

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах

УДК 621.039.512:621.039.524

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Храпов Антон Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Кузнецов М.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселёва Е.С.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	К.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически, верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинств и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов

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

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Бычков П.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А6В	Храпову Антону Андреевичу

Тема работы:

Разработка программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№62-18/с от 02.03.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Программа для расчёта нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов; – программный пакет Wolfram Mathematica; – требования: расчёт «холодного» и «горячего» состояния ЯР, кинетика реактора, в программе должен присутствовать интерфейс.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Литературный обзор существующих программ для расчёта ядерных реакторов; – изучение языка программирования Wolfram Mathematica; – изучение методики расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах; – разработка программного обеспечения, для расчёта ЯР.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> – презентация; – блок схема.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселёва Е.С.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	27.04.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯШТ	Кузнецов М.С.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Храпов Антон Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6В	Храпову Антону Андреевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость расходных материалов. 2. Стоимость расхода электроэнергии. 3. Норматив заработной платы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Тариф на электроэнергию. 2. Коэффициенты для расчёта заработной платы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Отчисления в фонды медицинского и социального страхования (30,2%).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений. 3. SWOT – анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования. 3. Бюджет научно – технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение показателей ресурсоэффективности разработки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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	27.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С	К.Э.Н.		27.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Храпов Антон Андреевич		27.04.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6В	Храпову Антону Андреевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Разработка программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ; – СанПиН 2.2.4.3359-16; – СанПиН 2.2.4.548–96; – СП 51.13330.2011; – СП 52.13330.2016; – ГОСТ 12.0.003-2015.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	<ul style="list-style-type: none"> – электрический ток; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – психофизиологические факторы;
3. Экологическая безопасность:	– экологические проблемы утилизации ПЭВМ и ВДТ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– анализ типичной ЧС – пожар в рабочем помещении.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Т. С.	к.ф.-м.н		27.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Храпов Антон Андреевич		27.04.2020

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 (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.04.2020	Выдача задания	10
02.05.2020	Подбор и изучение материалов по тематике	10
06.05.2020	Изучение Wolfram Language	25
14.05.2020	Написание скрипта	45
01.06.2020	Оформление графического материала	10
08.06.2020	Сдача работы	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Кузнецов М.С.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 75 страниц, 12 рисунков, 19 таблиц, 19 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: программное обеспечение, ядерный реактор, коэффициент размножения, нейтронно-физический, расчёт.

Объектом исследования является: программное обеспечение для расчёта ядерных реакторов.

Цель работы – разработка программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах.

В процессе исследования была изучена методика расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах, а также был изучен язык программирования Wolfram Language.

В результате исследования написано программное обеспечение для проведения оценочного нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах.

Для проверки работоспособности ПО был выбран реактор типа ВВЭР, для которого были посчитаны коэффициенты размножения нейтронов в «холодном» и «горячем» состояниях, величина отравления S_m и X_e , изменение концентраций в процессе выгорания и длительность кампании.

Область применения: ядерная энергетика.

В дальнейшем планируется оптимизация программного кода, а также расширение функционала ПО.

Обозначения и сокращения

ПО – программное обеспечение;

ЯР – ядерный реактор;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы);

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

MCU – Monte-Carlo Universal;

АЗ – активная зона;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

Содержание

Введение	14
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Программы для расчёта ядерных реакторов	15
1.2 Программный пакет Wolfram Mathematica	16
2 Методика расчёта	18
2.1 Предварительный расчёт	18
2.2 Расчёт «холодного» реактора	21
2.3 Расчёт «горячего» реактора	22
2.3.1 Расчёт температуры нейтронного газа	22
2.4 Кинетика ядерного реактора.....	24
2.4.1 Отравление.....	24
2.4.2 Выгорание топлива.....	25
2.4.3 Расчёт длительности кампании	26
3 Разработанная программа	27
3.1 Интерполяция	27
3.2 Интерфейс программы	28
3.3 Результаты расчёта	30
3.4 Оптимизация ячейки	36
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	39
4.1 Организация и планирование работ	39
4.1.1 Продолжительность этапов работ	40
4.2 Потенциальные потребители результатов исследования.....	43
4.3 Анализ конкурентных технических решений.....	43
4.4 SWOT-анализ.....	44
4.5 Расчёт накопления готовности проекта	46
4.6 Расчёт сметы на выполнение проекта	48
4.6.1 Расчёт затрат на материалы	48
4.6.2 Расчёт заработной платы.....	49

4.6.3 Расчёт затрат на страховые взносы	50
4.6.4 Расчёт затрат на электроэнергию	51
4.6.5 Расчёт амортизационных расходов	52
4.6.6 Расчёт прочих расходов	53
4.6.7 Расчёт суммарной себестоимости разработки	53
4.6.8 Расчёт прибыли.....	54
4.6.9 Расчёт НДС	54
4.6.10 Цена разработки проекта	54
5 Социальная ответственность	55
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	55
5.2 Производственная безопасность	57
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе разработки ПО	57
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	61
5.3 Экологическая безопасность	64
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	66
Заключение	68
Список использованных источников	70
Приложение А	72
Приложение Б.....	73
Приложение В	74
Приложение Г.....	75

Введение

При разработке реактора с заданными параметрами необходимо понимать целесообразность его проектирования, это возможно сделать лишь с помощью расчёта нейтронно-физических характеристик.

Основной целью данного расчета является физическое обоснование конструкции и установление набора физических параметров реактора, отвечающего определенным требованиям.

Затем проводится оценочный тепловой расчёт, с учётом выбранной конструкционной схемой реактора, в результате определяются размеры активной зоны. Коэффициент размножения нейтронов в среде является основной физической величиной в данном расчёте [1].

Основные программы для расчёта характеристик ядерных реакторов, используемые на данный момент, производят вычисления довольно длительное время, что является недопустимым для оценочных расчётов, целью которых является поиск оптимальных параметров активной зоны.

Таким образом, целью данной учебно-исследовательской работы является разработка программного обеспечения для быстрого оценочного расчёта характеристик ядерных реакторов.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- написание скрипта для предварительного расчёта ядерного реактора;
- написание скрипта для расчёта «холодного» и «горячего» состояний реактора;
- написание кода скриптов для расчёта величины отравления, выгорания и длительности кампании;
- усовершенствование ПО путём добавления интерфейса.

1 Обзор литературы

На сегодняшний день существует большое количество ядерных реакторов, очевидно, что вред ядерной промышленности в сравнении с углеводородной менее существенный. Вся промышленность оказывает техногенное воздействие на окружающую человека среду, однако, аргументы, которые позволяют сделать выбор в пользу ядерной промышленности: топливо не возобновляемо, стоимость его транспортировки и добычи растёт, а также данный вид топлива не удовлетворяет современным экологическим требованиям.

Данная работа посвящена актуальной научно-технической задаче, сопряжённой с проведением физических расчётов ядерных реакторов. В настоящее время существует большое количество программного обеспечения для проведения нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов, однако все они производят вычисления в течение длительного по времени промежутка. Из чего следует необходимость создания программы, которая позволит сократить затрачиваемое время на подбор оптимальных параметров реактора при его расчёте.

1.1 Программы для расчёта ядерных реакторов

Развитие вычислительной техники дало толчок к развитию и широкому применению программного обеспечения при расчёте ядерных реакторов. Подавляющее большинство программ, существующих на сегодняшний день и используемых в практических расчётах, в основном решают уравнение переноса нейтронов в диффузионном приближении.

Программы на основе метода Монте-Карло развивались достаточно давно. Одной из первых программ, в основе которой лежал этот метод, была ММК-ФК. Её продолжением стала программа MCU, которая получила широкое распространение. В основном она использовалась для расчёта тепловых реакторов, однако, версия MCU-BR используется для расчёта реактора типа

БРЕСТ. В качестве константной базы программа использует банк данных MDBBR50 на основе файлов РОСФОНД в формате ACE и версию БНАБ/МСU констант БНАБ-93 [2].

Так же довольно распространённой является программа американского происхождения – MCNP, которая также основана на методе Монте-Карло. Данная программа используется для расчётов в области быстрых реакторов и для анализа экспериментов на критических сборках.

В настоящий момент для расчетов активной зоны реакторов БН применяются трехмерные, диффузионные, многогрупповые программы TRIGEX, JAR-FR, ГЕФЕСТ, для расчетов активной зоны реактора БРЕСТ-300 используется программа FACT-BR, для расчетов реактора СВБР используется программа REACTOR.

Программы на базе DSn-метода представляют собой класс высокоточных вычислительных кодов. К ним относятся коды DSn-метода, например: отечественный комплекс программ КАСКАД-КАТРИН (разработка ИПМ), зарубежные коды метода дискретных ординат DORT и TORT, а также программы PMSNSYS и KINXYZ (разработка ОКБ «Гидропресс»). Данные коды определяют корни уравнения переноса с помощью разложения индикатрисы рассеяния по полиномам Лежандра [2]

Также существуют особые программы, которые предназначены для вычисления изменения нуклидного состава и его изменение во времени. Наибольшее распространение в данном направлении получили программы CARE и ORIGEN. Указанные программы используют библиотеку констант БНАБ-93 [2].

1.2 Программный пакет Wolfram Mathematica

Wolfram Mathematica – система компьютерной алгебры, широко используемая в научных, инженерных, математических и компьютерных областях. Первоначально система была разработана Стивеном Вольфрамом, а затем – компанией Wolfram Research [3].

В течение трех десятилетий система Mathematica была в авангарде технических вычислений, она обеспечивает базовую вычислительную среду для миллионов изобретателей, преподавателей, студентов и других пользователей во всем мире [4].

Данная программа широко ценится за её технические возможности и её лёгкость в освоении. Mathematica постоянно расширяется и в неё добавляется новый функционал, который позволяет удовлетворять требованиям сложных технических вычислений, также программа обеспечивает бесперебойную работу в облаке через любой существующий веб-браузер.

С помощью данной программы также можно осуществлять численные расчёты, она позволяет определять значения с необходимой под определённый случай точностью. Данная система имеет возможность генерировать код в Си, программы, сформированные таким образом, могут использоваться независимо.

2 Методика расчёта

2.1 Предварительный расчёт

Начало схемы расчета реактора на тепловых нейтронах – предварительная оценка размеров активной зоны, данный параметр выбирается таким, чтобы он смог обеспечить необходимый объём отвода тепла при заданной мощности.

Прежде чем приступить к расчёту ядерного реактора, необходимо определиться с конструкцией реактора, его размерами, шагом решётки, а также с материалами тепловыделяющих элементов и с их числом в канале [1].

Важным параметром в гетерогенных реакторах является максимально допустимая тепловая нагрузка q_{\max} на поверхности ТВЭЛа, с помощью него определяются размеры активной зоны при указанном шаге решётки.

Для реакторов типа ВВЭР это значение не должно превышать критическую тепловую нагрузку, то есть нагрузку, при которой пузырьки, кипящие на теплопередающей поверхности, переходят в пленку. Максимальная тепловая нагрузка в водоохлаждаемых реакторах составляет $1,39 \div 1,74 \text{ МВт} / \text{м}^2$ [1].

При проведении предварительных расчётов вместо q_{\max} можно использовать обобщённые данные для средней удельной энергетической нагрузки вместо [1].

$$V_{a.3} = \frac{N}{N_0} \eta, \text{ см}^3; \quad (2.1)$$

$$D_{a.3} = \sqrt[3]{\frac{4V_{a.3}}{\pi m}}, \text{ см}; \quad (2.2)$$

$$H = m \cdot D, \text{ см}, \quad (2.3)$$

где $V_{a.3}$, D , H – объём, диаметр, высота активной зоны, см; m – отношение высоты к диаметру, обычно $m = 0,8 \div 1,0$; N – заданная мощность реактора, кВт;

η – коэффициент, учитывающий увеличение объёма реактора из-за размещения регулирующих стержней.

Размеры активной зоны могут быть определены с учетом требуемой мощности реактора, эти зависимости представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Обобщённые характеристики реакторов различных типов

Тип реактора	N_0 , кВт	$m = \frac{H}{D}$
Уран-графитовый реактор с водяным теплоносителем	2,0 ÷ 6,0	0,6 ÷ 1,0
Газографитовые реакторы:		
– магноксового типа	0,5 ÷ 1,5	0,5 ÷ 1,1
– усовершенствованного типа	1,5 ÷ 2,8	0,9
– высокотемпературные	3 ÷ 15	0,8 ÷ 1,1
Уран-графитовые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем	3 ÷ 15	0,8 ÷ 1,1
Водо-водяные реакторы:		
– с водой под давлением	50 ÷ 120	0,85 ÷ 1,1
– с кипящей водой	20 ÷ 60	0,7 ÷ 1,1

Коэффициент отличается от единицы, если регулирующие стержни занимают отдельные ячейки реактора ($\eta = 1,1 \div 1,3$).

Максимальная удельная объёмная нагрузка активной зоны рассчитывается по формуле:

$$N_{0\max} = \bar{N}_0 K_v, \quad (2.4)$$

где K_v – схемный коэффициент неравномерности тепловыделения. Обычно для теплового реактора с однородной активной зоной $K_v = 2 \div 3$. Максимально допустимая тепловая нагрузка:

$$v = \frac{g_{\max} \cdot \Pi_0 \cdot H}{15,07 \cdot 10^3 \cdot K_z \cdot \gamma \cdot \Delta i \cdot S}, \quad (2.5)$$

где H – высота активной зоны, см; K_z – осевой коэффициент неравномерности ($K_z = 1,2 \div 1,5$); S – площадь сечения прохода теплоносителя, приходящаяся на один элемент, см²; v – скорость теплоносителя на входе, м/с; γ – удельный вес теплоносителя при рабочих параметрах, г/см³; Δi – разность теплосодержания теплоносителя на выходе, Дж/кг [1].

Если теплоёмкость C_p (Дж/кг·град) не зависит от температуры, то:

$$\Delta i = C_p (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (2.6)$$

Существует ограничение скорости теплоносителя, для воды и лёгких металлов, в настоящий момент, принимают данную скорость до 10 м/с. Скорость теплоносителя выбирают максимально возможной.

Поскольку ячейка реактора состоит из нескольких зон различными ядерными свойствами, необходимо рассчитать нейтронно-физические характеристики (сечения взаимодействия, коэффициенты диффузии, замедляющие свойства) для каждой зоны (горючее, оболочки, трубы, теплоноситель, замедлитель). Температура всех элементов реактора принимается равной 20 °С [1].

Вычисление ядерных концентраций производят для каждого элемента активной зоны и отражателя. Ядерная концентрация i -го элемента находится по формуле:

$$N_i = \frac{0,602 \cdot \gamma_i}{A_i} \cdot 10^{24}, \text{ ядер/см}^3, \quad (2.7)$$

где γ_i – весовая концентрация i -го элемента, г; A_i – атомный вес i -го элемента.

При физико-нейтронных расчётах все поперечные сечения должны быть отнесены к средней скорости нейтронов. Следует отметить, что максвелловский спектр тепловых нейтронов постепенно переходит в спектр замедляющихся нейтронов при температуре 293 К при энергии примерно равной $E_c = 0,2$ эВ, которая называется «энергией сшивки».

В реальных средах распределение тепловых нейтронов не совсем совпадает с распределением Максвелла, так как происходит поглощение тепловых нейтронов, спектр смещается в область высоких энергий [1].

В тепловых реакторах температура нейтронного газа превышает температуру среды на 50 – 100 °С. При расчёте холодного реактора можно принимать температуру нейтронного газа в пределах от 350 ÷ 400 К.

Таблица 2.2 – Функции отклонения от закона $1/v$ для U^{235}

Температура нейтронов T_n , К	300	400	500	600	700
$f_a, f_f(T_n)$	0,979	0,960	0,946	0,939	0,932

Температура активной зоны в холодном реакторе с жидкометаллическим теплоносителем должна быть на 20 ÷ 50 °С выше температуры плавления теплоносителя. При расчёте ядерной концентрации необходимо учитывать температурную зависимость плотности теплоносителя.

Микроскопические сечения рассеяния практически не зависят от энергии тепловых нейтронов, поэтому непосредственно можно воспользоваться для них табличными данными. Макроскопические поперечные сечения вычисляются следующим образом:

$$\sum_i = \sigma_i N_i, \quad (2.8)$$

2.2 Расчёт «холодного» реактора

Коэффициент размножения бесконечной среды является важной характеристикой активной зоны реактора, т.к. по его величине можно судить о целесообразности продолжения расчёта того или иного варианта.

Коэффициент размножения для бесконечной среды определяется как произведение четырёх сомножителей:

$$k_\infty = \eta \cdot \varepsilon \cdot \theta \cdot \phi, \quad (2.9)$$

где η – коэффициент размножения тепловых нейтронов в горючем; ε – коэффициент размножения на быстрых нейтронах; ϕ – вероятность избежать резонансного захвата; θ – коэффициент использования тепловых нейтронов[1].

Для расчёта k_{∞} вычисляется каждый сомножитель. Так как задачей расчёта является отыскание оптимальной решётки, то необходимо провести расчёты и сравнить результаты для нескольких вариантов. Так, при расчёте реактора со стержневыми тепловыделяющими элементами, нужно выполнить расчёты для 4 ÷ 5 различных диаметров ТВЭЛ и 4 ÷ 5 различных шагов решётки. Эффективный коэффициент размножения реактора вычисляется по формуле:

$$k_{\text{эф}} = \frac{k_{\infty} e^{-B^2 \tau_p}}{1 + B^2 L_p^2}, \quad (2.10)$$

где B^2 – геометрический параметр.

Для реактора с отражателем при применении этой формулы необходимо учитывать эффективные добавки за счёт отражателя. Расчёт по этой формуле можно производить, если уже заданы размеры реактора.

2.3 Расчёт «горячего» реактора

2.3.1 Расчёт температуры нейтронного газа

Сечения взаимодействий очень сильно зависят от температуры среды, в связи с этим необходимо сделать перерасчёт с поправкой на температуру нейтронного газа:

$$\bar{\sigma}_{a,f} = \sigma_{a,f} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{293}{T_{\text{н.г.}}}} f(T_{\text{н.г.}}) F(\chi_{\text{гр}}), \quad (2.11)$$

где $\bar{\sigma}_{a,f}$ – микроскопическое сечение реакции поглощения или деления с учётом поправок; $\sigma_{a,f}$ – табличное микроскопическое сечение реакции поглощения или деления; $T_{\text{н.г.}}$ – температура нейтронного газа; $f(T_{\text{н.г.}})$ – поправочный коэффициент, учитывающий отклонение зависимости сечений от закона $1/v$; $F(\chi_{\text{гр}})$ – параметр, зависящий от энергии сшивки [1].

Затем необходимо определить параметр $\chi_{гр}$ из следующего уравнения:

$$\frac{\chi_{гр}^2 \cdot e^{-\chi_{гр}}}{1 - (1 + \chi_{гр}) \cdot e^{-\chi_{гр}}} = \frac{\bar{\Sigma}_a(T_{н.г.})}{\bar{\xi}\Sigma_s}, \quad (2.12)$$

где $\chi_{гр} = \frac{E_{гр}}{E_T}$; $E_T = k \cdot T_{н.г.}$.

Далее из графика функции, который представлен на рисунке 2.1, определяется $F(\chi_{гр})$:

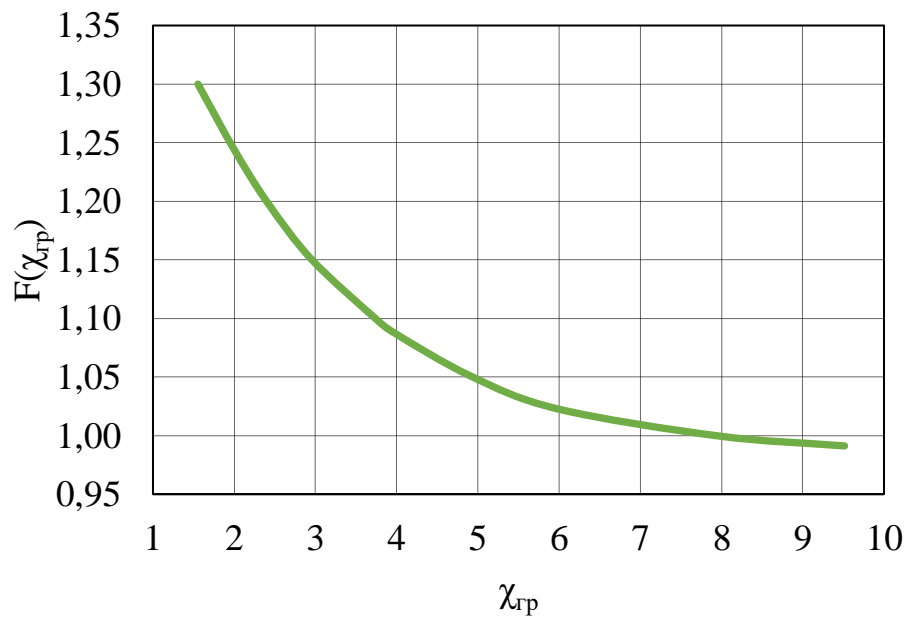


Рисунок 2.1 – Зависимость F от $\chi_{гр}$

Рассчитывается температура нейтронного газа с пересчитанными сечениями:

$$T_{н.г.} = T_{ср} \left(1 + 1,4 \frac{\bar{\Sigma}_a(T_{н.г.})}{\bar{\xi}\Sigma_s} \right), \quad (2.13)$$

где $T_{н.г.}$ – температура нейтронного газа; $T_{ср}$ – температура среды (замедлителя); $\bar{\Sigma}_a(T_{н.г.})$ – усреднённое макроскопическое сечение поглощения двузонной ячейки, зависящее от её температуры; $\bar{\xi}\Sigma_s$ – усреднённая замедляющая способность двузонной ячейки [1].

После того, как переопределяется $T_{н.г.}$, пересчитываются сечения по формуле (1.8) и снова определяется параметр $\chi_{гр}$ с помощью уравнения (2.9). Из графика функции, представленном на рисунке 2.1, определяется $F(\chi_{гр})$ и если величина поправки изменилась в пределах 5%, то расчёт закончен, если более чем на 5%, необходимо пересчитать всё, начиная с формулы (2.11).

2.4 Кинетика ядерного реактора

Для определения длительности кампании необходимо рассчитать отравление реактора ксеноном-135 и самарием-149, выгорание топлива и шлакование. Затем изменение запаса реактивности с учётом затрат реактивности на отравление, выгорание и шлакование [1].

В результате деления ядер урана и плутония образуются разнообразные ядра – осколки деления и продукты их распада, которые принято делить на две группы. К первой группе относятся ядра ксенона и самария, а ко второй – стабильные и долгоживущие изотопы, которые получили название шлакование ядерного реактора [1].

2.4.1 Отравление

С момента пуска реактора происходит интенсивное накопление Xe^{135} . Это объясняется тем, что пока концентрация ксенона мала, скорость его убывания также невелика и меньше скорости образования ядер ксенона, однако, по мере накопления ксенона скорость его убыли постоянно увеличивается и при работе на постоянной мощности наступает равновесие между образованием и убылью ксенона [1]. Такая концентрация называется стационарной, и для её определения сначала необходимо найти стационарную концентрацию I^{135} :

$$\begin{aligned} N_{ст}^I &= \frac{\omega_I \cdot \Sigma_f^{U^{235}} \cdot \Phi}{\lambda_I}, \\ N_{ст}^{Xe} &= \frac{(\omega_I + \omega_{Xe}) \cdot \Sigma_f^{U^{235}} \cdot \Phi}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \cdot \Phi}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

где $N_{\text{ст}}^{\text{I}}$, $N_{\text{ст}}^{\text{Xe}}$ – стационарные концентрации I и Xe, см^{-3} ; ω_{I} , ω_{Xe} – выход ксенона и йода на одно деление тяжёлого изотопа; $\Sigma_{\text{f}}^{\text{U}^{235}}$ – макроскопическое сечение деления урана для двухзонной ячейки, см^{-1} ; Φ – плотность потока тепловых нейтронов, $\text{нейтр}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$; λ_{I} , λ_{Xe} – постоянные распада йода и ксенона, с^{-1} .

Стационарное отравление Sm^{149} вычисляется по аналогии с ксеноном, и для начала необходимо определить концентрацию Pm:

$$\begin{aligned} N_{\text{ст}}^{\text{Pm}} &= \frac{\omega_{\text{Pm}} \cdot \Sigma_{\text{f}}^{\text{U}^{235}} \cdot \Phi}{\lambda_{\text{Pm}}}, \\ N_{\text{ст}}^{\text{Sm}} &= \frac{\omega_{\text{Pm}} \cdot \Sigma_{\text{f}}^{\text{U}^{235}}}{\sigma_{\text{a}}^{\text{Sm}}}, \end{aligned} \quad (2.15)$$

где $N_{\text{ст}}^{\text{Pm}}$, $N_{\text{ст}}^{\text{Sm}}$ – стационарные концентрации Pm и Sm, см^{-3} ; ω_{Pm} , ω_{Sm} – выход прометия и самария на одно деление тяжёлого изотопа; λ_{Pm} – постоянная распада прометия, с^{-1} .

2.4.2 Выгорание топлива

После определения потерь реактивности, связанных с отравлением реактора самарием и ксеноном, необходимо определить изменение концентрации урана на протяжении всей кампании, а также учесть наработку плутония. Для определения изменения концентрации изотопов в топливе используются формулы:

$$\begin{aligned} \Delta N^{\text{U}^{235}} &= -\Delta t \cdot \sigma_{\text{a}}^{\text{U}^{235}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{U}^{235}} \cdot \Phi \cdot 10^{-24}, \\ \Delta N^{\text{U}^{238}} &= -\Delta t \cdot \sigma_{\text{a}}^{\text{U}^{238}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{U}^{238}} \cdot \Phi \cdot 10^{-24}, \\ \Delta N^{\text{Pu}^{239}} &= \Delta t \cdot (\sigma_{\text{a}}^{\text{U}^{238}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{U}^{238}} - \sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{239}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{239}} + \varepsilon \cdot \nu_{\text{f}}^5 \cdot \sigma_{\text{a}}^{\text{U}^{235}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{U}^{235}} \cdot (1 - \varphi) + \\ &\quad + \varepsilon \cdot \nu_{\text{f}}^9 \cdot \sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{239}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{239}} \cdot (1 - \varphi)) \cdot \Phi \cdot 10^{-24}, \\ \Delta N^{\text{Pu}^{240}} &= \Delta t \cdot (\sigma_{\text{c}}^{\text{Pu}^{239}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{239}} - \sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{240}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{240}}) \cdot \Phi \cdot 10^{-24}, \\ \Delta N^{\text{Pu}^{241}} &= \Delta t \cdot (\sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{240}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{240}} - \sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{241}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{241}}) \cdot \Phi \cdot 10^{-24}, \\ \Delta N^{\text{Pu}^{242}} &= \Delta t \cdot (\sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{241}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{241}} - \sigma_{\text{a}}^{\text{Pu}^{242}} \cdot N_{\text{ГОМ}}^{\text{Pu}^{242}}) \cdot \Phi \cdot 10^{-24}, \end{aligned} \quad (2.16)$$

где $\Delta N^{U^{235}}$, $\Delta N^{U^{238}}$, $\Delta N^{Pu^{239}}$, $\Delta N^{Pu^{240}}$, $\Delta N^{Pu^{241}}$, $\Delta N^{Pu^{242}}$ – изменение концентраций искоемых изотопов, ядер/см³; Δt – период определения изменения концентраций, сут; $N_{\text{ГОМ}}^{U^{235}}$, $N_{\text{ГОМ}}^{U^{238}}$, $N_{\text{ГОМ}}^{Pu^{239}}$, $N_{\text{ГОМ}}^{Pu^{240}}$, $N_{\text{ГОМ}}^{Pu^{241}}$, $N_{\text{ГОМ}}^{Pu^{242}}$ – начальные концентрации изотопов, для Pu^{239} , Pu^{240} , Pu^{241} , Pu^{242} эти концентрации равны 0, ядер/см³; $\sigma_a^{U^{235}}$, $\sigma_a^{U^{238}}$, $\sigma_a^{Pu^{239}}$, $\sigma_a^{Pu^{240}}$, $\sigma_a^{Pu^{241}}$, $\sigma_a^{Pu^{242}}$ – микроскопические сечения поглощения изотопов, с⁻¹; $\sigma_c^{Pu^{239}}$ – микроскопическое сечение захвата, с⁻¹.

2.4.3 Расчёт длительности кампании

Для расчёта длительности кампании ядерного реактора ещё необходимо определить потери реактивности на шлакование, и произвести пересчёт коэффициентов размножения с учётом изменения концентрации урана и наработки плутония.

Стоит отметить пересчёт коэффициента η , для определения которого будет использоваться формула:

$$\eta = \frac{v_f^5 \cdot \sum_f^{U^{235}} + v_f^9 \cdot \sum_f^{Pu^{239}} + v_f^1 \cdot \sum_f^{Pu^{241}}}{\sum_a^{U^{235}} + \sum_a^{U^{238}} + \sum_a^{Pu^{239}} + \sum_a^{Pu^{240}} + \sum_a^{Pu^{241}} + \sum_a^{Pu^{242}}}. \quad (2.17)$$

В результате изменений, которые происходят в изотопном составе активной зоны в процессе работы реактора, меняется коэффициент размножения k_∞ , квадрат диффузионной длины и, следовательно, эффективный коэффициент размножения $k_{\text{эф}}$ [1].

После пересчёта коэффициентов размножения k_∞ и $k_{\text{эф}}$, с учётом изменения концентраций урана и наработки плутония, производится расчёт запаса реактивности, из которого вычитаются потери реактивности на шлакование и отравление.

3 Описание разработанной программы

Написанный программный код для удобства разделён на 8 функциональных модулей, каждый из которых выполняет определённую задачу, все модули объединяется главным файлом. Также отдельный модуль отвечает за интерфейс программы. Код исполнительного модуля программы представлен в Приложении А, а также логика программы описана в блок схеме, которая представлена в Приложении Б.

Один из модулей – библиотека ядерных констант, данный элемент программы основан на БНАБ-81 [5], также отдельный файл предназначен для параметров реактора. Остальные 6 модулей отвечают за вычисление: геометрии активной зоны, параметров «холодного» реактора, параметров «горячего» реактора, величины отравления реактора, изменения нуклидного состава, длительности кампании.

3.1 Интерполяция

При разработке возникла необходимость переноса некоторых графических зависимостей в программу, причиной данной необходимости стало то, что некоторые определяемые параметры в выбранной методике представлены только эмпирическими зависимостями. В программном пакете Wolfram Mathematica имеется функция, которая позволяет провести интерполяцию сложных зависимостей в двухмерном пространстве, а также трехмерном, по массиву данных.

Реализовано это следующим способом: каждой точке на графике присваивается значение, которое предварительно определяется по пикселям, пример представлен на рисунке 3.1, затем данные значения вносятся в программу и с помощью специальной функции эти значения конвертируются в значения по оси «х» и «у», и когда на вход подаётся значение по одной оси, программа выводит значение по другой оси. Так же в программе присутствует

трёхмерная интерполяция, которая работает аналогичным способом, но на вход подаётся значение по двум осям, а выводится значение по третьей

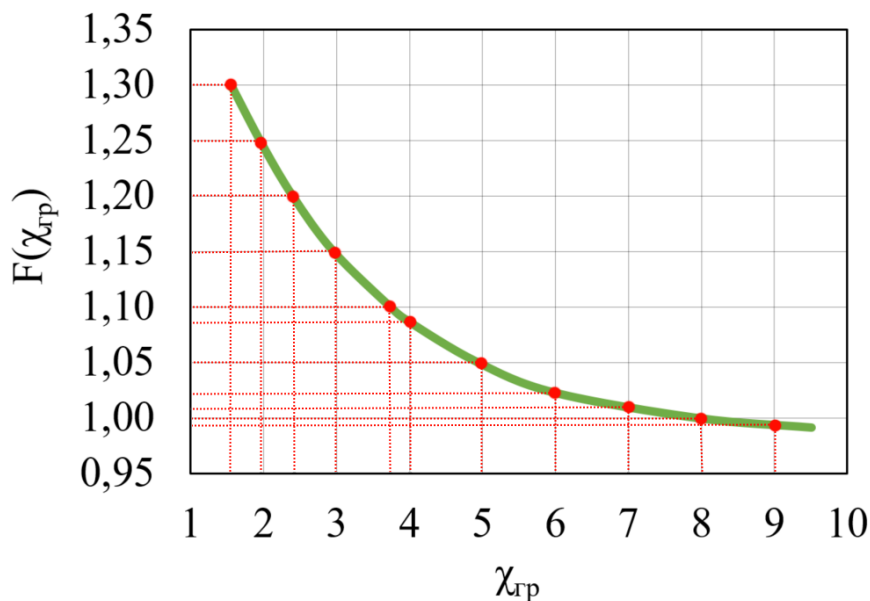


Рисунок 3.1 – Перенос графической зависимости в программу

3.2 Интерфейс разработанной программы

В целях увеличения эргономичности в программу был добавлен интуитивно понятный интерфейс. Для добавления интерфейса был написан скрипт, который вынесен в отдельный модуль.

Программа представляет собой окно, содержащее 2 вкладки. На первой вкладке, которая представлена на рисунке 3.2, осуществляется ввод начальных параметров. Параметры вводятся в специальные поля ввода данных. В нижней части имеется кнопка, для начала проведения расчёта, а также для удобства добавлен индикатор расчёта.

На второй вкладке, которая представлена на рисунке 3.3, выводятся основные результаты и основные графики по кинетике реактора. Также на данной вкладке можно выбрать необходимые данные для экспорта их в Microsoft Excel.

Окно программы

Начальные условия

РЕЗУЛЬТАТЫ

ПАРАМЕТРЫ РЕАКТОРА

Среднее объёмное энерговыделение, кВт/л

Мощность реактора, МВт

N_{A3}

N_0

Шаг решётки, см

$l_{шаг}$

Обогащение топлива, %

C_5

Температура теплоносителя на входе, С

$T_{вх}$

Температура теплоносителя на выходе, С

$T_{вых}$

РАЗМЕРЫ ТОПЛИВА

Внешний радиус твэла, см

$R_{твэл}$

Внутренний радиус твэла, см

$r_{твэл}$

Внешний радиус топливной таблетки, см

$R_{топлива}$

Внутренний радиус топливной таблетки, см

$r_{топлива}$

РАЗМЕРНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Поправка на размещение регулирующих стержней

$\eta_{об}$

Схемный коэффициент неравномерности

K_v

Кэфф. неравномерности тепловыделения

K_z

Отношение высоты активной зоны к диаметру

m

Рассчитать

Расчёт остановлен

Рисунок 3.2 – Первая вкладка программы

Окно программы

Начальные условия

РЕЗУЛЬТАТЫ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА

Холодный реактор

k_{∞}

k_{∞}^*

k_{eff}

k_{eff}^*

Горячий реактор

k_{∞}

k_{∞}'

k_{eff}

k_{eff}'

Кинетика реактора

Длительность кампании, сут

$t_{раб}$

Зависимость ρ от $t_{раб}$

График

Отравление реактора X_e

График

Отравление реактора S_m

График

Изменение нуклидного состава топлива

График

ЭКСПОРТ РЕЗУЛЬТАТОВ В EXCEL ¹

☐ $\Delta\rho$ ☐ ρ_{Xe} ☐ ρ_{Sm} ☒ N_{Xe} ☐ N_{Sm} ☐ $\Delta N_{топл}$

Вывод результатов

¹Для вывода результатов отметьте необходимые данные

Рисунок 3.3 – Вторая вкладка программы

3.3 Результаты расчёта

Для проверки работоспособности программы был рассчитан реактор типа ВВЭР. В качестве необходимых данных для нейтронно-физического расчёта были выбраны значения из таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные для нейтронно-физического расчёта

Размер ТВС под ключ, см	14,4
Шаг расположения ТВС, см	14,7
Количество твэл в ТВС	91
Наружный диаметр оболочки твэл, см	1,02
Внутренний диаметр оболочки твэл, см	0,9
Внешний диаметр топливной таблетки, см	0,88
Материал топливной таблетки	UO ₂
Обогащение по U ²³⁵ , %	10
Тепловая мощность, МВт	1000
Давление теплоносителя первого контура, МПа	16
Температура теплоносителя на входе в ядерный реактор, °C	290
Температура теплоносителя на выходе из ядерного реактора, °C	320
Материал оболочек твэл	Zr
Шаг расстановки твэл, см	1,275
Максимально допустимая тепловая нагрузка, Вт/см ²	110

Первый расчётный модуль отвечает за геометрические параметры активной зоны, результаты, полученные с помощью программы представлены ниже:

$$V_{a.3} = 1,186 \cdot 10^7 \text{ см}^3; \quad (3.1)$$

$$D_{a.3} = 239,457 \text{ см}; \quad (3.2)$$

$$H_{a.3} = 263,403 \text{ см}, \quad (3.3)$$

$$v = 8,746 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (3.4)$$

Скорость воды получилась меньше 10 м/с что соответствует правилам безопасности и не вызовет сильных гидроударов.

В следующем расчётном модуле программа вычисляет ядерные концентрации для всех материалов активной зоны, для удобства полученные данные приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Концентрации основных материалов активной зоны

$N_{U^{235}}, \text{см}^{-3}$	$N_{U^{238}}, \text{см}^{-3}$	$N_H, \text{см}^{-3}$	$N_{O \text{ в } H_2O}, \text{см}^{-3}$	$N_{O \text{ в } UO_2}, \text{см}^{-3}$	$N_{Zr}, \text{см}^{-3}$
$2,099 \cdot 10^{21}$	$1,889 \cdot 10^{22}$	$4,798 \cdot 10^{22}$	$2,399 \cdot 10^{22}$	$4,198 \cdot 10^{22}$	$4,300 \cdot 10^{22}$

Также в этом модуле рассчитываются коэффициенты формулы четырёх сомножителей и с помощью этих четырёх сомножителей рассчитывается коэффициент размножения в бесконечной среде, данные представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Коэффициенты формулы и четырёх сомножителей и k_∞ :

ϵ	ϕ	θ	η	k_∞
1,004	0,627	0,996	1,991	1,322

Конечным этапом данного модуля является определение эффективного коэффициента размножения нейтронов:

$$k_{\text{эф}} = 1,295. \quad (3.5)$$

Следующий модуль программы отвечает за расчёт «горячего» состояния реактора. Для начала программа добавляет поправки на температуру нейтронного газа.

В первом приближении температура нейтронного газа равна температуре среды, то есть теплоносителя:

$$T_{\text{н.г.}} = \frac{T_{\text{вх}} + T_{\text{вых}}}{2} = \frac{250 + 278 + 273 \cdot 2}{2} = 537 \text{ К}, \quad (3.6)$$

где $T_{\text{вх}}$ – температура теплоносителя на входе в активную зону; $T_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на выходе из активной зоны.

В результате разработанное ПО автоматически определяет параметр $\chi_{\text{гп}} = 3,0761$, а затем с помощью интерполяции определяет $F(\chi_{\text{гп}}) = 1,1412$.

Затем программа вычисляет температуру нейтронного газа, с учётом определённых поправок:

$$T_{\text{н.г.}} = 537 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{0,5294}{0,9846} \right) = 1071 \text{ К.} \quad (3.7)$$

После введения поправок на температуру нейтронного газа, программа производит пересчёт макроскопических сечений материалов активной зоны, для удобства они приведены в таблице 3.4:

Таблица 3.4 – Макроскопические сечения основных материалов АЗ в фиктивном блоке, после введения поправок на температуру нейтронного газа

	$\Sigma^a, \text{см}^{-1}$	$\Sigma^f, \text{см}^{-1}$	$\Sigma^{tr}, \text{см}^{-1}$
O	0,0000	0,0000	0,1125
Zr	0,0011	0,0000	0,0592
Nb	0,0001	0,0000	0,0007
U^{235}	0,4947	0,4215	0,8204
U^{238}	0,0177	0,0000	0,1550

Учитывая пересчитанные макроскопические сечения, программа заново определяет коэффициенты формулы четырёх сомножителей и затем k_{∞} , данные представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Коэффициенты формулы и четырёх сомножителей и k_{∞} для «горячего» состояния реактора:

ε^r	ϕ^r	θ^r	η^r	k_{∞}^r
1,032	0,627	0,989	1,991	1,275

Заключающим этапом модуля для расчёта «горячего» состояния реактора является расчёт эффективного коэффициента размножения нейтронов:

$$k_{\text{эф}}^{\Gamma} = 1,249. \quad (3.8)$$

Один из модулей отвечает за расчёт изменений нуклидного состава в топливе, данная зависимость представлена на рисунке 3.4.

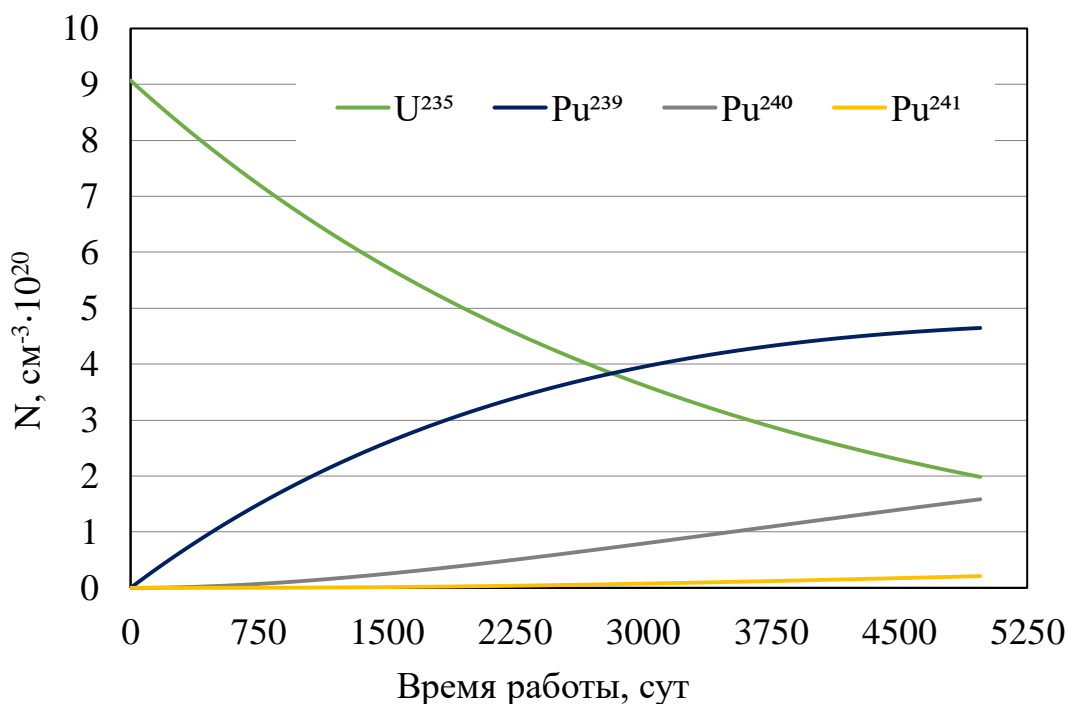


Рисунок 3.4 – Изменение концентраций U^{235} , Pu^{239} , Pu^{240} и Pu^{241}

Из рисунка 3.4 видно, как концентрация U^{235} уменьшается в зависимости от времени работы, это происходит из-за выгорания урана. Концентрация всех изотопов плутония увеличивается за время работы, данную зависимость можно объяснить выгоранием урана и наработкой Pu, видно, что скорость выгорания U^{235} значительно выше образования всех изотопов плутония. Также из данной зависимости видно, что Pu^{239} нарабатывается больше всего, затем идут Pu^{240} и Pu^{241} .

Следующий модуль программы отвечает за расчёт отравления ЯР. Далее приведены зависимости, полученные с помощью разработанной программы. На рисунке 3.5 представлена зависимость концентрации ядер ксенона от времени работы реактора.

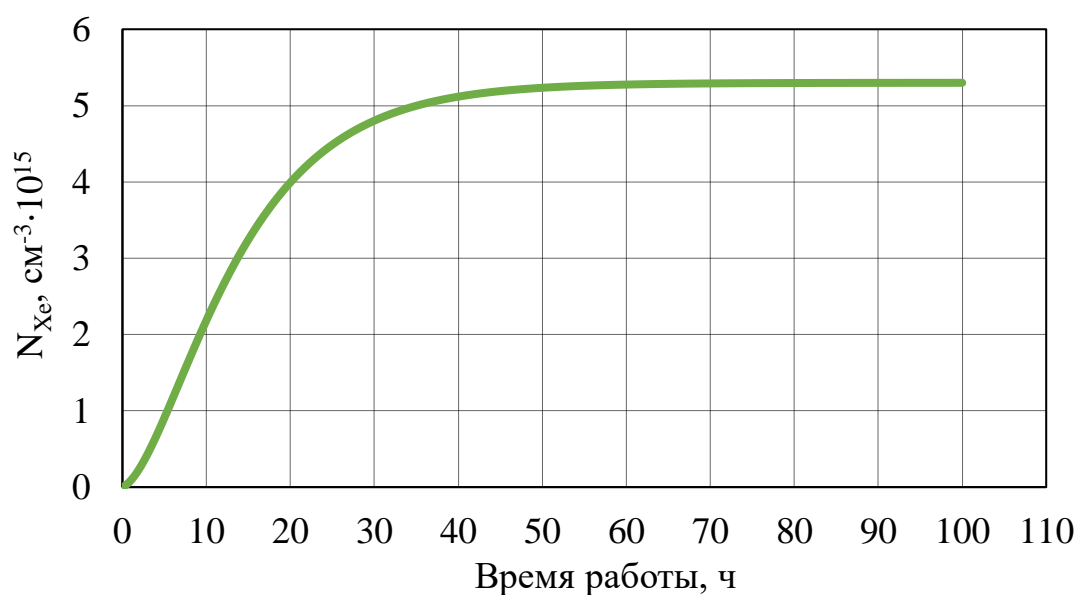


Рисунок 3.5 – Зависимость N_{Xe} от времени работы

На основе рисунка 3.5 можно сделать вывод, что концентрация ксенона достигает максимального значения и устанавливается на стационарном уровне после 45 часов.

Зависимость концентрации ядер самария от времени работы представлена на рисунке 3.6.

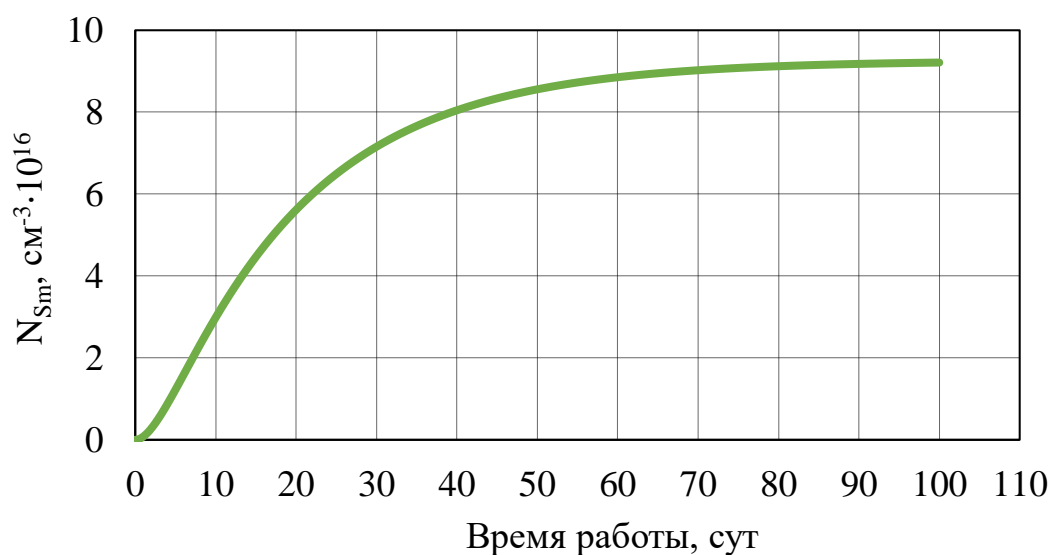


Рисунок 3.6 – Зависимость N_{Sm} от времени работы

На основе рисунка 3.6 можно сделать аналогичные выводы, концентрация самария устанавливается на стационарном уровне после 50 суток.

Так же в функционал программы была встроена возможность расчёта изменения реактивности после остановки ядерного реактора. На рисунке 3.7 продемонстрирована так называемая йодная яма.

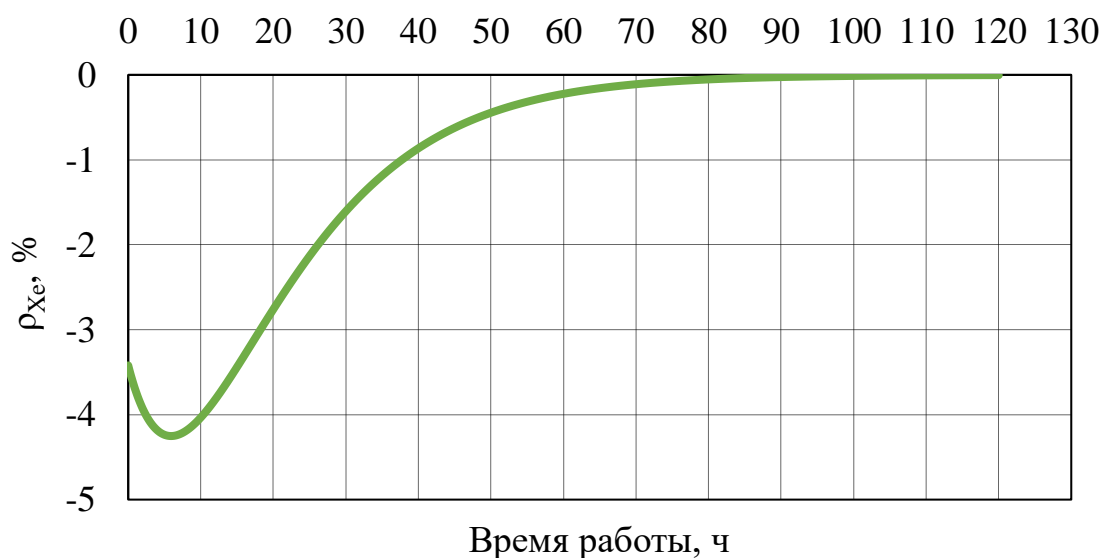


Рисунок 3.7 – Зависимость ρ_{Xe} от времени работы

В результате автоматически вычисляется длительность кампании, которая для данного реактора составила 4685 суток. Ниже приведён рисунок 3.8, на котором показана зависимость запаса реактивности реактора от времени.

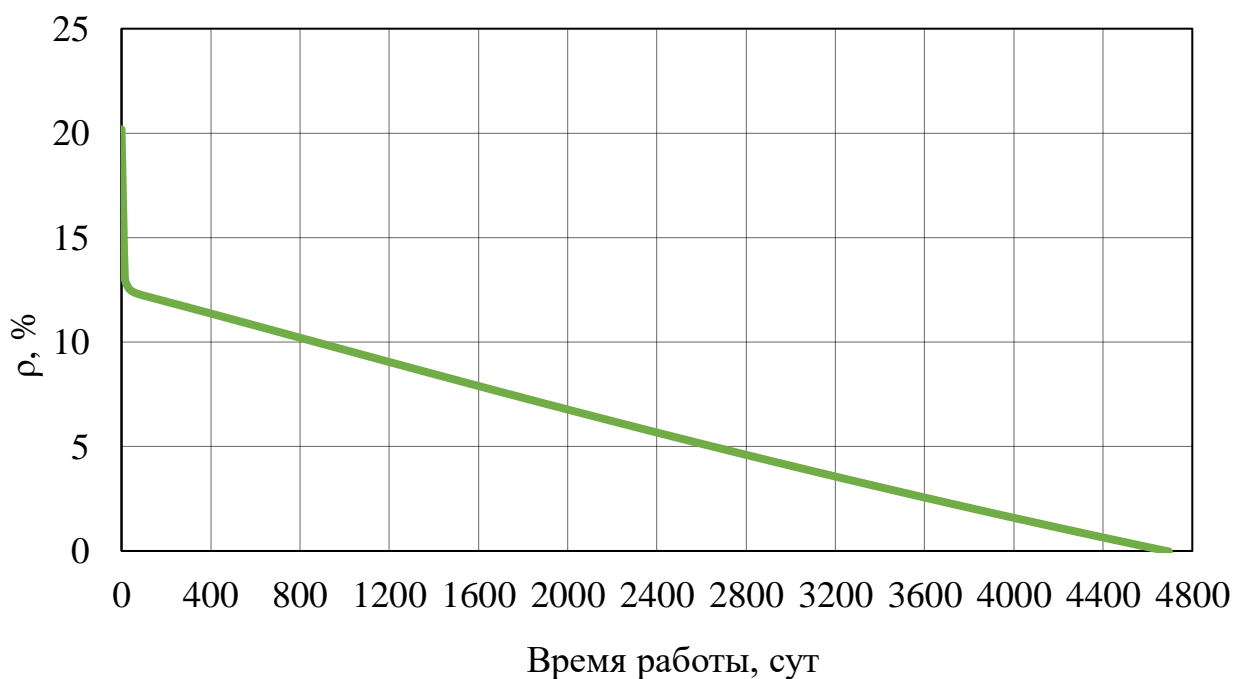


Рисунок 3.8 – Зависимость запаса реактивности реактора от времени работы

3.4 Оптимизация ячейки

Отдельного модуля для проведения оптимизации программа не имеет, однако, её можно довольно быстро провести с помощью имеющегося функционала. Согласно книге [6] под оптимизацией ячейки в реакторах большого размера подразумевается – максимум k_{∞} .

Для оптимизации было выбрано два параметра: шаг расстановки ТВЭЛ и среднее объёмное энерговыделение. При оптимизации по первому параметру $h_{\text{ТВЭЛ}}$ варьировался с шагом 0,1 см при неизменных остальных параметрах, результаты оптимизации представлены на рисунке 3.9.

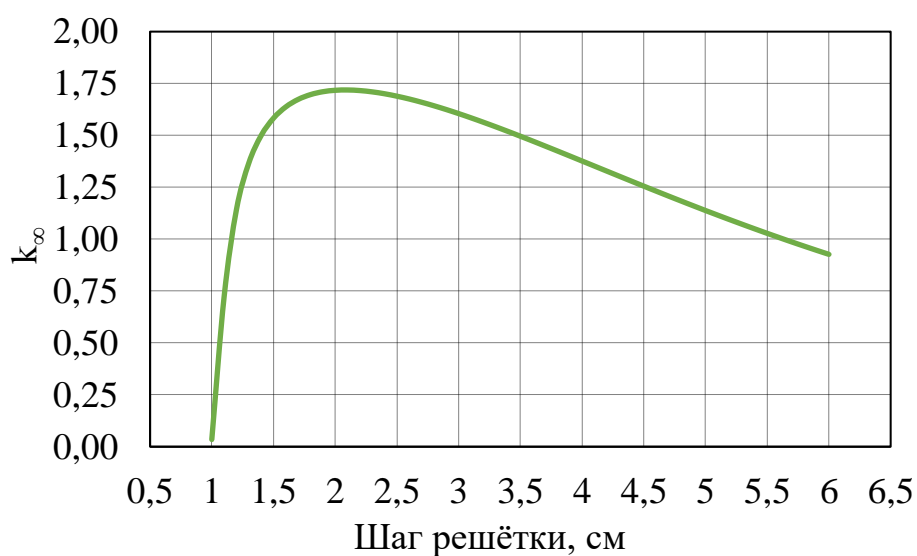


Рисунок 3.9 – Зависимость k_{∞} от $h_{\text{ТВЭЛ}}$

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что максимальное значение k_{∞} достигается при значении $h_{\text{ТВЭЛ}}$ приблизительно равным 2,1 см. Данную зависимость можно объяснить внутренним и внешним блок эффектами. Дальнейшая оптимизация ячейки проводилась при полученном ранее значении $h_{\text{ТВЭЛ}}$.

При оптимизации по второму параметру N_0 варьировался с шагом 1 кВт/л при неизменных остальных параметрах, полученная зависимость представлена на рисунке 3.10.

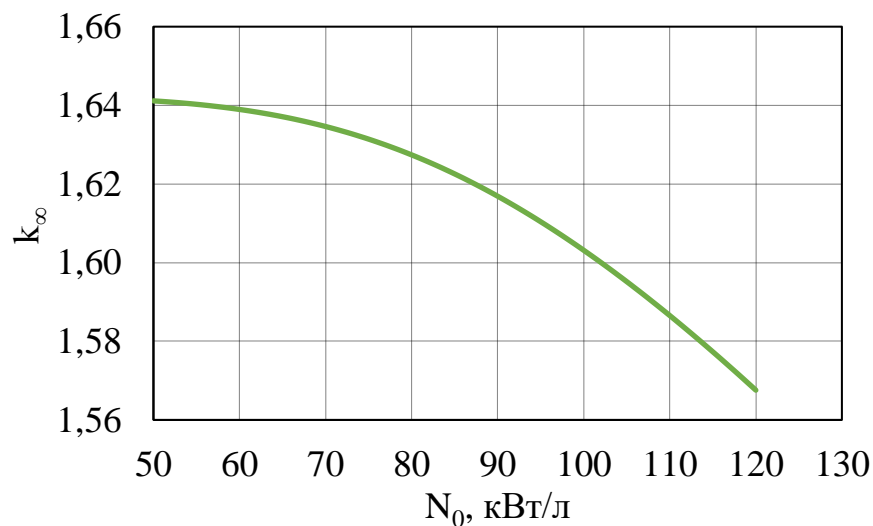


Рисунок 3.10 – Зависимость k_∞ от N_0

Из данного рисунка видно, что при минимальном значении N_0 достигается максимальное значение параметра k_∞ . Данную зависимость можно объяснить тем, что объем активной зоны обратно пропорционален среднему объемному энерговыделению, а от объема активной зоны зависит количество загружаемого топлива.

Учитывая оптимальные параметры ячейки была пересчитана длительность кампании, на рисунке 3.11 представлено сравнение длительности кампании для начальных и оптимальных параметров.

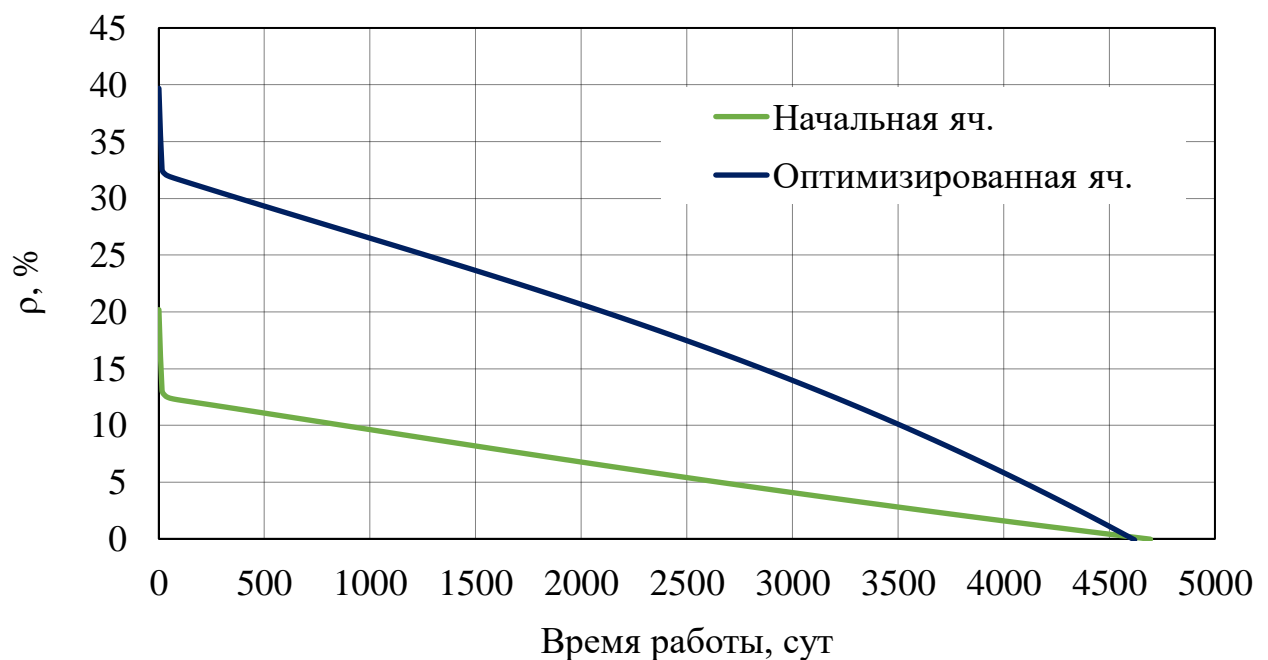


Рисунок 3.11 – Зависимость запаса реактивности реактора от времени работы

Видно, что длительность кампании для оптимальных параметров ячейки сократилась и составила 4605 суток, что на 80 суток меньше, чем длительность кампании для начальных параметров. Из данной тенденции видно, что оптимизация параметров ячейки путём максимизации коэффициента размножения в бесконечной среде не всегда является универсальной. Под определённые задачи необходимо подбирать определённые параметры.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательская работа требует важного в современном мире экономического аспекта исследования всех её элементов: как объекта исследования, так и методов, которые для этого используются. Таким образом, целью данного раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести SWOT-анализ;
- провести планирование научно-исследовательской работы;
- произвести расчёт бюджета научно-исследовательской работы.

4.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Данный пункт представляет собой полный перечень проводимых работ, где определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным достаточно объективным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные сведения о выполнении данной работы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%

Продолжение таблицы 4.1

Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Выбор исходных параметров	НР, И	НР – 100% И – 70%
Изучение Wolfram Language	НР, И	НР – 100% И – 80%
Написание скрипта	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Таким образом, из представленной выше таблицы видно, что роль научного руководителя в ходе выполнения всех видов работ сводится к направляющей и контролирующей функциям, когда как инженер является исполнительным звеном – он выполняет все поставленные задачи для достижения установленной цели.

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Продолжительность этапов работ могут быть рассчитаны следующими двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый метод подразумевает наличие и использование соответствующей нормативной базы трудоёмкости всех применяемых в работе процессов, так как они по своей природе являются повторяющимися с достаточно высокой частотой при условии стандартной, устойчивой обстановки. В связи с тем, что подобными нормативами исполнитель не обладает в виду нестандартности и неравномерности распределения рабочих усилий применяется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Способ с применением достаточно актуальных, как с точки зрения времени, так и со стороны реальной применимости аналогов к разрабатываемой НИР имеет ряд преимуществ: он относительно прост в исполнении и не сопряжён с большим количеством затрат. Однако на практике он может быть слишком локальным и применяться только для отдельных элементов – невозможно найти абсолютно идентичных работ.

Второй способ – экспертный – применим в ситуации, когда аналоги выполняемой НИР отсутствуют. Он предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию.

Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ОЖ}$ может применяться одна из двух формул.

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}; \quad (4.1)$$

$$t_{ОЖ} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6}, \quad (4.2)$$

где t_{\min} – минимальная продолжительность работы, сут.; t_{\max} – максимальная продолжительность работы, сут.; t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, сут.

Как видно из самой конструкции формул, вторая требует большего анализа каждого из элементов работы и вероятностной оценки их продолжительности, что, очевидно, усложняет все

Для выполнения перечисленных в таблице 4.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчёт продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.3)$$

где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;
 $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчёт продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни; $T_{\text{вд}}$ – выходные дни; $T_{\text{пд}}$ – праздничные дни.

При учёте, что $T_{\text{кал}} = 365$, $T_{\text{вд}} = 52$, $T_{\text{пд}} = 10$.

В приложении В приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоёмкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 3.1. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоёмкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_{\text{д}} = 1,15$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot K_{\text{д}}$. Столбцы 8 и 9 – трудоёмкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{\text{к}} = 1,212$.

Таким образом, итог по столбцу 5 даёт общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоёмкости для каждого из участников проекта. Величины трудоёмкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленный в приложении Г.

4.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Современные мировые тенденции определяют вектор развития любой технологической, научной и прочих отраслей. Особенно сильно поднимается вопрос о необходимости планирования и организации всех проводимых работ, а именно – с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Таким образом, существует потребность в определении затрат на проведение научно-исследовательских работ и их продолжительности, что, в свою очередь, определяет экономическую эффективность и конкурентоспособность написанного программного кода для расчёта ядерных реакторов.

Написанный программный код позволяет существенно экономить время на проведение оценочных расчётов ядерных реакторов, а также позволяет производить физическое обоснование конструкции и определять совокупность физических параметров реактора, удовлетворяющих поставленным требованиям. Потенциальные потребители для данного проекта:

- возможное интегрирование программы в учебный процесс Томского Политехнического университета для проведения лабораторных работ и написания курсовых проектов;
- при успешном внедрении программы в учебный процесс ТПУ, возможно интегрирование в обучение других вузов таких как: МИФИ, СПбПУ, СевГУ;
- использование на специализированных предприятиях, для проведения оценочных расчётов.

4.3 Анализ конкурентных технических решений

Выполнение представленной работы основывается на рассмотрении написанного программного кода. Конкурентами данной программы будут являться все программы, предназначенные для расчёта ядерных реакторов. Для сравнения выбраны наиболее известные программы: WIMS и MCU.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.5)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. В таблице 4.2 представлена оценочная карта конкурентоспособности различных характеристик, упомянутых реакторов, где B_A – разработанная программа, B_M – MCU, B_W – WIMS.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_A	B_M	B_W	K_A	K_M	K_W
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Эргономичность	0,15	5	1	3	0,75	0,15	0,45
2. Скорость расчёта	0,20	5	2	4	1,00	0,40	0,80
3. Точность	0,20	2	5	4	0,40	1,00	0,80
4. Функциональность	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,60
5. Надёжность	0,10	3	3	2	0,30	0,30	0,20
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость разработки	0,04	4	3	2	0,16	0,12	0,08
2. Стоимость лицензии	0,10	5	1	5	0,50	0,10	0,50
3. Конкурентоспособность продукта	0,04	3	4	4	0,12	0,16	0,16
4. Степень готовности к реализации	0,02	3	5	5	0,06	0,10	0,10
Итого	1	33	29	33	3,74	3,08	3,69

Таким образом, предоставленные выше данные позволяют провести анализ конкурентоспособности программного обеспечения, представленного в данной работе. На основе данных полученных в таблице 4.2 можно сделать вывод о том, что разработанная программа является перспективной и конкурентоспособной.

4.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ любого научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильными сторонами могут являться факторы, которые отражают наиболее конкурентоспособную сторону разработанной программы.

Сильными сторонами данной программы можно назвать следующие свойства и особенности:

- скорость расчёта;
- эргономичность;
- функциональность.

Слабыми сторонами считаются те особенности рассматриваемой программы, которые могут осложнить её эксплуатацию, либо не удовлетворить поставленным задачам пользователя. Слабыми сторонами рассматриваемой программы можно назвать следующие свойства и особенности:

- точность, подходящая только для оценочного расчёта;
- возможные ошибки, при неправильных исходных данных;
- невозможность расчёта реакторов на быстрых нейтронах.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям программы можно отнести:

- физическое обоснование конструкции ядерного реактора;
- определение физических параметров ядерного реактора.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях программного обеспечения для расчёта ядерных реакторов.

К угрозам по отношению к рассматриваемому программе можно отнести:

- появление более совершенной программы, способной рассчитывать быстрые реакторы;
- отсутствие инвестиций в строительство реакторов на тепловых нейтронах.

В таблице 4.3 представлен SWOT-анализ в табличном виде.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1. Скорость расчёта. С2. Эргономичность. С3. Функциональность.	Слабые стороны: Сл1. Точность, подходящая только для оценочного расчёта. Сл2. Возможные ошибки, при неправильных исходных данных. Сл3. Невозможность расчёта реакторов на быстрых нейтронах.
Возможности: В1. Физическое обоснование конструкции ядерного реактора. В2. Определение физических параметров ядерного реактора.	1. Проведение быстрых оценочных расчётов. 2. Обоснование новых конструкционных материалов и теплоносителей. 3. Использование данной программы в учебном процессе университетов	1. В качестве топлива может использоваться только U^{235} с различной степенью обогащения.
Угрозы: У1. Появление более совершенной программы, способной рассчитывать быстрые реакторы. У2. Отсутствие инвестиций в строительство реакторов на тепловых нейтронах.	1. Необходимо постоянное совершенствование программного кода, расширяющего функционал.	1. Несмотря на широкий функционал программы, отсутствует возможность расчёта реакторов на быстрых нейтронах

Таким образом, проведённый SWOT-анализ позволяет с достаточной для данной работы точностью определять дальнейшее положение рассматриваемого объекта на соответствующем рынке. Разработанная программа в связи с широким функционалом имеет достаточно устойчивые перспективы для использования в учебном процессе. Однако для интегрирования разработанной программы в учебный план, необходимо расширение функционала.

4.5 Расчёт накопления готовности проекта

Текущее состояние работы над проектом нуждается в оценке для точного понимания всех затраченных усилий. Получаемые по итогу подобной оценки

величины отображают количество процентов, на которое выполнен весь объём работ по проекту в целом по окончании текущего (i -го) этапа.

Введём некоторые обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоёмкость проекта;
- $TP_i (TP_k)$ – трудоёмкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоёмкость i -го этапа проекта по его завершении;

- $TP_{ij} (TP_{kj})$ – трудоёмкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (4.6):

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (4.6)$$

Применительно к таблице, представленной в приложении В, величины $TP_{ij} (TP_{kj})$ находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). Величина $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка задачи	3,74	3,74
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	7,05	10,79
Подбор и изучение материалов по тематике	14,57	25,36
Разработка календарного плана	4,11	29,47
Обсуждение литературы	4,48	33,94
Выбор исходных параметров	12,69	46,64
Изучение Wolfram Language	17,08	83,87
Написание скрипта	20,16	66,80

Продолжение таблицы 4.4

Оформление расчетно-пояснительной записки	6,40	90,28
Оформление графического материала	3,74	94,01
Подведение итогов	5,99	100,00

Очевидно, что наибольшее количество трудозатрат приложено на этапах подбора и изучения материала по тематике, изучение Wolfram Language и при написании скрипта, тогда как этапы, включающие подбор и оформление различного рода документов, подготовку необходимой базы для проведения практических изысканий по отдельности потребовали меньше времени и сил.

4.6 Расчёт сметы на выполнение проекта

Смета на выполнение данного исследования содержит все расходы, необходимые для осуществления комплекса работ, необходимых для реализации всего спектра поставленных перед проектом задач. Расчёт полной стоимости исследования производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.6.1 Расчёт затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых

непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает, так называемые, транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Приблизённо они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	260	1 уп.	260
Картридж для принтера	1040	1 шт.	1040
Итого:			1300

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{МАТ}} = 1300 \cdot 1,05 = 1365. \quad (4.7)$$

4.6.2 Расчёт заработной платы

Данная статья расходов подразумевает суммарную заработную плату научного руководителя и инженера (исполнителя), с учётом входящих в фонд заработной платы различных премий. Основная заработная плата рассчитывается, опираясь на трудоёмкость выполнения каждого этапа и на величину месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}, \quad (4.8)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей недели.

Пример расчёта затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из приложения В. Учёт всевозможных премий и районной надбавки осуществляется путём использования ряда коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{Доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{Р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{Доп.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}}; \quad (4.9)$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699. \quad (4.10)$$

Таблица 4.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{И}}$	Фон з/п, руб.
НР	35120	1400,15	17	1,699	40440,58
И	12130	483,59	26	1,699	21362,30
Итого:					60802,88

4.6.3 Расчёт затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование согласно ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,302; \quad (4.11)$$

$$C_{\text{соц}} = 60802,88 \cdot 0,302 = 18664,47. \quad (4.12)$$

Данные взносы идут в Фонд государственного социального страхования (ФСС), Пенсионный фонд (ПФ) и Фонд медицинского страхования (ФФОМС).

4.6.4 Расчёт затрат на электроэнергию

Данные расходы подразумевают затраты на то количество электроэнергии, которая потрачена для выполнения всего проекта, то есть на работу используемого оборудования. Они рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.13)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·ч; $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования рассчитывается на основе суммарной трудоёмкости работ из приложения В для исполнителя ($T_{\text{рд}}$) при условии, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (4.14)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c, \quad (4.15)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт; $K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Расчёт затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	208	0,3	358,68
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			332,25

4.6.5 Расчёт амортизационных расходов

Данная статья подразумевает расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (4.16)$$

где $H_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;
 $C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;
 $F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году; $t_{\text{ОБ}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;
 n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2020 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, $F_{\text{Д}}$ равен:

$$F_{\text{Д}} = 298 \cdot 8 = 2384. \quad (4.17)$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

$H_{\text{А}}$ определяется как величина обратная $C_{\text{А}}$, в данном случае это:

$$H_{\text{А}} = \frac{1}{2,5} = 0,4. \quad (4.18)$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 208 \cdot 100000 \cdot 1}{2384} = 3489,93. \quad (4.19)$$

4.6.6 Расчёт прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражаются расходы на выполнение проекта, которые не могут быть учтены в предыдущих статьях или же которые не могут быть предвидены. Их следует принимать равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{АМ}) \cdot 0,1. \quad (4.20)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{ПРОЧ} = (1365 + 56760,68 + 15382,14 + 332,23 + 3758,39) \cdot 0,1 = 7569,58. \quad (4.21)$$

4.6.7 Расчёт суммарной себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Разработка программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах» (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма	
		, руб.	, %
Материалы и покупные изделия	$C_{МАТ}$	1365,00	1,48
Основная заработная плата	$C_{ЗП}$	60802,88	65,93
Страховые взносы	$C_{СОЦ}$	18664,47	20,24
Расходы на электроэнергию	$C_{ЭЛ.ОБ}$	332,25	0,36
Амортизационные отчисления	$C_{АМ}$	3489,93	3,78
Прочие расходы	$C_{ПРОЧ}$	7569,58	8,21
Итого:		92224,11	100

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 92224,11$ руб. Проведение анализа вклада каждой из статей в суммарные затраты на работу выявило, что основной вклад вносят отчисления на заработную плату участников проекта, когда как расходы на материалы и обеспечение электроэнергией практически не повлияли на финальную величину.

4.6.8 Расчёт прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20% от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2; \quad (4.22)$$

$$G = 92224,11 \cdot 0,2 = 18444,82. \quad (4.23)$$

4.6.9 Расчёт НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2; \quad (4.24)$$

$$\text{НДС} = (92224,11 + 18444,82) \cdot 0,2 = 22133,79. \quad (4.25)$$

4.6.10 Цена разработки проекта

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$\Pi_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (4.26)$$

$$\Pi_{\text{НИР}} = 92224,11 + 18444,82 + 22133,79 = 132802,72. \quad (4.27)$$

5 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 26000-2012 под социальной ответственностью понимается ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое [8]:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения;
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях.

Объектом исследования данного раздела является работа по разработке программного обеспечения для нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов на тепловых нейтронах.

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов, влияющих на исполнителя расчёта и обоснование мер защиты от них. В разделе также рассматриваются вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях и мер по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, правовые и организационные вопросы обеспечения экологической безопасности, анализ факторов, влияющих на обеспечение экологической безопасности.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Проведение нейтронно-физического расчёта требует длительной работы с ПВЭМ. В данном пункте будут рассмотрены основные правовые и

организационные вопросы обеспечения безопасности, которые могут возникнуть при работе с ПВЭМ.

Основным документом, регламентирующим работы с ПВЭМ, является СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Для обеспечения безопасности, к помещениям для работы с ПВЭМ предъявляются следующие основные требования [9]:

- не допускается размещение мест пользователей ПЭВМ во всех образовательных и культурно-развлекательных учреждениях для детей и подростков в цокольных и подвальных помещениях;
- полимерные материалы используются для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ при наличии санитарно-эпидемиологического заключения;
- помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации;
- не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ.

Для обеспечения пожарной безопасности при работе с ПВЭМ необходимо [15]:

- обеспечить содержание здания и работоспособность средств его противопожарной защиты в соответствии с требованиями проектной и технической документации на них;
- обеспечить выполнение правил пожарной безопасности, утвержденных в установленном порядке;
- обеспечить инструктаж персонала о требованиях пожарной безопасности, путях эвакуации и эвакуационных выходах.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе разработки ПО

Разработка программного обеспечения производится с использованием ПЭВМ. В данном пункте представлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе разработки ПО, а также обоснование источников возникновения таких факторов и характер их воздействия на организм человека.

Неблагоприятные производственные факторы по результирующему воздействию на организм работающего человека подразделяют [7]:

- на вредные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;
- опасные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной.

В таблице 5.1 представлены основные вредные и опасные производственные факторы, связанные с ПЭВМ.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Электрический ток	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
2. Электромагнитное излучение	СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
2. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. Превышение уровня шума	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
5. Психофизиологические факторы	ГОСТ 12.0.003-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях [13]:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта аппаратуры;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Действие электрического тока на живую ткань в отличие от других материальных факторов носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм, электрический ток производит, термическое, электролитическое и биологическое действия. Термическое действие проявляется в нагреве тканей вплоть до ожогов отдельных участков тела, перегрева кровеносных сосудов и крови, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства. Электролитическое действие вызывает разложение крови и плазмы – значительные нарушения их физико-химических составов и ткани в целом. Биологическое действие выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе мышц сердца и легких.

Воздействие электромагнитных излучений на организм человека приводит к нарушению нервной и сердечно-сосудистой систем, к изменениям в составе крови. Предельно допустимый уровень электромагнитных полей на рабочих местах пользователей ПЭВМ представлен в таблице 5.2 [17].

Таблица 5.2 – ПДУ электромагнитных полей при работе с ПЭВМ

Нормируемые параметры		ПДУ
Напряжённость электрического поля	$5 \text{ Гц} \leq 2 \text{ кГц}$	25 В/м

Продолжение таблицы 5.2

	$2 \text{ кГц} \leq 400 \text{ кГц}$	2,5 В/м
Напряжённость магнитного поля	$5 \text{ Гц} \leq 2 \text{ кГц}$	250 нТл
	$2 \text{ кГц} \leq 400 \text{ кГц}$	25 нТл
Плотность потока энергии	$300 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$	10 мкВт/см^2
Напряжённость электростатического поля		15 кВ/м

Основными показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха [13].

Отклонение показателей от оптимальных значений может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции и ухудшению самочувствия. Оптимальные величины показателей микроклимата производственных помещений при работе на ПЭВМ приведены в таблице 5.3 [13].

Таблица 5.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	60-40	0,1
Теплый	23-25	60-40	0,1

Шум при работе с ПЭВМ может возникнуть как при работе самой ПЭВМ непосредственно, так и ввиду наличия других шумных приборов в помещении с ПЭВМ. Шум с уровнем звукового давления до 35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40 дБ создаёт значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшения самочувствия, а при длительном действии может быть причиной нервов. Воздействие шума уровнем свыше 80дБ может привести к потере слуха или профессиональной глухости. При действии уровней свыше 140 дБ возможен разрыв барабанных перепонки,

контузия, а при уровне более 160 дБ наступает летальный исход. Допустимые значения уровней звукового давления приведены в таблице 5.4 [10].

Таблица 5.4 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

При недостаточном освещении может возникать дополнительная нагрузка на зрительный анализатор, что приводит к ухудшению самочувствия исполнителя и может привести к ухудшению качества зрения.

Основные требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, следующие [9]:

- освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк (не допустимы блики на поверхности экрана);
- яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м²;
- яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека, подразделяют:

- на физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;
- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.

В ходе проведения расчёта исполнитель испытывает в основном нервно-психические перегрузки:

- на умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой;

- перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- монотонность труда.

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Всю совокупность мер и способов защиты от поражения электрическим током можно разделить на две основные группы: организационные и технические. Организационные меры защиты от поражения электрическим током при работе с ПВЭМ включают:

- назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производства работ;
- обучение персонала правилам производства работ и эксплуатации электротехнического оборудования;
- проведение инструктажей перед началом работ с электроустановками;
- организация надзора за проведением работ;
- установление рациональных режимов труда и отдыха;
- применение средств индивидуальной защиты, предупреждающих плакатов и знаков безопасности в соответствии с требованиями;
- изолирование и ограждение токоведущих частей электрооборудования.

К техническим мерам защиты от поражения электрическим током при работе с ПЭВМ включают:

- электрическое разделение сети;
- применение защитного заземления, зануления; контроль и профилактика изоляции;
- защитное отключение.

Для защиты от электромагнитного излучения можно сократить расстояние до источника, от ПЭВМ достаточно отстраниться на 20-30 см.

Существует ещё один вариант минимизации электромагнитного излучения – снизить время пребывания рядом с ПЭВМ, проводя за экраном монитора не несколько часов, а по 30-40 минут, делая перерывы [18].

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Обще обменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования. В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели. Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп [9].

Для снижения воздействия психофизиологических факторов необходимо организовать и соблюдать правильный режим труда и отдыха, а также организовать правильную компоновку рабочего места. Организация и оборудование рабочих мест с ПВЭМ имеет ряд требований [9]:

- высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм, а при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;

- рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм;

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать [9]:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15° и назад до 5°;

- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;

- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;

- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм;

- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.

Рабочее место пользователя ПВЭМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности

подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

5.3 Экологическая безопасность

С середины 1990-х годов продукты электроники становятся общепризнанным доминирующим компонентом в общем потоке твердых отходов. Это связано с тем, что потребление небольших электронных устройств типа сотовых телефонов стало повсеместным во всех развитых и развивающихся странах. В отсутствие адекватной государственной политики по переработке таких отходов, из-за малого размера, короткого срока жизни и высокой стоимости их переработки такие изделия люди обычно выбрасывают, не задумываясь по поводу негативного воздействия их на окружающую среду и здоровье сограждан. Разрушающиеся на свалках электронные продукты и их компоненты (полупроводниковые чипы, компьютерные клавиатуры, мониторы, устройства хранения информации) становятся источниками поступающих в окружающую среду тысячи различных материалов, включая растворы хлорированных веществ, бромированные препараты-гасители пламени, поливинилхлориды, тяжелые металлы, пластики, газы [16]. Одна только электронно-лучевая трубка может содержать от одного до трех килограммов свинца. В большом телевизионном мониторе его окажется еще больше. Плоские мониторы содержат меньше свинца, но больше ртути. Примерно 40 % тяжелых металлов, включая свинец, ртуть и кадмий, обнаруживаемых в окружающей среде, обязано своим присутствием выбрасываемым и попадающим на свалки электронным изделиям [14]. При сжигании отходов на открытых полигонах возникает особая проблема образования токсичных продуктов горения. Это относится, в частности, к пластмассам, используемым при изготовлении электронных средств. В этом случае характерно образование чрезвычайно

опасных химических веществ – диоксинов. Особую опасность представляют PBDE, которые интенсивно выделяются в процессе горения пластмасс. Сейчас эти вещества запрещены к использованию, хотя в изделиях, произведенных до 2004 г., они содержатся в достаточно высоких количествах.

Значительные экологические и экономические выгоды сулит переработка отходов электронной промышленности и повторное их использование. Она должна осуществляться путем разделения отходов на отдельные однородные компоненты, выделения химическими методами ценных для дальнейшего использования компонентов, направления их для повторного использования. Многие страны предпринимают серьезные шаги в этом направлении, в первую очередь в области законодательства и регламентирования процессов утилизации и хранения отходов производства. В 2002 г. Европейским союзом был разработан совместный документ – директива № 2002/96 «Об отходах электрического и электронного оборудования», которая требует от всех европейских производителей оборудования и комплектующих брать на себя ответственность за производимый продукт после окончания срока его службы, включая стадии сбора, переработки и утилизации. В Великобритании ввели запрет на выброс отработанной радиоэлектроники на мусорные свалки. В США и в Европе существуют специальные рынки, где продаются демонтированные и восстановленные компоненты плат. В Германии фирма FUBA перевела на коммерческую основу выделение от 92 до 95 % металлов из отходов пустых печатных плат за счет использования механических и гидрометаллургических методов разделения [16].

При неправильной утилизации электроники происходят значительные загрязнения окружающей среды различными вредными веществами. Для снижения урона экологии необходимо обеспечить правильную утилизацию и переработку ПВЭМ и ВДТ.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке программного обеспечения для расчёта ядерных реакторов является пожар. Возможными причины загорания являются:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция, кабели.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные. Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [11].

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

принять меры в соответствии с инструкцией.

Заключение

В ходе данной выпускной квалификационной работы были изучены: методика расчёта реакторов на тепловых нейтронах, язык программирования Wolfram Language. В результате была написана программа для проведения оценочного расчёта параметров ядерного реактора и его кинетики, на основе пакета Wolfram Mathematica.

Написанная программа имеет модульную структуру, что позволяет проводить дальнейшую доработку более эффективно. Программа имеет 6 расчётных модулей, каждый из которых отвечает за определённый этап расчёта реактора. В данную программу добавлена библиотека констант БНАБ-81. Для удобства в программу был добавлен интуитивно понятный интерфейс. Модуль, отвечающий за интерфейс самостоятельно подгружает библиотеку констант и выполняет скрипты, в результате чего, производится нейтронно-физический расчёт реактора.

Для проверки работоспособности был произведён расчёт реактора типа ВВЭР, исходные данные необходимые для расчёта представлена в таблице 3.1. В результате были получены коэффициенты формулы четырёх сомножителей для «холодного» и «горячего» состояния реактора, которые представлены в таблицах 3.2 и 3.5 соответственно. Также рассчитаны k_{∞} и $k_{эф}$ для «холодного» и «горячего» состояния. Затем была рассчитана кинетика реактора, а именно отравление реактора, изменение нуклидного состава топлива с учётом выгорания и длительность кампании, которая составила 4685 суток.

С помощью программы была проведена оптимизация ячейки по параметрам: шаг расстановки ТВЭЛ и среднее объёмное энерговыделение, затем был проведён пересчёт длительности кампании, она сократилась на 80 дней для оптимальных параметров ячейки в сравнении с начальными параметрами.

– Определение сильных и слабых сторон разработанной программы – показало, что данное ПО имеет много перспектив для интегрирования в учебный

процесс университетов. Однако для внедрения разработанной программы в учебный план, необходимо расширение функционала.

- Бюджет научно-технического исследования составил 132802,72 руб.
- Основные вредные и опасные производственные факторы, связанные с ПЭВМ представлены в таблице 4.1.
- Наиболее вероятная ЧС – пожар.

Список использованных источников

- 1 Бойко В. и др. Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах. – 2009.
- 2 Мантуров Г. Н. МЕТОДИЧЕСКОЕ–КОНСТАНТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ И ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАСЧЕТНЫХ ПРЕДСКАЗАНИЙ: дис. – Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Обнинск. – АО «ГНЦ РФ-ФЭИ, 2017.
- 3 Wolfram Mathematica. Электронный ресурс: [<http://www.wolfram.com>]. Режим доступа: <http://www.wolfram.com/mathematica/index.ru.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 10.04.2020).
- 4 Богданов А. Пакет Mathematica для инженерных вычислений. Часть 1. – 2008.
- 5 Абагян Л. П. и др. Групповые константы для расчета реакторов и защиты // М.: Энергоиздат. – 1981. – С. 232.
- 6 Ганев И. Х., Доллежалъ Н. А. Физика и расчет реактора // Учебное пособие для вузов. М. – 1992.
- 7 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 8 ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.
- 9 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
- 10 СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
- 11 СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 6 с.

12 ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

13 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

14 Аксенова О.В., Гузенкова А.С., Нерето М.О., Тумковский С.Р. Экологические проблемы электронной отрасли и экопроектирование. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014, 4, 137.

15 СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2).

16 Баранов О. Ю., Барашков В. А. Экологические проблемы производства и утилизации электронных средств //ISBN 978-5-7638-2687-6© Сибирский федеральный университет, 2014© Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ, 2014. – 2014. – С. 497.

17 СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

18 Защита от ионизирующего излучения Электронный ресурс // ASUTPP: [https://www.protrud.com/]. – 2020. Режим доступа: https://www.protrud.com/обучение/учебный-курс/защита-от-ионизирующего-излучения/, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 23.05.2020).

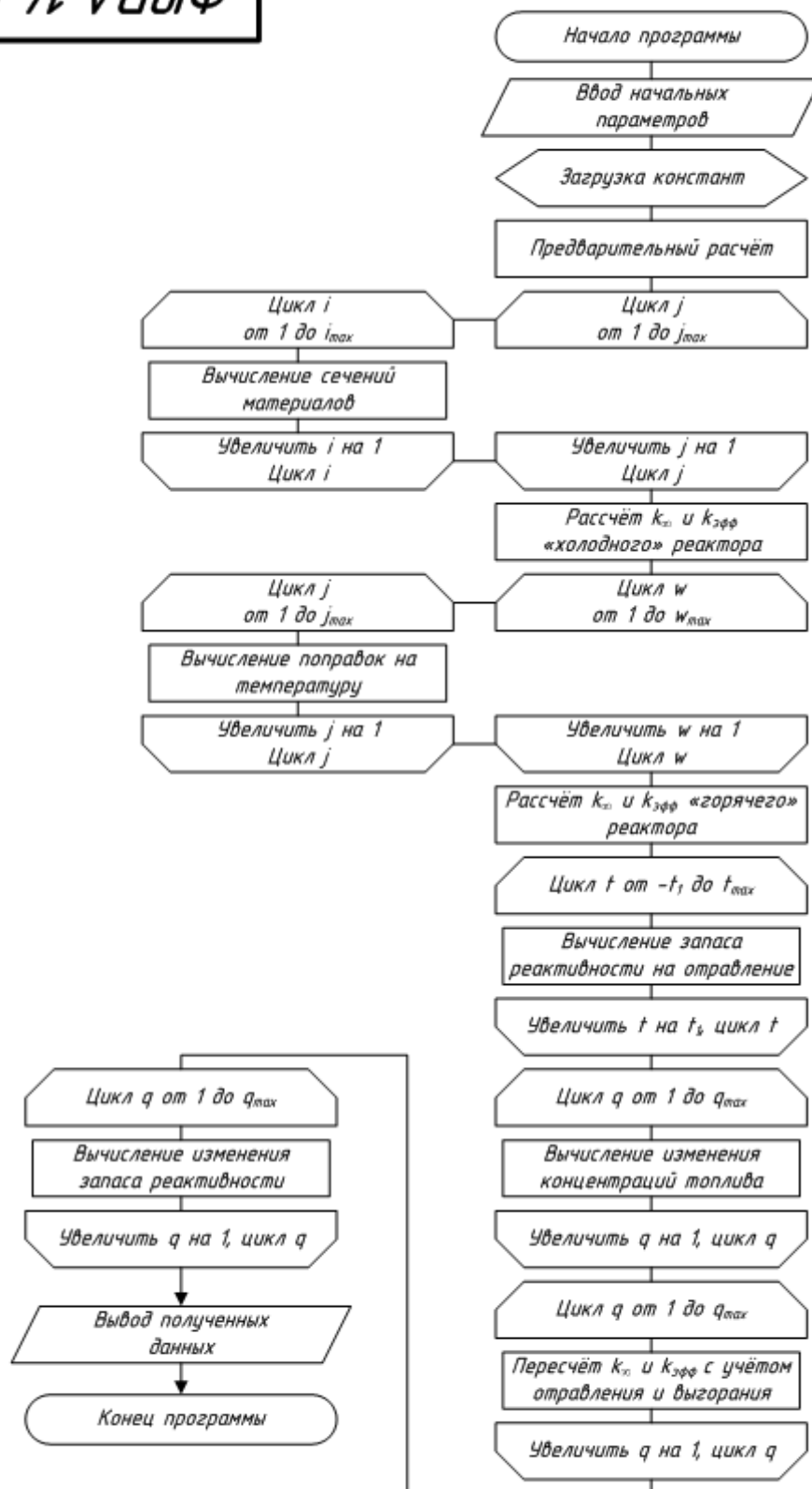
19 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова и др. – Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

Приложение А

(Обязательное)

Код исполнительного файла

```
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Параметры реактора.nb"]];  
(*Считываем параметры реактора из задания*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Ядерные константы.nb"]];  
(*Считываем библиотеку ядерных констант*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Предварительный  
расчёт.nb"]];  
(*Подпрограмма для предварительного расчёта*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Холодный реактор.nb"]];  
(*Подпрограмма для расчёта холодного состояния реактора*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Горячий реактор.nb"]];  
(*Подпрограмма для расчёта горячего состояния реактора*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Отравление.nb"]];  
(*Подпрограмма для расчёта отравления реактора*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Выгорание.nb"]];  
(*Подпрограмма для расчёта выгорания топлива*)  
NotebookEvaluate[StringJoin[NotebookDirectory[], "Кампания.nb"]];  
(*Подпрограмма для расчёта длительности кампании*)
```


[illegible]

						ФЮРА.14.04.02.035				
						Приложение Б Блок-схема программы	Лист		Масса	Масшт
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	У					
Разраб.	Храпов А.А									
Пров.	Кузнецов М.С.									
						Лист 1		Листов 1		
						ТПУ ИЯТШ Группа ОА6В				

Приложение В

(обязательное)

Таблица В.1 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,61	0	1,95	0
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,40	2,76	0,28	3,35	0,34
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	3	6	4,20	1,45	4,83	1,76	5,85
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,40	1,61	0,16	1,95	0,19
Обсуждение литературы	НР, И	1	2	1,40	0,32	1,61	0,58	1,95
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2	4	2,80	3,22	2,25	3,90	2,73
Изучение Wolfram Language	НР, И	3	6	4,2	4,83	3,86	5,85	4,68
Написание скрипта	И	4	10	6,40	0	7,36	0	8,92
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	2	3	2,40	0	2,76	0	3,35
Оформление графического материала	И	1	2	1,40	0	1,61	0	1,95
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	0,97	1,61	1,18	1,95
Итого:				29,40	16,93	26,33	20,52	31,91

Приложение Г

(обязательное)

Таблица Г.1 – Линейный график работы

Этап	НР	И	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
1	1,95	0														
2	3,35	0,34														
3	1,76	5,85														
4	1,95	0,19														
5	0,58	1,95														
6	3,90	2,73														
7	5,85	4,68														
8	0	8,92														
9	0	3,35														
10	0	1,95														
11	1,18	1,95														

НР – ; И –