти ядерные концентрации для каждой зоны.

Таблица 2.2 – Основные характеристики реактора ВВЭР-1000

Наименование	Значение
Давление теплоносителя на выходе из реактора, абсолютное, МПа	16
Температура теплоносителя на входе в реактор, °С	290
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	320
Расчетная температура внутрикорпусных устройств, °С	600
Размер чехла ТВС «под ключ», мм	234
Размер оболочки твэла, мм	9,1×0,7
Шаг треугольной решетки твэлов, мм	12,75
Материал оболочки твэла	Сплав Э110

Ядерная концентрация определяется по следующему принципу: сначала рассчитывается молекулярная концентрация вещества по формуле (1), затем для каждого отдельного входящего в состав молекулы элемента определяется его ядерная концентрация по формуле (2):

$$N_{i_{\text{мол}}} = \frac{\rho_i \cdot N_A}{\mu_i} \quad (1)$$

$$N_{i_{\text{ат}}} = N_{i_{\text{мол}}} \cdot \omega_{\text{ат}} \cdot C_i \quad (2)$$

где $N_{i_{\text{мол}}}$ – концентрация молекул, содержащих i -й элемент, см⁻³;

$N_{i_{\text{ат}}}$ – концентрация атомов i -го элемента, см⁻³;

N_A – постоянная Авогадро, моль⁻¹;

ρ_i – весовая концентрация элемента, кг/м³;

μ_i – молекулярная масса элемента, г/моль;

ω_{am} – количество атомов искомого элемента в молекуле;

C_i – обогащение по изотопу, в случае использования более чем одного изотопа элемента.

Концентрация ядерного топлива для ВВЭР-1000 рассчитана следующим образом:

$$N_{UO_2} = \frac{\rho_{UO_2} \cdot N_A}{\mu_{UO_2}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10,2}{270} = 2,275 \cdot 10^{22} \frac{\text{молекул}}{\text{см}^3}.$$

Расчет концентрации отдельных элементов, входящих в состав топлива, осуществлялся следующим образом:

$$N_{U^{235}} = N_{UO_2} \cdot C_{U^{235}} = 2,275 \cdot 10^{22} \cdot 0,05 = 1,137 \cdot 10^{21} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_{U^{238}} = N_{UO_2} \cdot (1 - C_{U^{235}}) = 2,275 \cdot 10^{22} \cdot (1 - 0,05) = 2,161 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_o^{UO_2} = N_{UO_2} \cdot 2 = 2,275 \cdot 10^{22} \cdot 2 = 4,55 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

Функции теплоносителя и замедлителя в реактор ВВЭР-1000 выполняет вода, для нее ядерные концентрации равны:

$$N_{H_2O} = \frac{\rho_{H_2O} \cdot N_A}{\mu_{H_2O}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,902}{18} = 3,018 \cdot 10^{22} \frac{\text{молекул}}{\text{см}^3};$$

$$N_H = N_{H_2O} \cdot 2 = 3,018 \cdot 10^{22} \cdot 2 = 6,035 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_o^{H_2O} = N_{H_2O} = 3,018 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

В качестве оболочки твэла используется циркониевый сплав Э110. Его состав: цирконий – 99%, ниобий 1%. Ядерные концентрации каждого компонента данного сплава равны:

$$N_{Zr} = \frac{\rho_{Э110} \cdot N_A \cdot C_{Zr}}{\mu_{Zr}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 6,5 \cdot 0,99}{91} = 4,259 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_{Nb} = \frac{\rho_{\text{Э110}} \cdot N_A \cdot C_{Nb}}{\mu_{Nb}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 6,5 \cdot 0,01}{93} = 4,21 \cdot 10^{20} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

При изготовлении в твэлы закачивается гелий, тогда его концентрация будет равна:

$$N_{He} = \frac{\rho_{He} \cdot N_A}{\mu_{He}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,00017846}{4} = 2,687 \cdot 10^{19} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

Концентрация ядерного топлива для ВВЭР-СКД для начального обогащения в 5% рассчитана следующим образом:

$$N_{UO_2} = \frac{\rho_{UO_2} \cdot N_A}{\mu_{UO_2}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10,2}{270} = 2,275 \cdot 10^{22} \frac{\text{молекул}}{\text{см}^3}.$$

Расчет концентрации отдельных элементов, входящих в состав топлива, осуществлялся следующим образом:

$$N_{U^{235}} = N_{UO_2} \cdot C_{U^{235}} = 2,275 \cdot 10^{22} \cdot 0,05 = 1,137 \cdot 10^{21} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_{U^{238}} = N_{UO_2} \cdot (1 - C_{U^{235}}) = 2,275 \cdot 10^{22} \cdot (1 - 0,05) = 2,161 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_o^{UO_2} = N_{UO_2} \cdot 2 = 2,275 \cdot 10^{22} \cdot 2 = 4,55 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

Функции теплоносителя и замедлителя в реактор ВВЭР-СКД так же как и в ВВЭР-1000 выполняет вода, но с другой плотностью из-за другого значения рабочего давления. Так как в данном исследуемом реакторе вода сильно меняет свою плотность при прохождении по активной зоне примем для расчетов среднее значение плотности воды $0,7 \text{ г/см}^3$.

$$N_{H_2O} = \frac{\rho_{H_2O} \cdot N_A}{\mu_{H_2O}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,7}{18} = 2,342 \cdot 10^{22} \frac{\text{молекул}}{\text{см}^3};$$

$$N_H = N_{H_2O} \cdot 2 = 2,342 \cdot 10^{22} \cdot 2 = 4,684 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_o^{H_2O} = N_{H_2O} = 2,342 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

В качестве оболочки твэла для ВВЭР-СКД используется хромоникелевый сплав ЧС-68. Состав данного сплава: хром – 16%, никель – 14%, железо – 68%. Ядерные концентрации каждого компонента данного сплава равны:

$$N_{Cr} = \frac{\rho_{ЧС68} \cdot N_A \cdot C_{Cr}}{\mu_{Cr}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,5 \cdot 0,16}{318} = 2,575 \cdot 10^{21} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_{Ni} = \frac{\rho_{ЧС68} \cdot N_A \cdot C_{Ni}}{\mu_{Ni}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,5 \cdot 0,14}{318} = 2,253 \cdot 10^{21} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3};$$

$$N_{Fe} = \frac{\rho_{ЧС68} \cdot N_A \cdot C_{Fe}}{\mu_{Fe}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,5 \cdot 0,7}{318} = 1,014 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}.$$

Аналогичным образом посчитаны концентрации для другого обогащения топлива в реакторе ВВЭР-СКД.

Программа WIMS использует универсальную 69-групповую библиотеку констант, в результате чего на рисунке 2.1 представлен спектр плотности потока нейтронов на начале кампании.

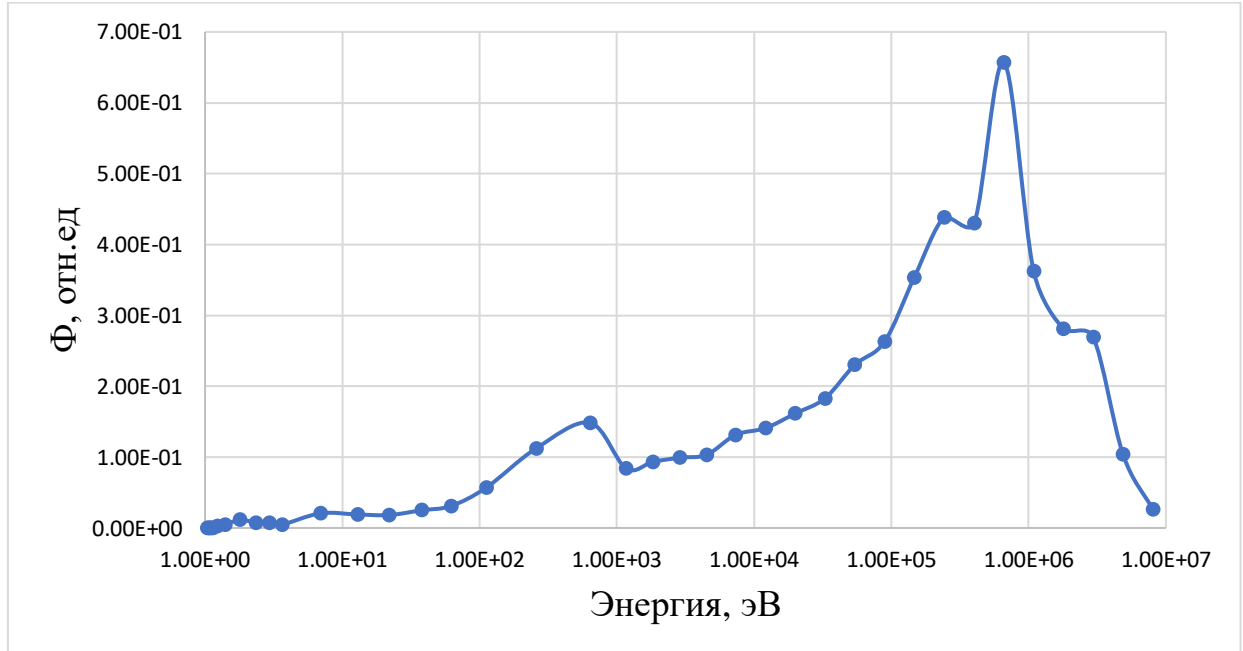


Рисунок 2.1 – Спектр плотности потока нейтронов

Рисунок 3 позволяет доказать применимость быстро-резонансного спектра нейтронов к реакторной установке по типу ВВЭР-СКД.

ВВЭР-СКД рассматривается как будущий проект, конкурирующий с типичными многосерийными ВВЭР, поэтому проведем сравнение изменения реактивности от глубины выгорания и длительность кампаний до полной остановки (рисунок 2.2).

Проведем расчет реактора ВВЭР-1000 в «горячем» состоянии. Температура топлива, оболочки и замедлителя (теплоносителя) 700 К, 600 К и 550 К соответственно.

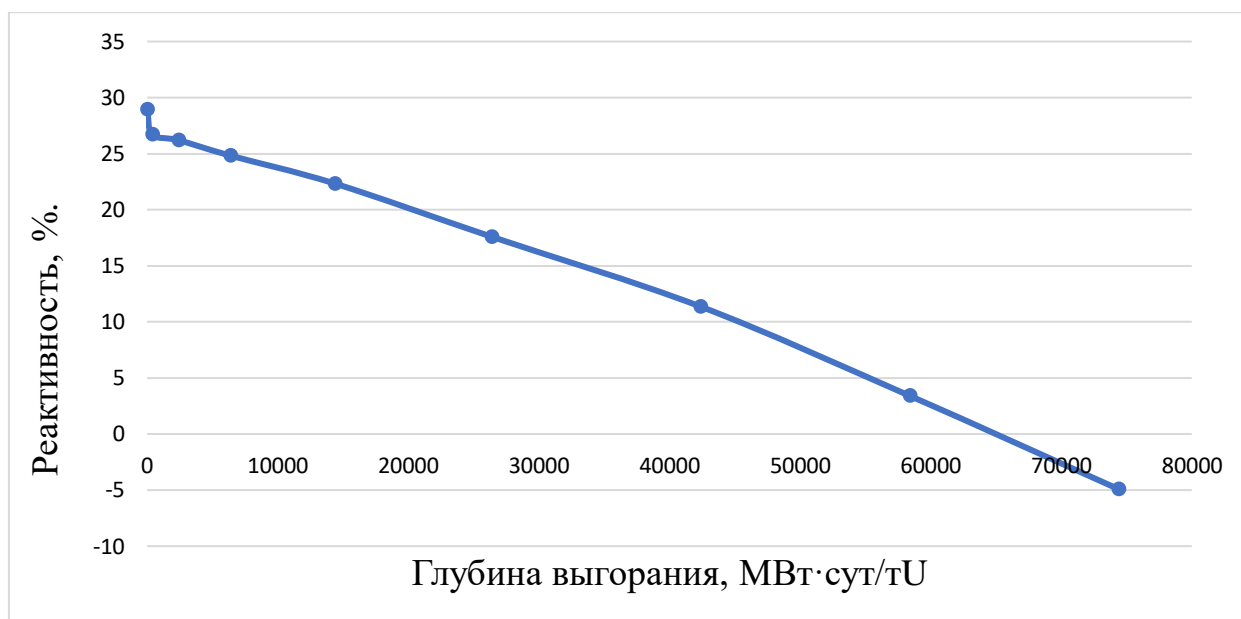


Рисунок 2.2 – Зависимость изменения реактивности от глубины выгорания для ВВЭР-1000

Таблица 2.3 – Изменение реактивности в ходе выгорания топлива для ВВЭР-1000

время работы в сутках	Глубина выгорания МВт*сут/т урана	$k_{эф}$	$\rho, \%$
0	0	1,42	29,65
10	400	1,39	27,36
60	2400	1,36	26,87
160	6400	1,34	25,71
360	14400	1,31	23,85
660	26400	1,25	20,21
1060	42400	1,17	14,54
1560	62400	1,05	5,26
1660	66400	0,91	-9,94

Из графика и полученных данных в таблице 2.3 видно, что для типичного реактора ВВЭР-1000 с обогащением топлива около 5% длительность кампании составит около 1600 дней и начальная реактивность составляет около 30%. При этом падение начальной реактивности в следствии отравления ксеноном составило около 2%.

Для реактора ВВЭР-СКД при таком же обогащении топлива 5%, данные представлены на рисунке 2.3 и в таблице 2.4. Из них видно, что обогащение недостаточно велико для полноценной работы реактора, так как начальная реактивность отрицательна, следовательно, следует повысить обогащение и найти такое обогащение, при котором ВВЭР-СКД превзойдет ВВЭР-1000.

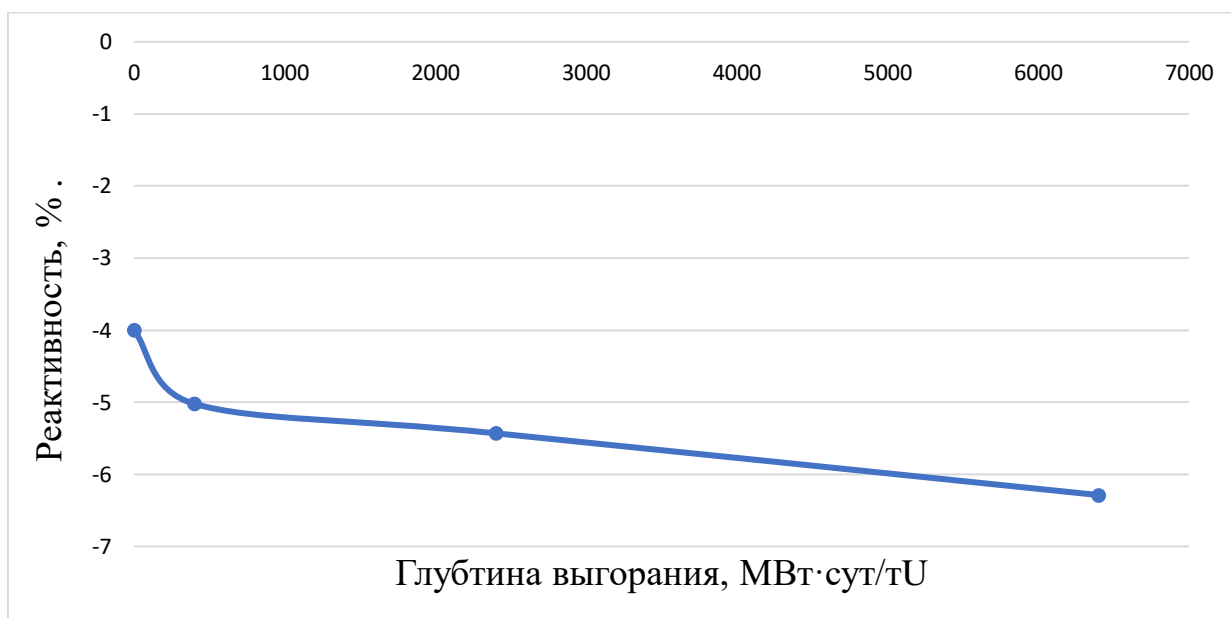


Рисунок 2.3 – Зависимость изменения реактивности от глубины выгорания для ВВЭР-СКД с 5% обогащением

Таблица 2.4 – Изменение реактивности в ходе выгорания топлива для ВВЭР-СКД с 5% обогащением.

время работы в сутках	Э Глубина выгорания МВт*сут/т урана	$k_{эф}$	$\rho, \%$
0	0	0,96	-3,90
10	400	0,95	-5,02
60	2400	0,94	-5,43
160	6400	0,94	-6,28

При обогащении в 7,7% начальная реактивность равна 8,7%, что меньше начальной реактивности ВВЭР-1000 на 71% и максимальная глубина выгорания 42400 МВт·сут/тU меньше максимальной глубины выгорания ВВЭР-1000 на 27%, данные значения все еще не эффективны по сравнению с ВВЭР-1000, следовательно, нужно повысить обогащение, график представлен на рисунке 2.4.

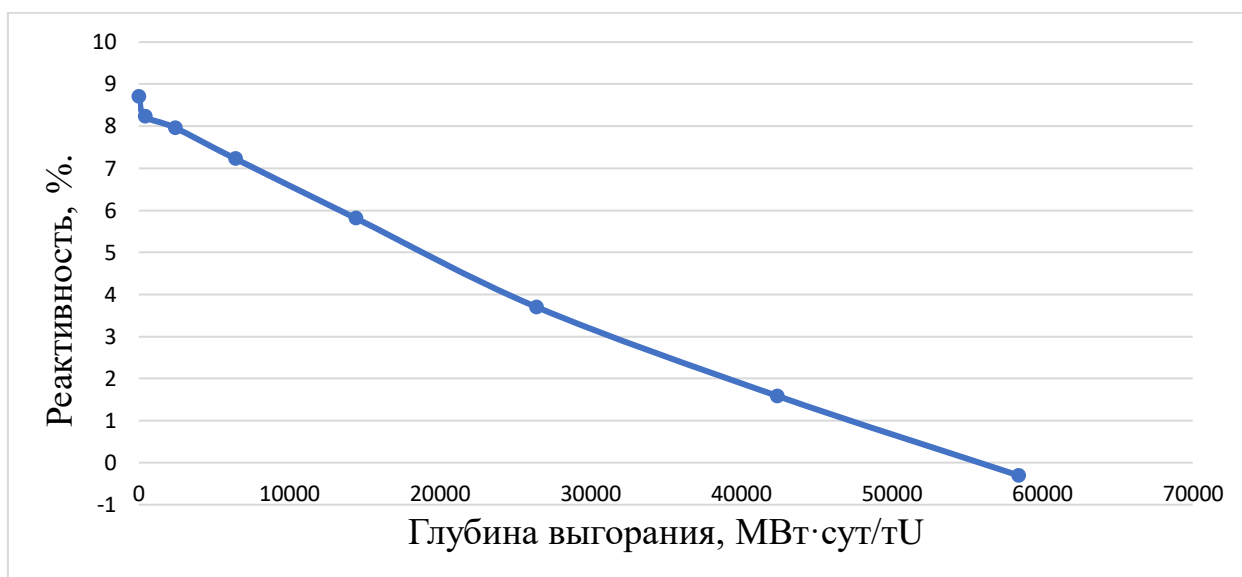


Рисунок 2.4 – Зависимость изменения реактивности от глубины выгорания для ВВЭР-СКД с 7,7% обогащением

При обогащении в 10% (рисунок 2.5) начальная реактивность равна 15.7%, что все еще не превышает начальную реактивность ВВЭР-1000 и меньше на 46%, при этом максимальная глубина выгорания увеличилась до 94400 МВт·сут/тU, что больше на 62% по сравнению с ВВЭР-1000. Увеличилось время достижения отрицательной реактивности до 2460 дней, что больше времени ВВЭР-1000 на 800 дней, продолжим увеличение обогащения топлива ВВЭР-СКД для увеличения начального запаса реактивности до значения ВВЭР-1000.

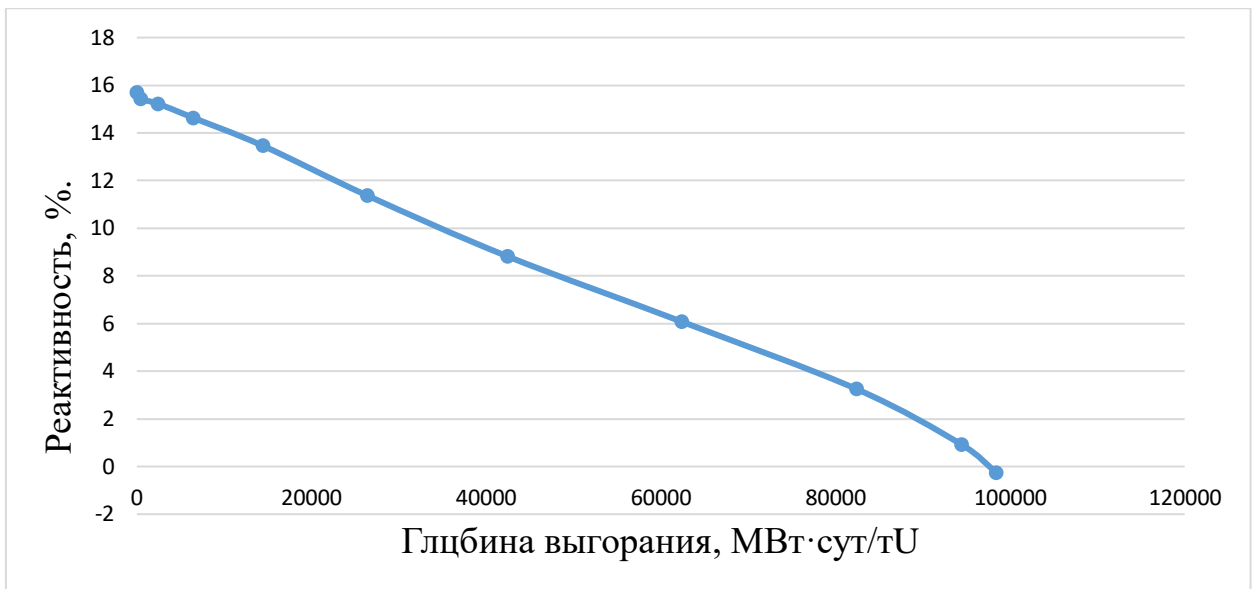


Рисунок 2.5 – Зависимость изменения реактивности от глубины выгорания для ВВЭР-СКД с 10% обогащением

При повышении обогащения топлива до 15% (рисунок 2.6) начальная реактивность равняется 23%, что практически приблизилось к значению ВВЭР-1000 29%. Максимальная глубина выгорания увеличилась по сравнению с ВВЭР-1000 на 191%, длительность топливной кампании составила 4660 дней, что больше, чем в ВВЭР-1000 на 3000 дней, данные представлены в таблице 2.5.

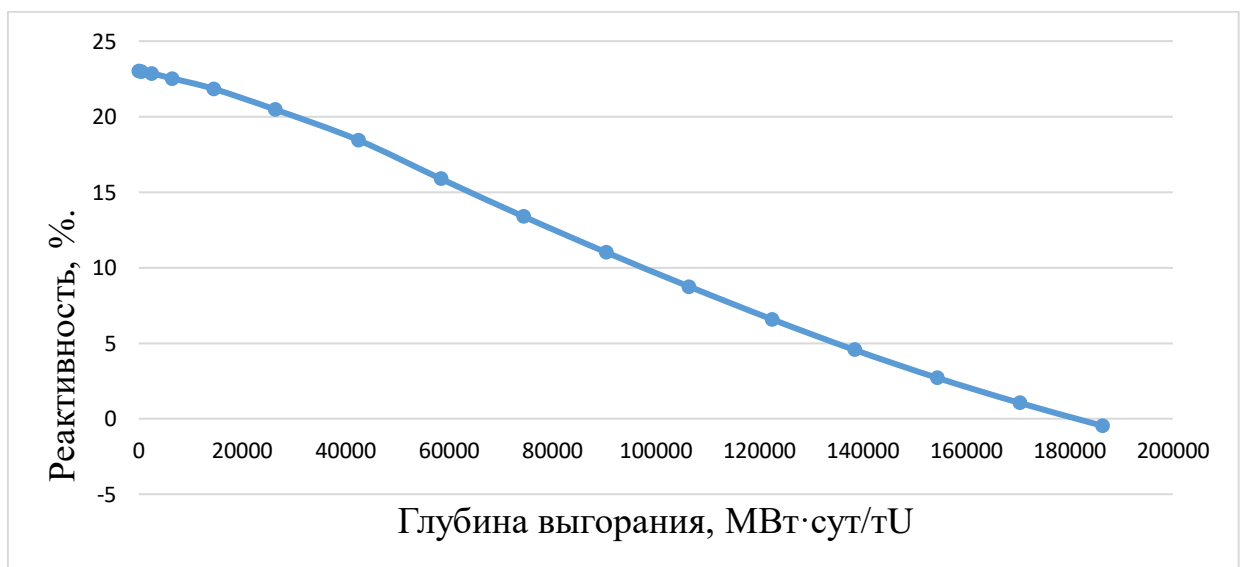


Рисунок 2.6 – Зависимость изменения реактивности от глубины выгорания для ВВЭР-СКД с 15% обогащением

Таблица 2.5 – Изменение реактивности в ходе выгорания топлива для ВВЭР-СКД с 15% обогащением.

время работы в сутках	Глубина выгорания МВт*сут/т урана	$k_{эф}$	$\rho, \%$
0	0	1,29	23,03
10	400	1,29	22,99
60	2400	1,29	22,87
160	6400	1,29	22,53
360	14400	1,27	21,84
660	26400	1,25	20,46
1060	42400	1,22	18,45
1460	58400	1,19	15,88
1860	74400	1,15	13,39
2260	90400	1,12	11,01
2660	106400	1,10	8,75
3060	122400	1,07	6,59
3460	138400	1,04	4,56
3860	154400	1,02	2,70
4260	170400	1,01	1,04
4660	186400	0,99	-0,46

Из рисунка 2.7 видно, что при обогащении в 20% начальная реактивность ВВЭР-СКД 29,8% равна начальной реактивности ВВЭР-1000 29,6%, при этом топливная кампания значительно увеличилась, по сравнению с ВВЭР-1000, что видно из таблицы 6 и равна 5860 дням. Так же максимальная глубина выгорания увеличилась в 4 раза и равна 234400 МВт·сут/тU.

Из расчётов видно, что оптимальным обогащением по делящемуся нуклиду U^{235} является 10%, так как при данном обогащении длительность кампании превышает длительность кампании ВВЭР-1000, при обогащении в 20% начальный запас реактивности становится равен начальному запасу реактивности ВВЭР-1000.

Таблица 2.6 – Изменение реактивности в ходе выгорания топлива для ВВЭР-СКД с 20% обогащением.

время работы в сутках	Глубина выгорания МВт*сут/т урана	$k_{эф}$	$\rho, \%$
0	0	1,42	29,80
10	400	1,42	29,78
60	2400	1,42	29,70
160	6400	1,41	29,46
360	14400	1,40	28,98
660	26400	1,38	27,98
1060	42400	1,35	26,42
1460	58400	1,32	24,26
1860	74400	1,28	22,00
2260	90400	1,24	19,64
2660	106400	1,21	17,21
3060	122400	1,17	14,76
3460	138400	1,14	12,28
3860	154400	1,10	9,81
4260	170400	1,07	7,38
4660	186400	1,05	5,04
5060	202400	1,02	2,84
5460	218400	1,00	0,80
5860	234400	0,98	-1,07

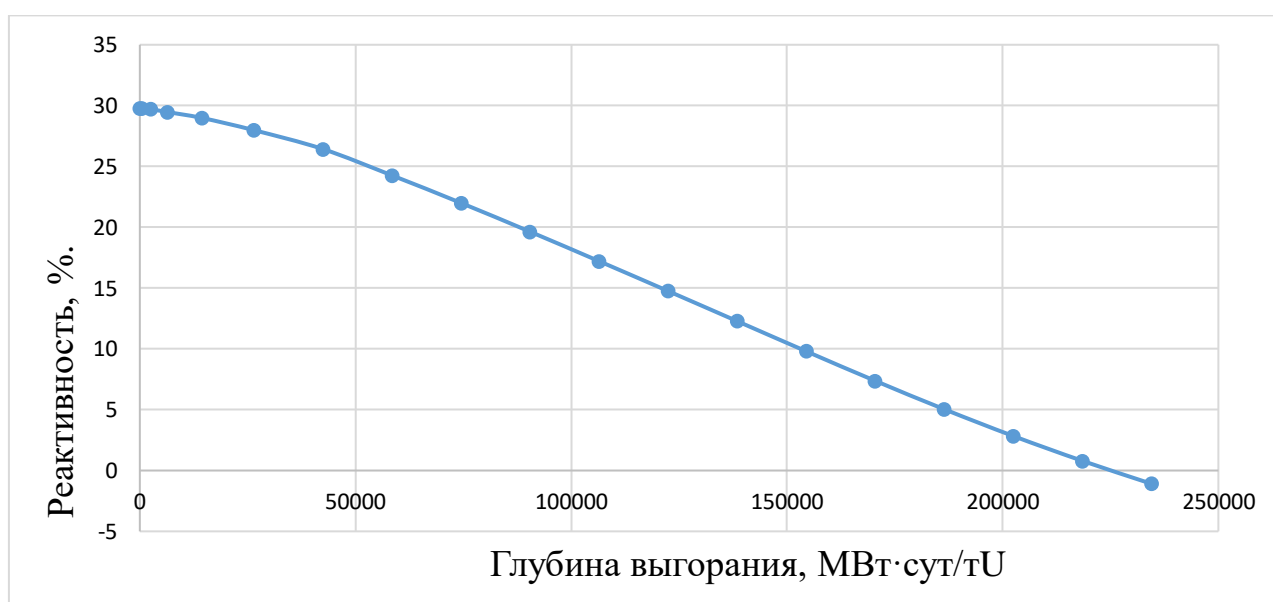


Рисунок 2.7 – Зависимость изменения реактивности от глубины выгорания для ВВЭР-СКД с 20% обогащением

Получены изменение концентрация основных нуклидов на рисунках 2.8 – 2.11

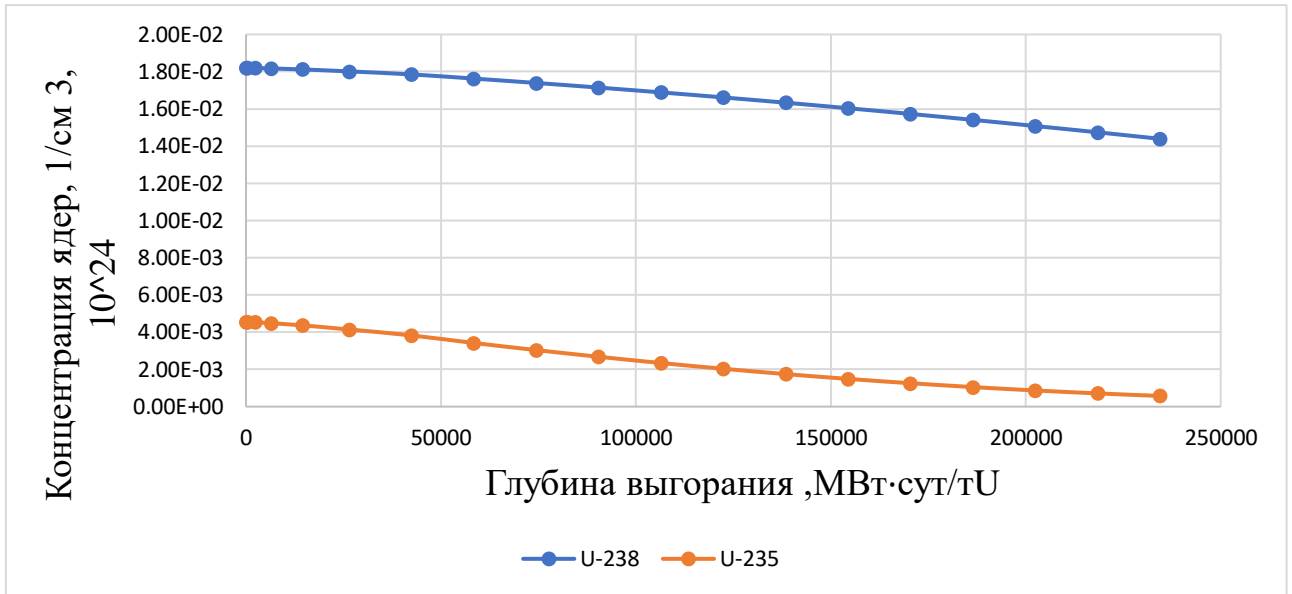


Рисунок 2.8 – Зависимость изменения ядерной концентрации от глубины выгорания для изотопов урана для реактора ВВЭР-СКД

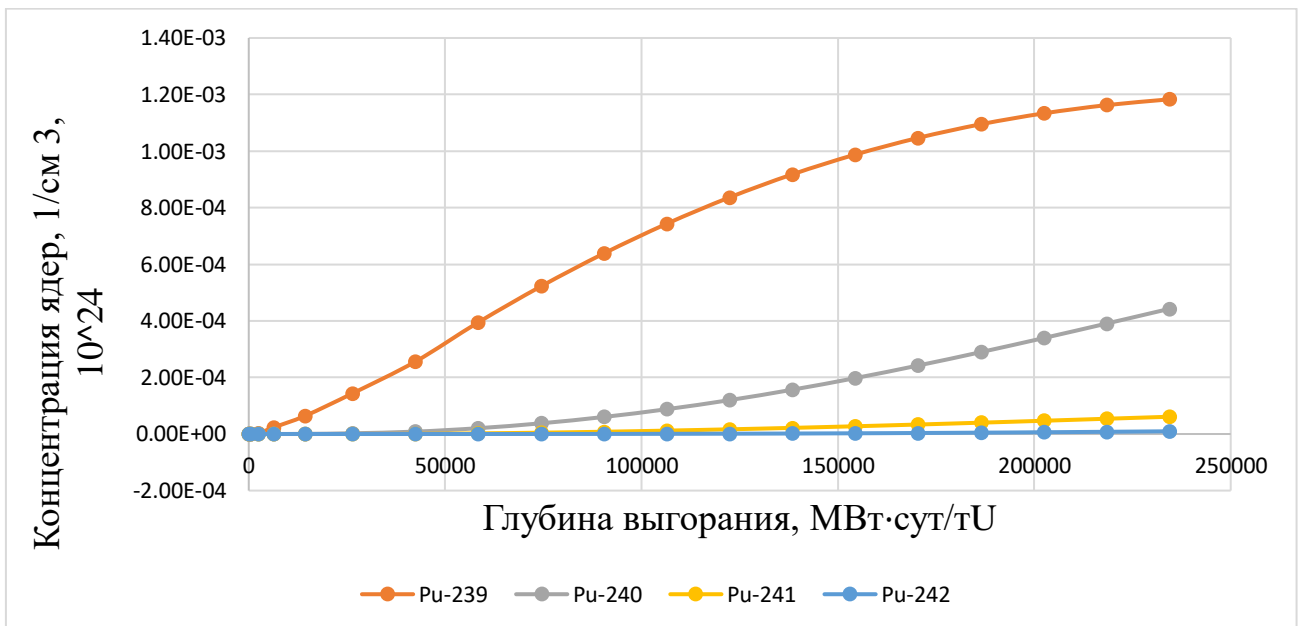


Рисунок 2.9 – Зависимость изменения ядерной концентрации от глубины выгорания для плутония и его изотопов для реактора ВВЭР-СКД

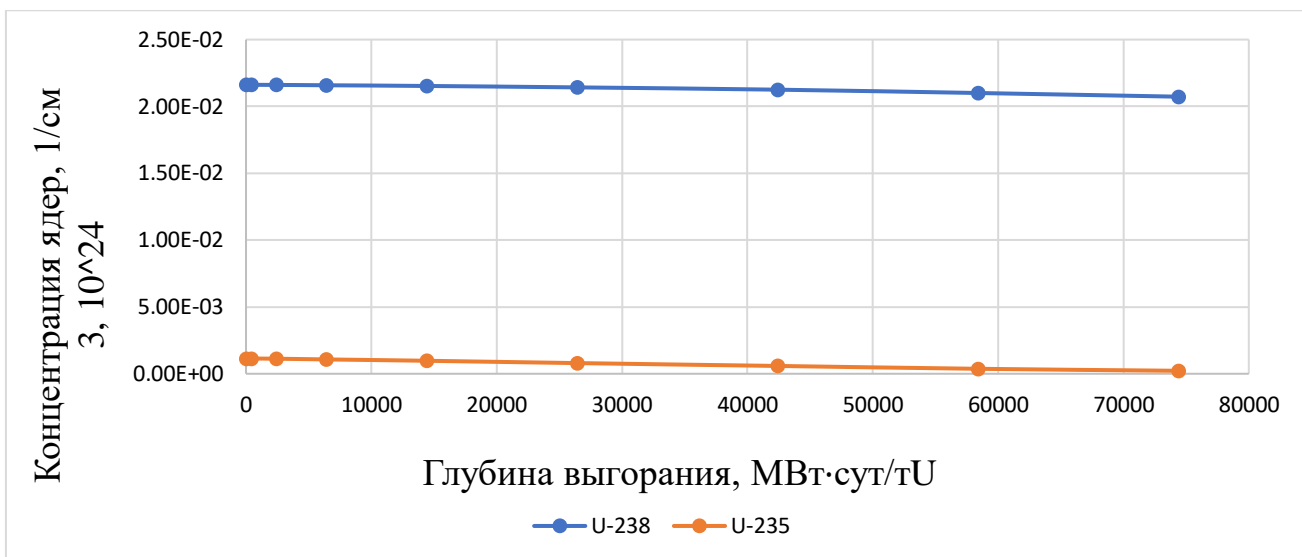


Рисунок 2.10 – Зависимость изменения ядерной концентрации от глубины выгорания для изотопов урана для реактора ВВЭР-1000

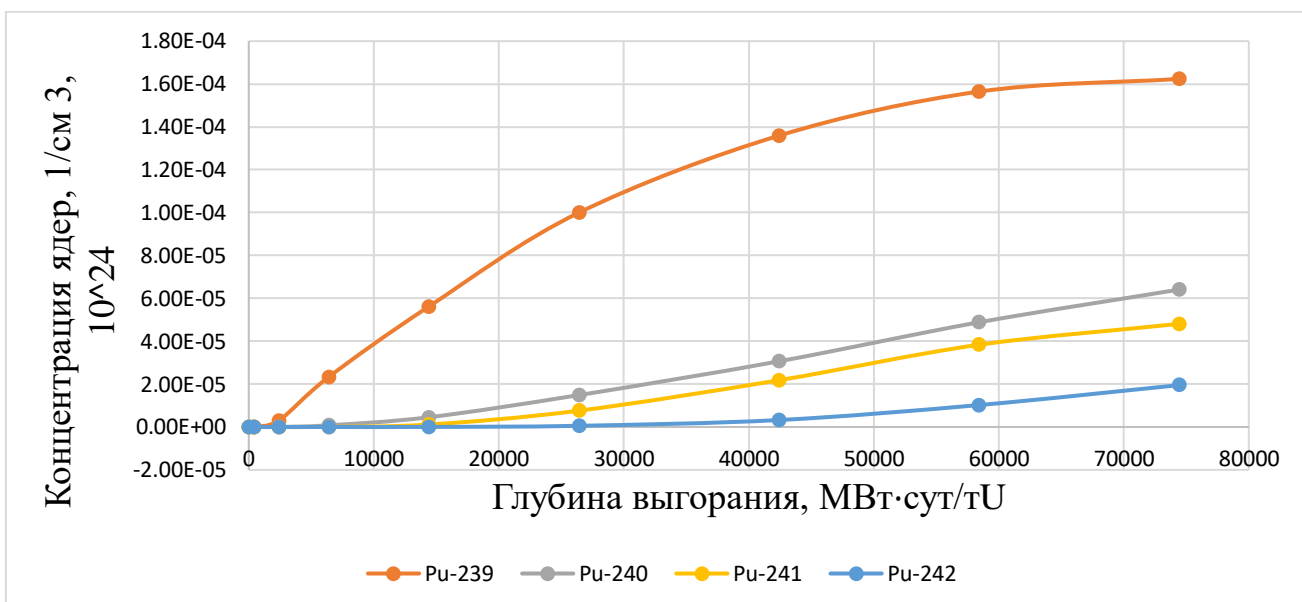


Рисунок 2.11 – Зависимость изменения ядерной концентрации от глубины выгорания для плутония и его изотопов для реактора ВВЭР-1000

На графиках видно, что концентрация U^{235} и U^{238} уменьшается линейно, при этом происходит наработка Pu^{239} . Проанализировав полученные графики концентраций для двух реакторов можно сделать вывод, при одинаковом временном промежутке работы, накопления плутония и его изотопов в ВВЭР-СКД происходило медленнее по сравнению с ВВЭР-1000.

2.2 Расчет в программе MCU

Программа MCU (Monte Carlo Universal) – это компьютерная программа, разработанная для нейтронно-физического расчета ядерных реакторов с использованием метода Монте-Карло. Она предназначена для моделирования и анализа поведения нейтронов в реакторах во время переходных процессов и аварийных ситуаций. Для задания геометрии используется набор тел и комбинаторный подход, что позволяет описывать геометрию рассматриваемых систем практически без приближений.

Используя основные характеристики реактора ВВЭР-СКД из таблицы 1, была построена модель активной зоны. Активная зона состоит из 241 тепловыделяющих элементов (ТВЭ) из них 128 относятся к центральной зоне (ЦЗ), 114 относятся к периферийной зоне (ПЗ). Каждая ТВЭ состоит из 252 тепловыделяющих элементов, из них 18 отводится под поглощающие стержни, 24 для твердого замедлителя. В качестве твердого замедлителя используется гидрид циркония. На рисунках 2.12-2.14 представлены соответствующие геометрические модели.

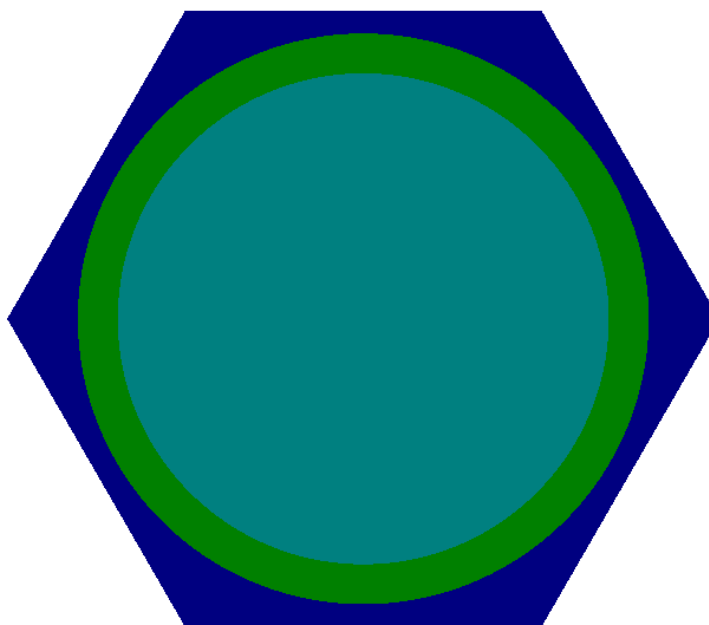


Рисунок 2.12 – Модель элементарной ячейки реактора ВВЭР-СКД

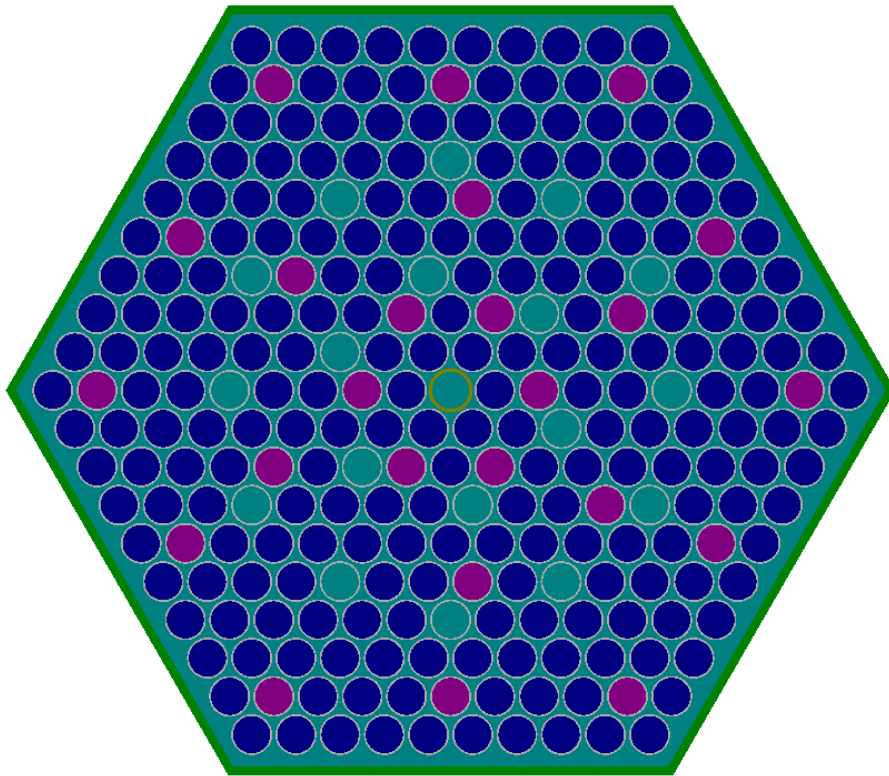


Рисунок 2.13 – Модель ТВС реактора ВВЭР-СКД

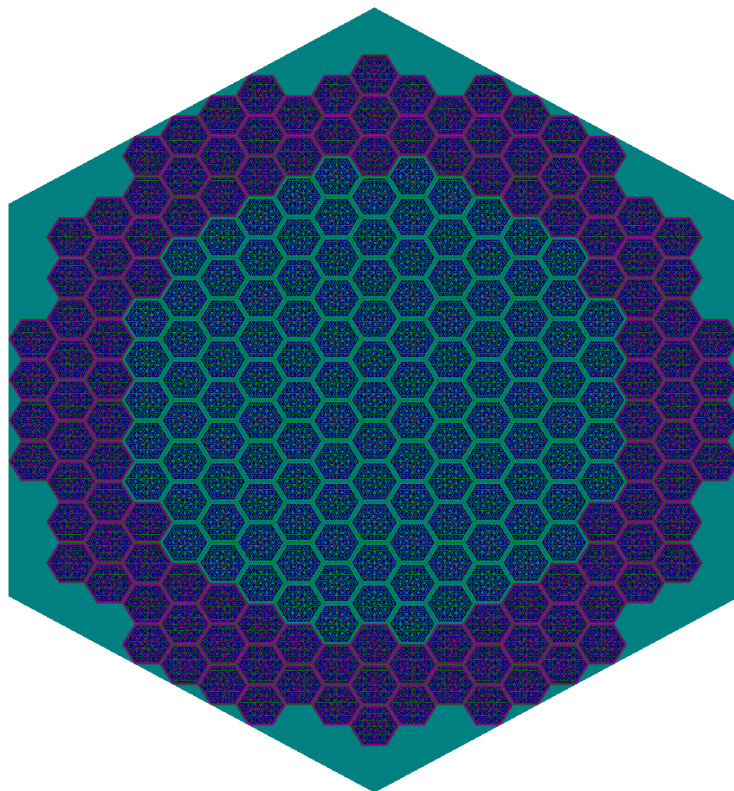


Рисунок 2.14 – Модель активной зоны ВВЭР-СКД

Чтобы учесть сильное изменение плотности теплоносителя по мере движения по активной зоне, центральная и периферийная зоны были поделены вертикально на 3 зоны с разными плотностями теплоносителя на рисунке 2.15 представлен продольный разрез активной зоны.

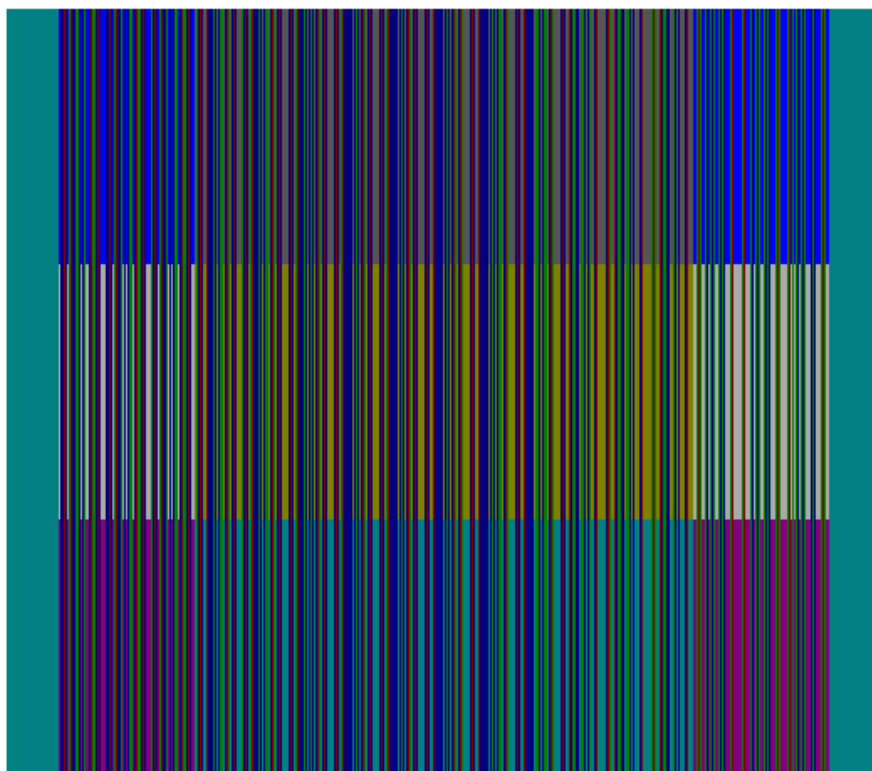


Рисунок 2.15 – Поперечный разрез активной зоны ВВЭР-СКД с теплоносителем разной плотности.

Проведем расчет реактора ВВЭР-СКД в «горячем» состоянии. Температура топлива, оболочки 1700 К, 750 К, температура теплоносителя меняется по мере прохождения его по активной зоне, изменение плотности и температуры теплоносителя представлены в таблице 2.7. Для расчетов будет использоваться 10% обогащения UO_2 по делящемуся изотопу U^{235} , так как это оптимальное обогащение, полученное на основе предыдущих расчетов.

Таблица 2.7 – Изменение теплогидравлических параметров в расчетной модели по высоте активной зоны

Расстояние от низа активной зоны, см	Плотность теплоносителя, г/см ³	Температура, °С		
		Теплоноситель	оболочка	топливо
Периферийная зона				
125	0,3	380	390	990
250	0,49	350	350	760
375	0,7	300	300	600
Центральная зона				
125	0,2	400	450	1000
250	0,13	425	540	1075
375	0,095	500	575	1080

Из расчетов получен спектр нейтронного потока. Так как в ТВС используется гидрид циркония, получим также и спектр нейтронного потока для ТВС без твердого замедлителя (рисунок 2.16).

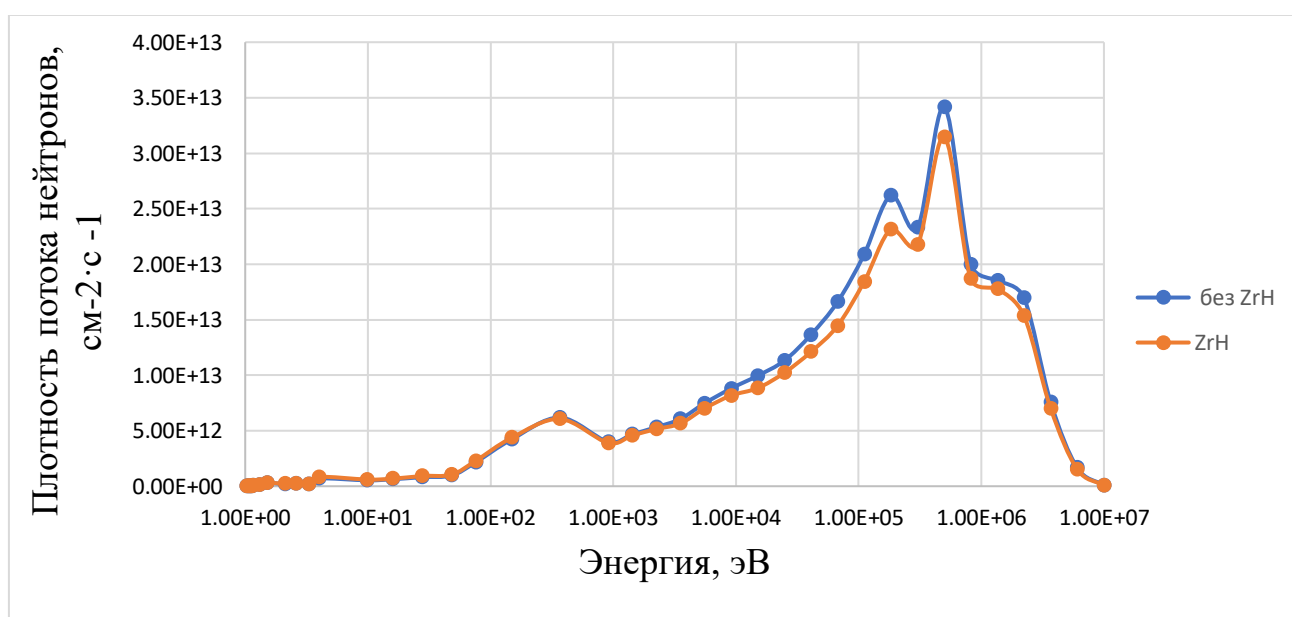


Рисунок 2.16 – Спектры плотности потоков нейтронов

Из графика, видно, что преобладает быстро-резонансная область, тепловая область минимально. При использовании гидрида циркония в качестве замедлителя жесткость спектра понижается, длительность топливной кампании увеличилась до 2403 суток по сравнению с 2003 сутками без использования твердого замедлителя.

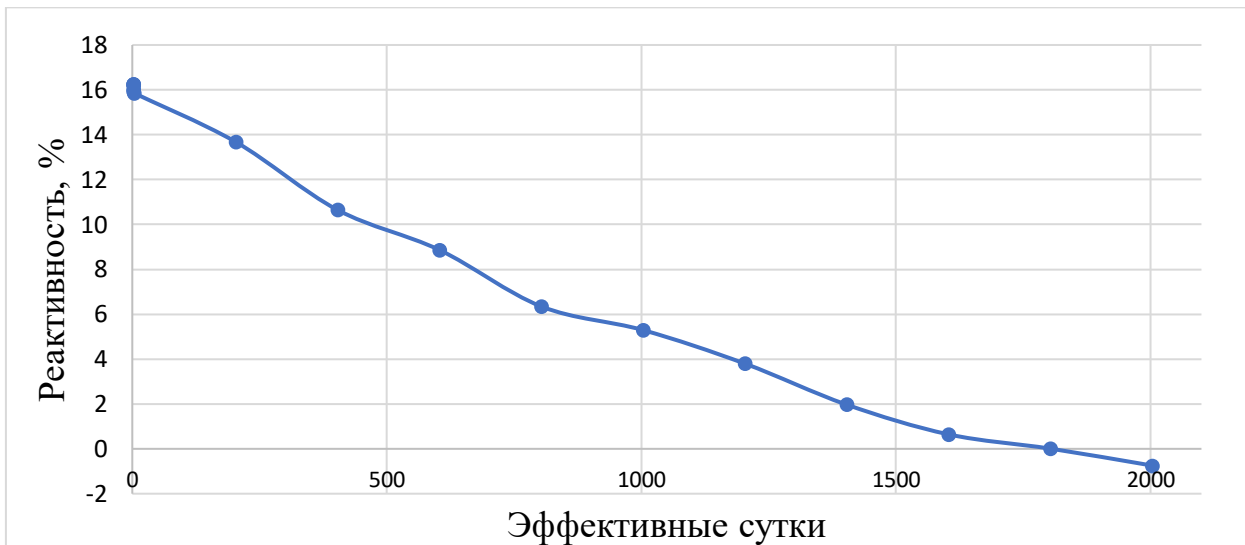


Рисунок 2.17 – Зависимость изменения реактивности от длительности топливной кампании

Из графика видно начальное значение запаса реактивности составило 16%. Длительность топливной кампании составила 2003 дня. Потери реактивности в следствии ксенонового отравления составили около 0,38%.

Получено изменение основных нуклидов на рисунках 2.18, 2.19.

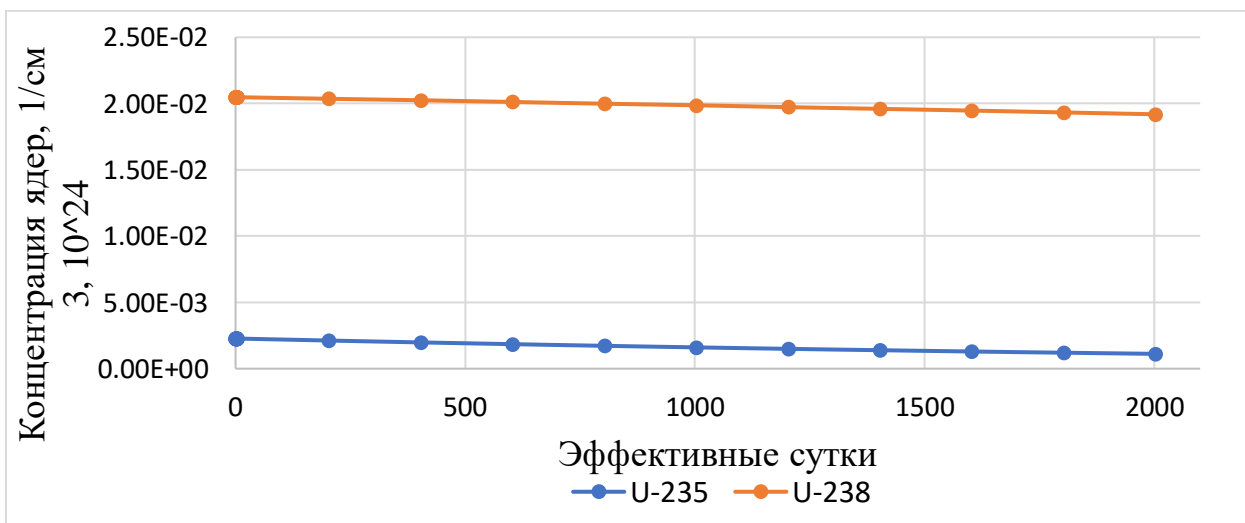


Рисунок 2.18 – Зависимость изменения ядерной концентрации от длительности топливной кампании для изотопов урана

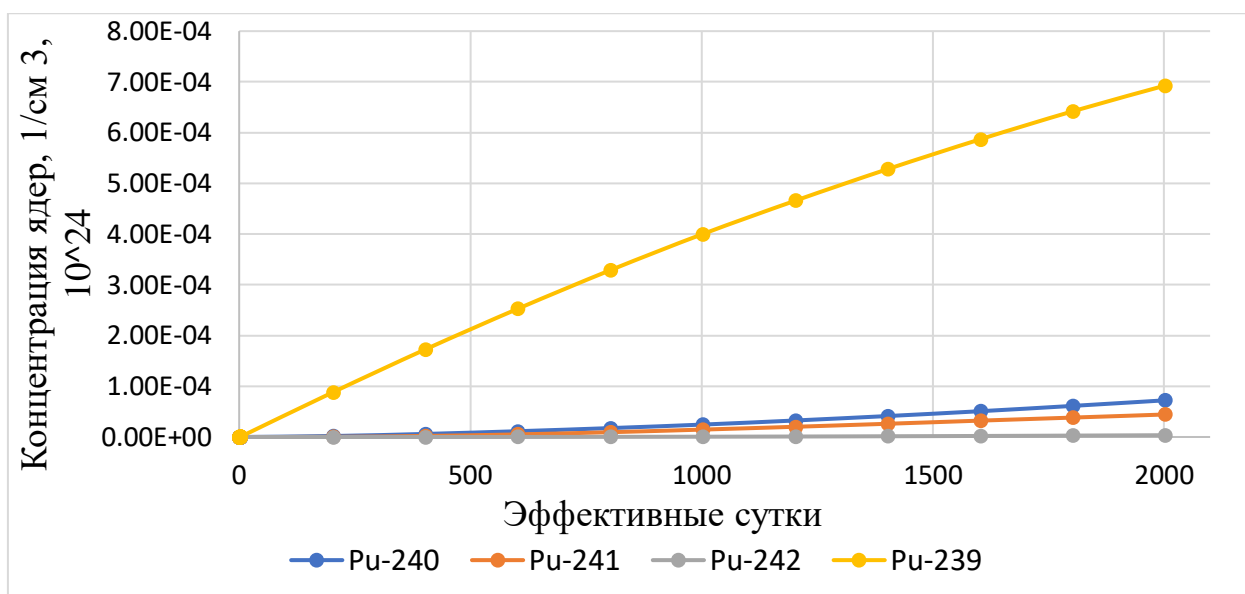


Рисунок 2.19 – Зависимость изменения ядерной концентрации от длительности топливной кампании для плутония и его изотопов

По полученным данным рассчитан коэффициент воспроизводства, который равен 0,78, что соответствует теоретическому значению 0,8.

2.3 Сравнение результатов

Сравнение необходимо для того, чтобы проверить адекватность расчетов, проведенных различными методами, ключевые данные по расчетам представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Данные по расчетам реактора различными методами

Параметр расчета	Расчет в MCU-PTR	Расчет в WIMS-D5
$k_{эф}$ «горячего» реактора»	1,21	1,18
Начальный запас реактивности, %	16	16
Длительности кампании, сут	2003	2060

Из таблицы видно, что существенных различий не наблюдается, следовательно, это свидетельствует об адекватности проведенных расчетов и построенных моделей. Также на рисунке 2.20 представлено сравнение спектров для двух программ.

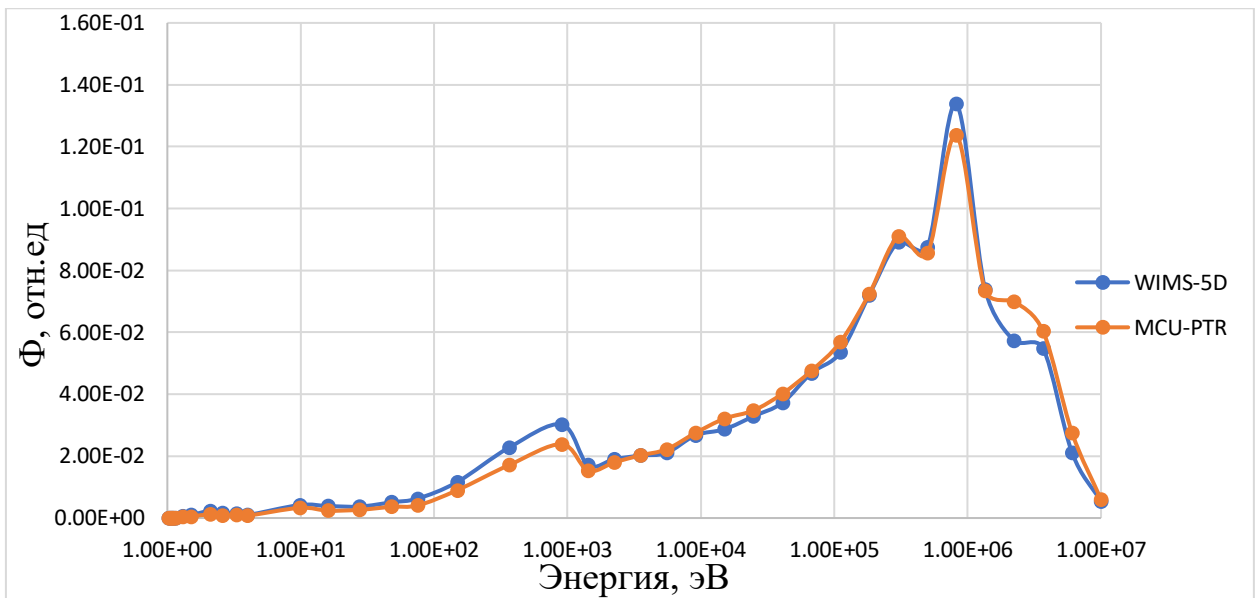


Рисунок 2.20 – Сравнение спектров в 69-групповом приближении

Из рисунка видно, что некоторые группы имеют небольшое расхождение, это вызвано тем, что программы используют различные методы расчетов.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабами работы и его ценностью, но и коммерческой ценностью исследования. Оценка коммерческой ценности исследовательской работы является необходимым условием при поиске финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A93	Игнатову Иосифу Александровичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта – не более 43458,75 руб. Материальные затраты НИР 907 руб. Зарботная плата исполнителей 24925,43 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 6955,32 руб. Накладные расходы 13682 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,35 баллов из 5
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30% Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Сравнение конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – Определение трудоемкости выполнения работ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Бюджет научно-технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы исполнителей темы; – отчисления на социальные нужды; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A93	Игнатов Иосиф Александрович		

3.1 Потенциальные потребители

В ходе выполнения данной работы была разработана расчетная модель элементарной ячейки и проанализирована длина топливной кампании с разным обогащением, разработана модель активной зоны (АЗ) и определены нейтронно-физические характеристики активной зоны реактора типа ВВЭР-СКД.

Результатом исследования стала оценка оптимального обогащения топлива для данного типа реакторов, на основе полученных результатов была создана расчетная модель АЗ, определена длина топливной кампании, получены значения начального запаса реактивности, глубины выгорания.

Целевым рынком данного исследования будут являться различные конструкторские бюро, работающие в сфере энергетики атомных станций, а также различные смежные научные учреждения.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результаты сегментирования представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка

		Реакторная установка со сверхкритическими параметрами теплоносителя	
		Атомная промышленность	Научно-исследовательские институты
Потребность	Сильная		
	Слабая		

По итогам составления карты сегментирования Российского рынка ядерных паропроизводящих установок видно, что интерес к реакторным

установкам ВВЭР-СКД преобладает в атомной промышленности, а также расчеты, полученные в ходе проведения различных работ востребованы в научно-исследовательской сфере.

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для конкурентных технических решений и проведения анализа конкурентоспособности используется оценочная карта, приведенная в таблице 1. Каждый реактор оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. В данной карте сравнивается один из проектов реакторов с теплоносителем при сверхкритических параметрах ВВЭР-СКД, и существующие рабочие проекты ВВЭР-1000 и БН-800. Где B_C – ВВЭР-СКД, B_B – ВВЭР-1000, $B_{\text{Б}}$ – БН-800.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентноспособность		
		Б _С	Б _В	Б _Б	К _С	К _В	К _Б
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,04	5	4	3	0,2	0,16	0,12
2. Энергоэкономичность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Надежность	0,18	4	4	4	0,72	0,72	0,72
4. Размеры ЯЭУ	0,01	5	4	4	0,05	0,04	0,04
5. Безопасность	0,25	5	4	5	1,25	1	1,25
6. Расход воды	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	5	3	3	0,2	0,12	0,12
2. Стоимость теплоносителя	0,04	5	5	3	0,2	0,2	0,12
3. Уровень проникновения на рынок	0,01	5	4	1	0,05	0,04	0,01
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
5. Длительность топливного цикла	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Итого	1	53	43	40	4,74	3,85	4,18

Анализ оценочной карты сравнения конкурентных технических решений позволяет сделать вывод о том, что реакторы проекта типа ВВЭР-СКД являются одними из оптимальных ядерных реакторов для производства электроэнергии и в большинстве оцененных параметров превосходит своих конкурентов.

Основным конкурентом является реакторная установка ВВЭР-1000, так как данная установка является самой распространенной в своей серии для выработки электроэнергии.

Реакторы по типу БН-800 имеют возможность наработки ядерного топлива, обладают малым запасом реактивности и отсутствием замедлителя, но данный тип реакторов очень мало распространен на рынке, имеет меньшую мощность по сравнению с ВВЭР-СКД, требует больших материальных затрат.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT (Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы)) – анализ научного исследования, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Сильные и слабые стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа, то есть тем, на что сам объект способен повлиять. Возможности и угрозы являются факторами внешней среды, то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом. В таблице 3.3 представлен SWOT-анализ исследовательского проекта.

Таблица 3.3 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Возможности
С1. Новаторство проекта С2. Быстрый и гибкий нейтронно-физический расчет реактора С3. Ускоренное нахождение эффективных методов оптимизации активной зоны реактора	В1. Запрос на публикацию статьи в научно-технических журналах В2. Запрос на применение результатов исследовательской работы в целях улучшения работы реактора ВВЭР В3. Большое количество тематических научных конференций
Слабые стороны	Угрозы
Сл1. Необходимость в сравнительно больших вычислительных мощностях Сл2. Необходимость использования нескольких программ для реализации проекта Сл3. Необходимость в навыках работы с программным кодом	У1. Потеря интереса к ядерной энергетике, переход на другие источники энергии У2. Вывод из эксплуатации ВВЭР-1000, переход на другой тип ядерных реакторов У3. Сокращение финансирования ядерных реакторов со стороны государства

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица SWOT

		C1	C2	C3	СЛ1	СЛ2	СЛ3
Возможности	B1	+	+	-	-	-	-
	B2	+	+	+	-	+	-
	B3	+	-	+	+	-	-

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица SWOT

		C1	C2	C3	СЛ1	СЛ2	СЛ3
Угрозы	У1	+	+	-	0	-	-
	У2	0	+	0	-	-	0
	У3	+	-	0	+	-	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. Новаторство проекта</p> <p>С2. Быстрый и гибкий нейтронно-физический расчет реактора</p> <p>С3. Ускоренное нахождение эффективных методов оптимизации активной зоны реактора</p>	<p>Сл1. Необходимость в сравнительно больших вычислительных мощностях</p> <p>Сл2. Необходимость использования нескольких программ для реализации проекта</p> <p>Сл3. Необходимость в навыках работы с программным кодом и понимании методов построения нейросети</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Запрос на публикацию статьи в научно-технических журналах</p> <p>В2. Запрос на применение результатов исследовательской работы в целях улучшения работы реактора ВВЭР</p> <p>В3. Большое количество тематических научных конференций</p>	<p>Проект имеет достаточно небольшое количество сильных сторон, однако их количество способствует хорошему развитию данной работы и проблемы реакторов с теплоносителем при сверхкритических параметрах.</p>	<p>Наиболее существенной слабой стороной научной работы является невысокий объем проводимых расчётных и исследовательских работа по теме: реакторы с теплоносителем при сверхкритических параметрах.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Потеря интереса к ядерной энергетике, переход на другие источники энергии</p> <p>У2. Вывод из эксплуатации ВВЭР-1000, переход на другой тип ядерных реакторов</p> <p>У3. Сокращение финансирования ядерных реакторов со стороны государства</p>	<p>Наступление большинства угроз может способствовать плохая экономическая обстановка в стране, что вызовет потерю интереса финансирования новых расчетных проектов в атомной энергетике.</p>	<p>К критическому состоянию научной работы может привести отказ от ядерной энергетики и переход на альтернативные источники.</p>

Из итоговой матрицы SWOT, можно сделать вывод, что данный проект имеет хороший успех для развития, так как к данному проекту есть интерес со

стороны научного и промышленного комплексов. Однако он очень сильно завязан на политическом интересе страны развивать атомную отрасль, и от ее экономического положения.

3.2 Планирование научно-исследовательской работы

3.2.1 Структура работы в рамках научного исследования

Планирование предполагаемых работ происходит в данном порядке:

- определение структуры работы;
- определение участников каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения исследования.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Предполагаемый порядок составления этапов проведения исследовательской работы и распределение исполнителей показаны в таблице 3.7. Бакалавром является студент, выполняющий данную исследовательскую работу, руководителем является научный руководитель, выдающий задание и следящий за правильностью выполнения работ.

Таблица 3.7 – Порядок проведения исследовательской работы

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение научного задания	Бакалавр Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Продолжение таблицы 3.7

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Выбор метода расчета и создание расчетной модели	Бакалавр
	6	Проведение расчетов	Бакалавр
Оценка результатов и оформление отчета	7	Анализ полученных результатов	Бакалавр Руководитель
	8	Разработка чертежа	Бакалавр
Оценка результатов и оформление отчета	9	Составление пояснительной записки к НИР	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к НИР по ГОСТу	Бакалавр

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;
 $t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; $t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни.

Продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

Временные показатели проведения научного исследования представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Временные показатели осуществления комплекса работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни			
	Бак.	Рук.	Бак.	Рук.	Бак.	Рук.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение научного задания	1	1	2	2	1,4	1,4	1,4	2
2. Выбор направления исследований	2	0	4	0	2,8	0	2,8	4
3. Подбор и изучение материалов по теме	8	0	12	0	9,6	0	9,6	15
4. Календарное планирование работ по теме	0	1	0	2	0	1,4	1,4	2

Продолжение таблицы 3.8

5. Выбор метода расчета и создание расчетной модели	9	0	17	0	12,2	0	12,2	19
6. Проведение расчетов	3	0	5	0	3,8	0	3,8	6
7. Анализ полученных результатов	3	3	5	5	3,8	3,8	3,8	6
8. Разработка чертежа	7	0	11	0	8,6	0	8,6	13
9. Составление пояснительной записки к НИР	9	0	17	0	12,2	0	12,2	19
10. Оформление пояснительной записки к НИР по ГОСТу	4	0	7	0	5,2	0	5,2	8
Итого:	46	5	80	9	59,6	6,6	61	94

На основе таблицы 9 составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исп.	T_{ki} , кал. дн	Продолжительность работ												
				февраль			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение научного задания	1 2	2	■												
2	Выбор направления исследований	2	4	■												
3	Подбор и изучение материалов по теме	2	15	■	■	■										
4	Календарное планирование работ по теме	1	2			■										
5	Выбор метода расчета и создание расчетной модели	2	19			■	■	■								
6	Проведение расчетов	2	6					■								
7	. Анализ полученных результатов	1 2	6						■	■						
8	Разработка чертежа	2	13						■	■	■					
9	Составление пояснительной записки к НИР	2	19								■	■	■			
10	Оформление пояснительной записки к НИР по ГОСТу	2	8											■		

Примечание:

■ – руководитель (Исп.1)

■ – Бакалавр (Исп.2)

3.3 Бюджет научно-технического исследования

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.

3.3.1 Расчёт материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты включают в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

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

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

$N_{расxi}$ – 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.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага	шт.	250	3,16	790
Карандаш	шт.	1	25	25
Ластик	шт.	1	12	12
Ручка	шт.	1	80	80
Итого, рублей				907

3.3.2 Основная заработная плата исполнителей

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.

Статья включает основную заработную плату работника, непосредственно занятого выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{зн} = Z_{осн} \cdot T_p,$$

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

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

$Z_{осн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

б) 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 11).

Таблица 3.11 – Баланс рабочего времени

Показатель рабочего времени	Руководитель	бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	67	67
Потери рабочего времени (отпуск и невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Бакалавр во время обучения ежемесячно получает стипендию в размере 3500 рублей (без учета районного коэффициента).

Месячный должностной оклад руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p,$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от Z_{mc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Оклад руководителя зависит от занимаемой им должности в университете. В данном случае руководитель является доцентом, для доцентов ставка научной работы составляет 175 рублей за каждый час участия в исследовании студента, всего у него выделено 24 часа. Соответственно:

$$Z_{осн} = 175 \cdot 24 \cdot 1,3 = 5460 \text{ руб.}$$

Зарплата для бакалавра рассчитывается следующим образом:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot k_p = 3500 \cdot 1,3 = 4550 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{4550 \cdot 10,4}{251} = 188,52 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 188,52 \cdot 94 = 17721,43 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов заработной платы руководителя и бакалавра представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	k_p	T_p , дни	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	5460	-	10	5460
Бакалавр	3500	1,3	94	17724,43
Итого, руб.				23184,43

3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

В данном разделе 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. Общая ставка взносов составляет – 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная ЗП, руб.
Руководитель	5460,00
Бакалавр	17724,43
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3
Итого	6955,32

3.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии.

Основные работы проводились за персональным компьютером в комнате жилого дома. Время, проведенное работой у компьютера, прием равным 720 часам. Мощность компьютера: 3 кВт. Компьютер подключен к сети интернет, доступ к которой стоит каждый месяц 950 рублей, и полная стоимость за 4месяца получается 3800 рублей.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 4,39 \cdot 3 \cdot 720 = 9482$$

где $C_{эл}$ – тариф на свет для населения, проживающего в Томске и других городских населенных пунктах Томской области в домах, оборудованных электрическими плитами и (или) электро-отоплением (односоставочный тариф на электроэнергию – 4,39 рублей за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 9482 рублей

В данную работу включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по заданной теме.

Необходимые накладные расходы представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Накладные расходы

Наименование	Затраты,руб.
1. Электроэнергия	9482
2. Печать на листах А4	400
3. Оплата интернет трафика	3800
Итого	13682

3.3.5 Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет бюджета затрат на проект

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	907
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	23184,43
3. Отчисления во внебюджетные фонды	6955,32
4. Накладные расходы	13682
Бюджет затрат проекта	44728,75

Таким образом, по итогу расчета бюджета затрат на осуществление исследовательского проекта можно сказать, что для этого необходимы затраты денежных средств в размере 43458,75рублей.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

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

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

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

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

Для сравнения был выбран аналогичный проект с использованием программного обеспечения (ПО) MCU-FR, для которого длительность выполнения проекта остается той же, так как данное программное обеспечение довольно долго выполняет все заданные вычисления, но при этом данное ПО предназначено для расчетов реакторов с быстрым спектром нейтронов, что существенно повысит точность расчетов. Однако вырастает общая стоимость проекта, так как данное программное обеспечение стоит 10000000 руб. Следовательно стоимость проекта с использованием программного обеспечения MCU -FR составляет: 10000000 руб.

Тогда интегральный финансовый показатель для двух разработок определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{43458,75}{1000000} = 0,043;$$
$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{1000000}{1000000} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности стоит производить в форме таблицы 3.16.

Таблица 3.16 – Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии /объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналогичный проект
Производительность	0,3	4	5
Удобство в эксплуатации	0,25	4	5
Помехоустойчивость	0,1	4	5
Надежность	0,2	4	5
Материалоемкость	0,15	5	5
Итого	1	21	25

$$I_{p1} = 4,35;$$

$$I_{p2} = 5.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}}.$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,35}{0,043} = 101,16;$$

$$I_{исп.2} = \frac{5}{1,1} = 5.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исн1}}{I_{исн2}},$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{101,16}{5} = 20,23;$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{5}{101,16} = 0,049;$$

Эффективность разработки представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Эффективность разработки

Показатели	Исполнение 1	Исполнение 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,043	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	5
Интегральный показатель эффективности	101,16	5
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	20,23	0,049

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более дешевый вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. В итоге, можно сделать вывод, что полученные результаты являются наиболее эффективны.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А93	Игнатову Иосифу Александровичу

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства и меры защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, меры предотвращения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Игнатов Иосиф Александрович		

4 Социальная ответственность

В настоящее время одним из основных направлений профилактической работы по снижению травмоопасности производства является внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть объединения всех связанных мероприятий в единую систему на всех стадиях производственного процесса.

В настоящей работе проведен нейтронно-физический расчет реакторной установки со сверхкритическими параметрами теплоносителя с использованием топлива UO_2 с различным обогащением по делящемуся изотопу U^{235} , для выявления оптимального обогащения. Расчет проводился с использованием программного комплекса MSU на персональном компьютере в 248 аудитории 10 корпуса ТПУ.

В данном разделе рассматриваются следующие опасные и вредные факторы:

- отклонение показателей микроклимата;
- повышенный уровень шума;
- недостаток освещения рабочей зоны;
- электробезопасность;
- взрывопожароопасность;
- радиационная безопасность.

4.1 Компоновка исследовательской рабочей зоны

Рабочая зона исследователя состоит из стула, рабочего стола и размещенного на столе персонального компьютера (ПК). Работа с ПК должна осуществляться в помещении площадью не менее 6 м². Размеры рабочей поверхности стола должны соответствовать следующим параметрам: ширина не менее 1200 мм, глубина не менее 600 мм. Высота стола должна быть не

менее 600 мм и позволять размещать ноги оператора, ширина основания должна быть не менее 500 мм.

Рабочее кресло (стул) должны обеспечивать поддержание оптимальной рабочей позы оператора с целью предотвращения развития усталости и снижения статического напряжения мышц. Кресло должно подбираться под рост оператора, иметь возможность регулирования высоты, угла наклона и поворота сидения и спинки, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой от остальных и легкой в проведении [13].

4.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В ГОСТ 12.0.003-2015 приведены потенциальные вредные и опасные факторы, которые могут иметь место при проведении запланированных работ и эксплуатации рабочего места [14].

В таблице 4.1 приведен перечень потенциальных опасных и вредных факторов, характерных для рассматриваемой производственной среды – исследовательской рабочей зоны.

Таблица 4.1 – Потенциальные опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [15].
2. Повышенный шум	
3. Недостаток освещенности рабочей зоны	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [16].
4. Воздействие электрического тока	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [17].

Продолжение таблицы 4.1

5. Врывопожароопасность	ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [18].
6. Радиационная безопасность	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности [21].

4.3 Освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение рабочей зоны ухудшает работоспособность и вызывает усталость человека.

Свет - важный фактор, влияющий на работоспособность человека. Он может быть как естественным (солнце), так и искусственным (электрические лампы). Однако, длительная работа в условиях недостаточной освещенности и других параметров световой среды может привести к снижению зрительного восприятия, развитию близорукости и головной боли. Поэтому, одной из главных задач светотехнических расчетов является определение необходимой мощности электрической освещенности.

Для рассматриваемого типа работ допускается применение системы общего равномерного освещения.

Общее освещение – освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения. В зависимости от расположения светильников различают равномерное и локализованное освещение. При равномерном освещении светильники располагаются в верхней зоне помещения равномерно, обеспечивая одинаковую освещенность помещения.

Основной поток естественного света должен быть слева. Солнечные лучи и блики не должны попадать в поле зрения оператора и на мониторы. Экран монитора должен располагаться в зоне защитного узла светильника, и его проекция должна быть вне экрана монитора.

Согласно справочной литературе, освещенность в кабинете высшего учебного учреждения 300 лк [16]. Необходимое количество светильников N определяется с помощью выражения:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K}{U \cdot n \cdot \Phi_l},$$

где E – требуемая освещенность;

S – площадь кабинета, 50 м²;

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации равный 1,4;

U – коэффициент использования равный 0,49;

n – количество ламп в светильнике, $n = 4$;

Φ_l – световой поток одной лампы равный 1050 Лм.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K}{U \cdot n \cdot \Phi_l} = \frac{300 \cdot 50 \cdot 1,4}{0,49 \cdot 4 \cdot 1050} = 10,2 \text{ шт.}$$

Во избежание недостаточного освещения рабочего пространства расчетное количество светильников округляется до целого в большую сторону. Таким образом, необходимое количество светильников в кабинете 248 10-го корпуса равняется 11-ти штукам, что соответствует фактическим значениям.

4.4 Превышение уровня шума

На уровень шума влияет работа механических и электромеханических устройств – части электрооборудования, системы кондиционирования, вентиляторы охлаждения ПК. Максимальный уровень звука при постоянном шуме составляет 30 дБ, при непостоянном –75 дБ [15]. Постоянный шум негативно влияет на работоспособность и нервную систему человека.

Основным источником шума для аудитории 248 является шум вентиляторов охлаждения ПК. Для используемых ПК уровень шума,

создаваемого вентилятором, согласно описанию системы, не превышает 20 дБ. При условии, что шум вентилятора зависит от задействованной вычислительной мощности ПК, его можно считать непостоянным источником шума,

В качестве профилактических мероприятий предлагается своевременная очистка и смазывание движущихся деталей охлаждающих систем ПК. В целом уровень шума в помещении аудитории 248 не превышает установленный предел, дополнительная шумоизоляция оборудования не требуется.

4.5 Микроклимат

Микроклимат рабочей среды – состояние внутренней среды рабочего помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха, влажностью и подвижностью воздуха.

Таблица 4.2 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне [15]

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20÷25	15÷75	0,1
Тёплый	21÷28	15÷75	0,2

Переносимость человеком температуры зависит от влажности и скорости окружающего воздуха. При большой влажности перегрев наступает быстрее вследствие малого испарения пота с поверхности кожи. При недостаточной влажности испарение проходит интенсивнее, что приводит к пересыханию и растрескиванию кожи и слизистых оболочек.

В компьютерных помещениях должна проводиться ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне

применяют устройства систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления [19].

В кабинете необходима кратность воздухообмена $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека. Кабинет, в котором выполнялась работа рассчитан на 6 рабочих места, таким образом производительность вентиляции составит:

$$L = k \cdot Q = 6 \cdot 40 = 240 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

где k – количество человек;

Q – кратность воздухообмена на одного человека.

Такую производительность обеспечивает вентилятор типа Event BK125 с максимальной производительностью $240 \text{ м}^3/\text{ч}$ и мощностью 18 Вт [20].

В аудитории 248 соблюдаются требуемые нормы микроклимата.

4.6 Электробезопасность

Электробезопасность зависит от условий помещения, в котором проводятся работы. В условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха превышает 75 %), высокой температуры (более $35 \text{ }^\circ\text{C}$) или наличия токопроводящих поверхностей или материалов не следует работать с электронно-вычислительной техникой [17].

Аудитория 248 удовлетворяет условиям безопасности по уровню влажности и температуре в помещении. Аудитория относится к 1-ому классу электробезопасности, в помещении не располагаются электроустановки с напряжением выше 1000 В [17]. Работа осуществляется посредством взаимодействия человека с ПК и периферийными устройствами. В таком случае опасность поражения электрическим током возможно в следующих случаях:

– при прикосновении к токоведущим частям при проведении ремонта ЭВМ;

- при прикосновении к токоведущим частям при нарушении изоляции токоведущих частей ЭВМ;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоке питания и блоке дисплейной развёртки;
- при прикосновении к поверхностям (стены, пол), оказавшимся под напряжением;

Для обеспечения электробезопасности могут быть приняты следующие меры:

- отключение напряжения с токоведущих частей устройств, вблизи которых будет проводиться работа, если работа не связана с использованием самих устройств;
- заземление корпусов устройств через нулевой провод;
- покрытие проводящих поверхностей изоляцией;
- физическое ограничение токоведущих частей аппаратуры;
- вывешивание предупреждающих плакатов и информационных табличек [16,17].

4.7 Взрывопожароопасность

Категория опасности помещений зависит от вида и количества находящихся в помещении горючих материалов и их пожароопасных свойств.

Всего выделяют пять категорий взрывопожароопасности:

- А – повышенная взрывопожароопасность;
- Б – взрывопожароопасность;
- В1÷В4 – пожароопасность;
- Г – умеренная пожароопасность;
- Д – пониженная пожароопасность [18].

Помещение аудитории 248 относится к категории В, так как в помещении располагаются твердые горючие и трудногорючие вещества и

материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Для обеспечения пожарной безопасности могут быть приняты организационные, технические и режимные меры:

- соблюдение правил эксплуатации приборов, порядка в помещении, периодическое проведение инструктажа для сотрудников;
- соблюдение правил пожарной безопасности на этапе проектирования помещения;
- запрещение иной деятельности, связанной с использованием открытого пламени, внутри помещения.

При обнаружении пожара или задымления сотрудник должен вызвать службу оперативного реагирования и сообщить руководителю о пожаре.

4.8 Радиационная безопасность

Основные принципы радиационной безопасности [21]:

- принцип нормирования: непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения от всех источников;
- принцип обоснования: запрещение всех видов деятельности по использованию источников, если полученная от этого польза не превышает риск возможного вреда, причиненного излучением;
- принцип оптимизации: поддержание индивидуальных доз облучения и числа, облучаемых на возможно низком и достижимом уровне.

В НРБ-99/2009 [21] выделяются три группы лиц, взаимодействующих с излучением: персонал группы А, Б и все остальное население.

Эффективная доза для персонала группы А от всех источников не должна быть больше 20 мЗв в год в среднем за последовательные 5 лет, но не должна превышать 50 мЗв за один год. Для персонала группы Б аналогично средняя доза за год не должна быть больше 1 мЗв и не больше 5 мЗв за один

год. Для студентов, проходящих обучение с использованием источников излучения, полученные дозы не должны превышать установленную для персонала группы Б.

В аудитории 248 источники излучения не размещены, также не происходит взаимодействия работников с источниками излучения.

4.9 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, природного явления или иного события, повлекшая за собой ущерб здоровью людей, окружающей среде или материальным ценностям. ЧС могут быть как техногенного (пожары, взрывы, аварии), так и природного характера (стихийные бедствия) [22].

В таблице 4.3 приведены наиболее вероятные аварийные (АС) и чрезвычайные (ЧС) ситуации, а также меры по их предотвращению и ликвидации последствий.

Таблица 4.3 – АС и ЧС, меры по их предотвращению и ликвидации последствий

№	АС/ЧС	Меры по предотвращению АС/ЧС	Меры по ликвидации последствий АС/ЧС
1	Пожар	Проведение инструктажа по технике безопасности, соблюдение правил пожарной безопасности, контроль и обслуживание электрических устройств.	Вызвать службу оперативного реагирования по номеру 112, сообщить руководителю и действовать по его инструкциям
2	Поражение электрическим током	Проведение инструктажа по технике безопасности, соблюдение правил электробезопасности, контроль и обслуживание электрических устройств.	Провести осмотр травмированной области. При наличии
3	Травмирование при падении с высоты	Проведение инструктажа по технике безопасности, аккуратное обращение с	

		оборудованием, которое может повлечь травмирование персонала, соблюдение правил безопасности при проведении работ на высоте, превышающей рост собственного тела.	серьёзных повреждений вызвать службу оперативного реагирования по номеру 112, сообщить руководителю и действовать по его инструкциям
--	--	--	--

4.10 Вывод по разделу

В ходе выполнения задания рассмотрены следующие опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на работу исследователя:

- отклонение показателей микроклимата [15];
- повышенный уровень шума [15];
- недостаточная освещенность рабочей зоны [16];
- недостаточная электробезопасность [17];

Определено, что кабинет 248 10-го корпуса относится:

- к 1-ому классу по электробезопасности [17];
- к категории В по пожарной и взрывной безопасности [18].

В заключительной части раздела рассмотрены меры по предотвращению наиболее вероятных аварийных и чрезвычайных ситуаций на рабочем месте, а также меры в случае их возникновения.

Заключение

В результате проделанной работы для заданного типа реактора было выполнено следующее:

- Проведен расчет концентраций элементов активной зоны
- Проведен расчет в программе WIMS-5D реактора ВВЭР-1000, получен начальный запас реактивности 29,65%, получен коэффициент размножения нейтронов $k_{эф} = 1,42$, определена длительность кампании 1500 суток;
- Проведен расчет в программе WIMS-5D реактора ВВЭР-СКД, для различных обогащений топлива получены значения запаса реактивности и длительности кампании
- По результатам расчета определено, что оптимальное обогащение топлива UO_2 по U^{235} для ВВЭР-СКД составляет 10%
- Создана модель активно зоны реактора ВВЭР-СКД в программе MCU
- Проведен расчет в программе MCU реактора ВВЭР-СКД, получен коэффициент размножения нейтронов $k_{эф} = 1,20$ определена длительность топливной кампании 2003 дня, начальный запас реактивности 16,24%.
- Проведен расчет в программе MCU реактора ВВЭР-СКД без твердого замедлителя гидрида циркония, получен коэффициент размножения нейтронов $k_{эф} = 1,21$ определена длительность топливной кампании 2403 дня, начальный запас реактивности 17,35%.

Список использованных источников

1. Ядерные реакторы с водой сверхкритического давления (основы теплового расчета): учебное пособие для вузов / В. И. Деев [и др.]; – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 156 с. (дата обращения: 02.03.2023).
2. Акользин П.А., Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водный режим паротурбинных блоков сверхкритических параметров. – М: Энергия, 1972 (дата обращения: 02.03.2023).
3. А.В. Лапин; В.М. Махин Анализ схем циркуляции теплоносителя в активной зоне легководных энергетических реакторов и предложения по активной зоне реактора ВВЭР-СКД – ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (дата обращения: 12.04.2023).
4. Кириллов П. Л., Маклачкова Т. А. Водоохлаждаемые АЭС четвертого поколения (ВВЭР СКД) (Бум публикаций – реальные перспективы или?) Препринт ФЭИ – 3279. Обнинск: ГНЦ РФ – ФЭИ, 2018. – 16 с. (дата обращения: 20.04.2023).
5. Научно-техническая конференция, ТЕПЛОФИЗИКА РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ, ТЕПЛОФИЗИКА – 2018, 16 – 18 мая 2018 года, СБОРНИК ДОКЛАДОВ, Обнинск 2018 (дата обращения 24.04.2023).
6. Ю.Д. Баранаев, А.П. Глебов, П.Л. Кириллов, А.В. Клушин. Реактор, охлаждаемый водой сверхкритического давления, ВВЭР-СКД – основной претендент в «Супер-ВВЭР» / Государственный Научный Центр Российской Федерации – Физико-Энергетический Институт, г. Обнинск. (дата обращения 24.04.2023).
7. Попов В.В., Малахова Е.И. Обоснование работоспособности твэлов ВВЭР-СКД / Государственный Научный Центр Российской Федерации – Физико-Энергетический Институт – 2010 (дата обращения: 25.04.2023).
8. А.П. Глебов, А.В. Клушин ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РЕАКТОРА ВВЭР-

СКД-30. ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И.Лейпунского., г. Обнинск. (дата обращения: 25.04.2023).

9. Фролова М. В. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ БЫСТРЫХ ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ ПВЭР-650 И ПСКД-600 / АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Москва – 2012 (дата обращения: 16.04.2023).

10. WIMSD-IAEA Library [Электронный ресурс] / Url: <http://nucleus.iaea.org/CIR/CIR/WIMSDLibrary.pdf> – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 06.03.2023 г.

11. Наймушин А. Г. Методические указания к лабораторно-практической работе / Ю. Б. Чертков. – Томск.: НИ ТПУ, 2011. – 77 с. А.П. Глебов, А.В. Клушин ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РЕАКТОРА ВВЭР-СКД-30. ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И.Лейпунского, г. Обнинск. (дата обращения: 13.04.2023).

12. Российская Федерация. Законы. Трудовой Кодекс Российской Федерации: Федеральный закон № 197 ФЗ: [Принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года: Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года]. – Текст: электронный // КонсультантПлюс: [Сайт]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 10.05.2023). – Текст: электронный.

13. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения 10.05.2023) – Текст: электронный.

14. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения 10.05.2023) – Текст: электронный.

15. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года N 2. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560Ю> (дата обращения 10.05.2023). – Текст: электронный.

16. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение: дата введения 2017-05-08. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 10.05.2023). – Текст: электронный.

17. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность: дата введения 1983-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 10.05.2023). – Текст: электронный.

18. Российская Федерация. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности": принят Государственной Думой 4 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года]. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения 10.05.2023). – Текст: электронный.

19. ГОСТ 32548-2013. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110084> (дата обращения: 10.05.23). – Текст: электронный.

20. Вентилятор канальный Event [Электронный ресурс]: – 2022 – Режим доступа: https://poryadok.ru/catalog/ventilyatory_vytyazhnye/7737/ – Загл. с экрана (дата обращения 9.05.2023).

21. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения 10.05.2023). – Текст: электронный.

22. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
Термины и определения: дата введения 2017-01-01. – URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200139176> (дата обращения 10.05.2023). Текст:
электронный.

Приложение А

Приложение Б

```
CELL 6
SEQUENCE 1
NGROUP 69
NMESH 71
NMATERIAL 3 1
NREGION 4
PREOUT
INITIATE
***** *** ***** **** *****
ANNULUS 1 0.07 0 1
ANNULUS 2 0.39 1 30
ANNULUS 3 0.535 2 10
ANNULUS 4 0.6 3 30
MESH 1 30 10 30
MATERIAL 1,-1,1473,1,
    2235 0.00455
    8238 0.01820284
    6016 0.045507111
MATERIAL 2,-1,800,2,
    2056 0.0101425
    52 0.0025758
    58 0.0022538
MATERIAL 3,-1,873,3
    3001 0.02195
    6016 0.010975
S 32
POWERC 1,40,0.,1
BEGINC
BEGINC
```

.....

Приложение В

PIN 1 0

SINOT U235 U238 H O16 FE CR NI MO ZR

MATR 1, T=2000

U235 0.004550711 /U238 0.018202844/O16 0.04550711

MATR 2, T=750

FE 0.0101425047169811 /CR 0.00257587421383648 /NI 0.00225388993710692 /MO
0.0003219842767295

MATR 3, T=700

H 0.013384444 /O16 0.006692222

MATR 4, T=600

ZR 0.051149871 /H 0.03692098

MATR 5, T=653

H 0.020076667 /O16 0.010038333

MATR 6, T=720

H 0.008699889 /O16 0.004349944

MATR 7, T=623

H 0.032791889 /O16 0.022753556

MATR 8, T=750

H 0.006357611 /O16 0.003178806

MATR 9, T=590

H 0.046845556 /O16 0.023422778

END

EGRC 1.E+05, 1.0, 0.0

DELN 1

FINISH

HEAD 1 0 500

** MATR= 9 ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ НА НУ для ПЗ

CONT В В Т Т Т Т Т Т

.....