

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Ядерно–топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование теплофизических свойств топлива со сложной гетерогенной структурой УДК 621.039.54:536.45.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Алексеев Никита Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Беденко С.В.	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В.Ю.	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
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (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 достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно–управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально–значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Код результата	Результат обучения (компетенции)
Р8	<p>Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и 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).</p>
Р9	<p>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.</p>
Р10	<p>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.</p>
Р11	<p>Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.</p>

Код результата	Результат обучения (компетенции)
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 науки и высшего образования 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) Ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Бычков П.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А5В	Алексееву Никите Витальевичу

Тема работы:

Исследование теплофизических свойств топлива со сложной гетерогенной структурой	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1550/с от 27.02.19

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none">– Дисперсионное топливо, доля топливной фазы: 10 – 20 %. Материалы: матрица – графит; керн – оксид ториево – плутониевой смеси; первый слой – пиролитический графит; внешний слой – карбосилицид титана.– Плазмохимический композит, доля топливной фазы: 5 – 95 %, материалы: матрица – оксид бериллия или оксид магния, частицы – оксид ториево – плутониевой смеси.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Определение теплофизических свойств дисперсионного топлива, с применением аналитических и вычислительных методов, в частности определение теплопроводности и температуры на поверхности таблетки.

Перечень графического материала	– Презентация, блок – схема алгоритма.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:

1 Введение
2 Предварительный расчет
3 Теплофизический расчет
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение
5 Социальная ответственность

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.04.19
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Беденко С.В.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Алексеев Н.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А5В	Алексееву Никите Витальевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Принять по действующим ценам
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Организация и планирование работ	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет продолжительности этапов работ; – Построение линейного графика работ; – Расчет накопления готовности проекта.
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	
3. Оценка экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный график работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.04.19
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Алексеев Н.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5В	Алексееву Никите Витальевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно– технический документ);
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.04.19
--	----------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Алексеев Н.В.		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 14.03.02. Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла

Период выполнения (весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.19
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.04.2019	<i>Выдача задания</i>	
25.04.2019	<i>Обзор литературы</i>	
03.05.2019	<i>Теплофизический расчет</i>	
15.05.2019	<i>Оформление квалификационной работы</i>	
17.05.2019	<i>Проверка результатов</i>	
04.06.2019	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Беденко С.В.			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 71 с., 16 рис., 13 табл., 36 источников, 2 прил.

Ключевые слова: высокотемпературный газоохлаждаемый реактор, дисперсионное топливо, плазмохимический синтез, теплопроводность, BISO частица, метод конечных элементов.

Объектом исследования является дисперсионное топливо, получаемое методом спекания и плазмохимическим синтезом.

Цель работы – аналитический обзор и исследование моделей, используемых для компьютерных расчетов коэффициента теплопроводности топливного компакта_высокотемпературной газоохлаждаемого реактора.

В процессе исследования проводились расчёты теплофизических характеристик дисперсионного топлива, на основании которых были получены таблицы и построены графики, а также начерчен чертёж; произведён расчёт финансовой составляющей работы, описаны внешние факторы, влиявшие на выполнение работы.

В результате исследования произведён теплофизический расчёт дисперсионного топлива, в частности рассмотрена зависимость теплопроводности от доли топливной фазы и проведен сравнительный анализ моделей теплопроводностей, показано распределение температуры в топливе.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: реактор типа ВТГР, тип топлива – дисперсионное, тип частиц – BISO, материал матрицы – графит, материал керна – оксидная смесь тория с плутонием.

Область применения: ядерная энергетика.

Перечень определений

Ядерный реактор: Устройство, предназначенное для реализации самоподдерживающейся цепной реакции деления, с выделением энергии.

Теплопроводность: Передача тепла в телах, не сопровождаемая перемещением составляющих их частиц.

Дисперсионное ядерное топливо: специальное вещество, однородное по составу, состоящие из двух или более фаз, одна из которых является ядерным топливом, а вторая неделящимся материалом.

Метод конечных элементов: Численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики.

Доля топливной фазы: отношение объема, занимаемого топливными частицами ко всему объему топливного компакта.

Обозначения и сокращения

ВТГР – высокотемпературный газоохлаждаемый реактор;

ВГТРУ – высокотемпературная газоохлаждаемой ториевая реакторная установка;

ЯТ – ядерное топливо;

ТЭС – теория эффективной среды;

МЭЯ – модель элементарной ячейки;

ПКМ – примитивная кубическая модель;

ОКМ – объемноцентрированная кубическая модель;

ГКМ – гранецентрированная кубическая модель;

МКЭ – метод конечных элементов;

ω – доля топливной фазы;

κ – коэффициент эффективной теплопроводности;

κ_m – коэффициент теплопроводности матрицы;

κ_p – коэффициент теплопроводности топливной фазы.

Содержание

Введение.....	16
1 Обзор литературы	18
1.1 Реакторные установка ВТГРУ	18
1.2 Дисперсионное топливо с BISO частицами	19
1.3 Плазмохимический компакт	20
2 Расчет теплофизических свойств топлива с BISO частицами.....	22
2.1 Свойства материалов таблетки.....	22
2.2 Аналитические модели	22
2.2.1 Модель Максвелла	23
2.2.2 Теория эффективной среды.....	23
2.2.3 Модифицированная модель Зенера Шлюндера.....	24
2.2.4 Модель Чью Гландта	24
2.3 Вычислительные модели.....	25
2.3.1 Модель элементарной ячейки.....	25
2.3.2 Случайная модель	30
2.4 Результаты теплофизического расчета	32
2.5 Гомогенизация частиц	33
3 Исследование теплофизических свойств плазмохимического компакта.....	35
3.1 Модель Лихтенеккера.....	35
3.2 Результаты теплофизического расчета	37
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
4.1 Организация и планирование работ	39
4.2 Продолжительность этапов работ	40
4.3 Расчет накопления готовности проекта	45

4.4 Расчет сметы на выполнение проекта.....	46
4.5 Расчет затрат на материалы	46
4.6 Расчет заработной платы	47
4.7 Расчет затрат на социальный налог.....	48
4.8 Расчет затрат на электроэнергию	49
4.9 Расчет амортизационных расходов	50
4.10 Расчет прочих расходов.....	51
4.11 Расчет общей себестоимости разработки	51
4.12 Расчет прибыли	52
4.13 Расчет НДС	52
4.14 Цена разработки ВКР.....	52
4.15 Оценка экономической эффективности проекта	52
5 Социальная ответственность	53
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	53
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней вредного воздействия и устранению его влияния при работе на ПЭВМ	54
5.2.1 Организационные мероприятия.....	55
5.2.2 Технические мероприятия.....	55
5.3 Условия безопасной работы.....	56
5.4 Электробезопасность	58
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	59
Заключение	62
Список публикаций студента.....	63
Список использованных источников	65
Приложение А	69

Приложение Б.....	71
-------------------	----

Введение

Эксплуатируемое сегодня в энергетических реакторах оксидное керамическое ядерное топливо обладает рядом недостатков [1], одним из потенциальных кандидатов топлива нового поколения является дисперсионное ядерное топливо [1-3]. Преимуществом дисперсионного топлива, в сравнении с традиционным оксидным топливом, является высокая теплопроводность, радиационная и термическая стойкость, повышенный ресурс эксплуатации и более глубокое выгорание делящегося изотопа. Самым распространенным видом дисперсионного ядерного топлива является микрокапсулированное топливо диспергированное в плотно-спеченную графитовую матрицу или матрицу, состоящую из карбида кремния. Данное топливо характеризуется отсутствием прямых контактов между сферическими частицами, обладает улучшенными механическими, теплофизическими и нейтронно-физическими свойствами, а существующие технологии производства позволяет изготавливать топливный компакт с долей топливной фазы $\omega = 37 - 40 \%$.

Общими недостатком технологий изготовления дисперсионного ядерного топлива являются: многостадийность, неравномерное распределение топливной фазы, необходимость использования большого количества химических реагентов, высокая энергоемкость производства. Новой и перспективной технологией изготовления дисперсионного ядерного топлива является плазмохимический синтез, который позволяет синтезировать топливный компакт с заданными физическими свойствами.

В настоящее время Томский политехнический университет проводит серию экспериментов [4,5] по созданию технологии изготовления ядерного топлива плазмохимическим методом для ядерных инновационных систем IV поколения. Преимущество разрабатываемой технологии: одностадийность, низкая энергоемкость, возможность влиять на размер и морфологию частиц. Синтезированный по такой технологии композитный материал обладает улучшенной теплопроводностью и хорошими нейтронно-физическими

свойствами; топливная фаза и матрица равномерно синтезируются в его объеме. Частицы $(Pu,Th)O_2$ и BeO/MgO синтезируются правильной сферической и кубической формы, а их размер не превышает 110 нм [6].

Таким образом была поставлена цель провести аналитический обзор и исследование моделей, используемых для компьютерных расчетов коэффициентов теплопроводности топливного компакта с диспергированным микрокапсулированным топливом и синтезируемого плазмохимическим методом

В настоящей работе проведена серия компьютерных расчетов, позволяющих определить теплопроводность ядерного топлива и предсказать его теплофизические свойства, прежде чем приступить к изготовлению. В данной работе исследуется топливный компакт цилиндрической формы, представляющий собой сферические частицы $(Pu,Th)O_2$ типа BISO, спеченные вместе с графитовой матрицей; а также композитный материал, состоящий из $(Pu,Th)O_2$ и тугоплавких оксидов BeO или MgO , синтезированный методом плазмохимического синтеза. Основное технологическое применение этих исследований – создание ядерного топлива с нужными механическими, теплофизическими и нейтронно – физическими свойствами, способного находится под облучением в эпитепловом спектре высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки (ВГТРУ) [7,8], не меняя своих физических свойств на протяжении всего цикла облучения (не менее 7 лет).

1 Обзор литературы

1.1 Реакторные установка ВТГРУ

Перспективным направлением развития атомной энергетики является строительство маломощных ВТГР. В последнее десятилетие началось проектирование и строительство модульных ВТГР малой мощности. Сегодня ВТГР в разработке в США, России, Германии, Франции и Япония, у которой есть хорошо развитые программы ядерной энергии. В исследованиях, авторы отмечают, что развитие ВТГР также ускоряется в Корее, Китае, Индии и Южной Африке [9].

Преимуществом ВТГР является более высокая ядерная безопасность по сравнению с обычными конструкциями, высокая эффективность (40% – 50%), отсутствие фазовых переходов в охлаждающей жидкости, мало проблем при коррозии рабочей поверхности, использование другого топлива, перегрузка при эксплуатации реактора и упрощенное управление отработанным топливом [10].

Главной особенностью ВТГР является способность генерировать высокотемпературное тепло, что обеспечивает широкий спектр применений для этих реакторов. Первые ВТГР были разработаны и внедрены в эксплуатационные модели в 1950 – 1960 годах, но их коммерческое использование в России в качестве небольших модульных реакторов начнется не ранее 2020 г.

Среди IV поколения маломощные ториевые высокотемпературные газоохлаждаемые реакторные установки (ВТГРУ) с мощностью до 100 МВт. Их реализация в России предлагает значительный потенциал для развития ядерной энергетики. Кроме того, ВТГРУ предлагают явные преимущества для энергии для крупных военно-морских баз и отдаленных военных гарнизонов в Арктике и Восточной Сибири [11]. В этих регионах ВТГР является идеальным источником энергии, тепла и водорода и не требует больших водоемов или рек. Мощность ВТГРУ также может быть изменена в соответствии с ростом регионального энергопотребления.

В глобальном масштабе маломощные ториевые реакторы и связанные с ними технологии являются одними из самых дорогих предложений на единицу генерируемой мощности, такие реакторы должны стать основой региональной энергетики в России [12].

Также для развивающихся стран с относительно высоким уровнем дохода, инфраструктурой и расширяющимся бизнесом ВТГРУ так же может составить конкуренцию другим типам реакторов.

1.2 Дисперсионное топливо с BISO частицами

На рисунках 1.1, 1.2 приведена топливная таблетка и топливная ячейки ВТГРУ. Таблетка представляет собой спеченную графитовую матрицу с диспергированным сферическими частицами BISO.

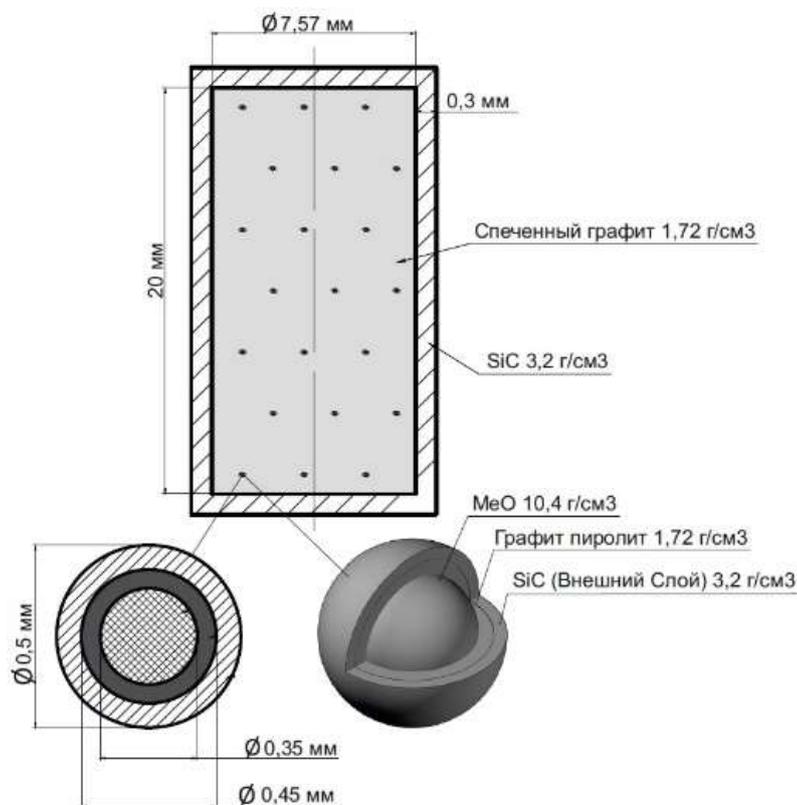


Рисунок 1.1 – BISO частица и топливная таблетка ВТГРУ

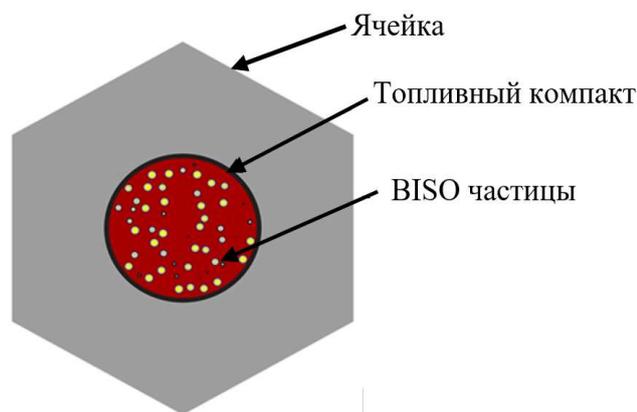


Рисунок 1.2 – Топливная ячейка ВТГРУ

Процесс изготовления дисперсионного топлива, а также свойства материалов частиц и матрицы рассмотрены в работе [13].

1.3 Плазмохимический компакт

Применяемая технологическая схема получения гранулированных оксидных композиций для дисперсионного ядерного топлива из смесевых нитратных растворов методом внешнего гелеобразования (золь – гель процесс) включает целый ряд длительных и трудоёмких стадий и требует значительных количеств химических реагентов. Получение оксидных композиций с применением плазмы обладает многими важными особенностями, выгодно отличающимися от технологии, основанной на механическом смешении компонентов: возможность получения гомогенного распределения фаз и заданного стехиометрического состава во всем объеме, чистота материала, возможность активно влиять на морфологию частиц.

Плазменная обработка смесевых нейтральных растворов в виде диспергированных водно-солеорганических композиций, имеющих необходимую низшую теплотворную способность и адиабатическую температуру горения, дает возможность прямого плазмохимического синтеза в воздушно-плазменном потоке гомогенных композиций с требуемым физико-химическими свойствами

При использовании золь – гель метода можно получать наночастицы, пористые структуры с упорядоченным и неупорядоченным расположением пор, нанопокрyтия, волоконные и монокитные структуры. Процесс состоит из следующих стадий:

– Образование золя – гидролиз и поликонденсация мономерных соединений кремния.

– Образование геля. На данной стадии происходит формирование пространственной сетки геля. При этом наблюдается резкое увеличение вязкости раствора.

– Старение геля (синерезис). Происходит уплотнение структуры геля, сжатие сетки и выделение из геля растворителя. Данная стадия может протекать несколько суток.

– Сушка. Происходит удаление жидкости из пространственной структуры геля. Если удаление растворителя происходит в сверхкритических условиях, то образуется аэрогель. Если проводить сушку при повышенной температуре, то формируется более плотная структура – ксерогель.

2 Расчет теплофизических свойств топлива с BISO частицами

2.1 Свойства материалов таблетки

В качестве материала топливной матрицы был выбран графит марки Н – 451, специально разработанный для топлива реакторов типа ВТГР. Его характеристики были рассмотрены в работе [13]. Теплопроводность ядра рассмотрена в статье [14]. Ядро окружено двумя слоями. Первый слой представляет собой пиролитический углерод [15], а наружный карбосилицид титана [16].

Значения коэффициентов теплопроводности материалов топливной таблетки получены для рабочих температур реактора ВГТРУ и представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Свойства материалов топливной таблетки ВГТРУ

Расчетная зона	Материал	Температура, К	Теплопроводность, В/м/К	Плотность, г/см ³
Матрица	Графит Н-451	1667,04	52,27	1,74
Ядро	(Pu,Th)O ₂	1693,22	3,29	9,54
1 слой	PuC	1692,45	5,7	1,35
2 слой	Ti ₃ SiC ₂	1692,32	31	4,33

2.2 Аналитические модели

Существует множество теоретических моделей по описанию теплопроводности пористых или композитных сред и материалов, содержащих включения разной конфигурации и состава. Для нахождения теплопроводности эффективной теплопроводности матрицы с BISO включениями, как правило, рекомендуют использовать модели авторов [17 – 23]. В работах [24, 25] приведен обзор и краткая характеристика ряда моделей.

2.2.1 Модель Максвелла

Уравнение Максвелла является одним из старейших и, вероятно, наиболее известных уравнений для нахождения теплопроводности дисперсных сред. Используя теорию потенциала, Максвелл получил точное решение для теплопроводности однородных сфер в сплошной среде (матрице) [17]. Модель Максвелла не делает никаких предположений касательно геометрической конфигурации частиц [18] в ней главное, чтобы частицы были расположены достаточно далеко друг от друга и не вносили температурные искажения в распределение профиля температуры внутри среды.

Уравнение Максвелла, описывающее теплопроводность случайно расположенных и не влияющих друг на друга сплошных сферических частиц в однородной матрице, дает соотношение (2.1), связывающее коэффициенты теплопроводности с долей дисперсной фазы:

$$\frac{\kappa}{\kappa_m} = \frac{1 + 2\beta\omega}{1 - \beta\omega}, \quad (2.1)$$

где $\beta = \frac{\kappa_p - \kappa_m}{\kappa_p + 2 \cdot \kappa_m}$.

Соотношение (2.1) справедливо при условии, что теплопроводность дисперсной фазы κ_p меньше, чем матрицы κ_m .

2.2.2 Теория эффективной среды

Теория эффективной среды (ТЭС) [19] является очень популярной моделью для описания теплопроводности композитных материалов. ТЭС предполагает случайное распределение частиц.

Модель не учитывает форму включений, а также не делает различий между дисперсионной фазой и матрицей.

Уравнение для коэффициентов теплопроводности [20] имеет вид:

$$\kappa = \left[(3\omega - 1)\kappa_p + \{3(1 - \omega) - 1\}\kappa_m + \sqrt{\left[(3\omega - 1)\kappa_p + \{3(1 - \omega) - 1\}\kappa_m \right]^2 + 8\kappa_m\kappa_p} \right] / 4. \quad (2.2)$$

2.2.3 Модифицированная модель Зенера Шлюндера

Модель Зенера Шлюндера является общепринятой моделью [21]. Эта модель разработана Зенером и Шлюндером в предположении, что частицы могут соприкасаться друг с другом, образуя элементарную ячейку. В своей публикации Хсу записал уравнение Зенера Шлюндера [22] для искомых коэффициентов в виде (2.3):

$$\frac{\kappa}{\kappa_m} = 1 - \sqrt{\omega} + \frac{2\sqrt{\omega}}{1 - \lambda B} \left(\frac{(1 - \lambda)B}{(1 - \lambda B)^2} \ln \frac{1}{\lambda B} - \frac{B + 1}{2} - \frac{B - 1}{1 - \lambda B} \right), \quad (2.3)$$

где $B = 1.364 \left(\frac{\omega}{1 - \omega} \right)^{1.055}$;

$$\lambda = \frac{\kappa_m}{\kappa_p}.$$

Полученное Хсу [22] соотношение (2.3) позволяет получить более точное значение коэффициента теплопроводности.

2.2.4 Модель Чью Гландта

Модель Чью Гландта является улучшенной моделью Максвелла. В работе [23] на основе экспериментальных данных были получены наиболее подходящие коэффициенты для модели Чью Гландта, а соотношение для нахождения коэффициентов имеет вид:

$$\frac{\kappa}{\kappa_m} = \frac{1 + 2\beta\omega + (2\beta^3 - 0.1\beta)\omega^2 + \omega^3 0.005 \exp(4.5\beta)}{1 - \beta\omega}. \quad (2.4)$$

2.3 Вычислительные модели

При рассмотрении основных и наиболее распространенных моделей для расчета теплопроводности пористых и дисперсных сред следует учесть, что сегодня не существует универсальной формулы, позволяющей выполнить верифицированный расчет интересующих нас композитов, поэтому аналитические модели [18 – 23] необходимо дополнять расчетами различными вычислительными моделями. С их помощью можно подобрать функцию, которая лучше всего подходит для решения поставленной задачи.

Для реализации расчётов различных вычислительных геометрий моделей использовалась программа Comsol Multiphysics [26], которая реализует МКЭ, подробнее о сути данного метода можно узнать в работе [27].

2.3.1 Модель элементарной ячейки

Модель элементарной ячейки (МЭЯ) допускает, что частицы расположены строго в узлах решетки, что позволяет рассматривать элементарную ячейку составляющую решетку. МЭЯ имеет 3 различных конфигурации: примитивная кубическая (ПКМ), объемноцентрированная кубическая (ОКМ), гранецентрированная кубическая (ГКМ) геометрии.

Ячейка ПКМ представляет собой, в котором центр частицы расположен в каждом из 8 углов куба. Таким образом суммарный объем доли топливной фазы равен одной целой частице. Следовательно, весь объем частиц эквивалентен одной целой частице в ячейке, a сторона куба и доля дисперсной фазы ω связаны соотношением:

$$a = r \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \pi}{3 \cdot \omega}}, \quad (2.5)$$

где r – радиус частицы.

Геометрия ПКМ проиллюстрирована на рисунке 2.1.

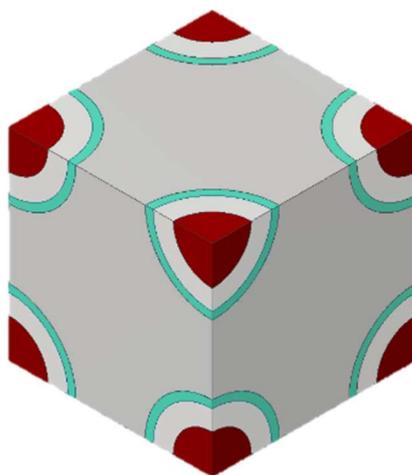


Рисунок 2.1 – Геометрия примитивной кубической модели.

У ячейки типа ОКМ такая же геометрия, как у ПКМ, но дополнительно присутствует дополнительная топливная частица в центре ячейки. Таким образом, суммарный объем частиц эквивалентен двум полным частицам. Расчетная модель показана на рисунке 2.2. Сторона куба и доля дисперсной фазы ω матрицы связаны соотношением:

$$a = 2 \cdot r \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi}{3 \cdot \omega}}. \quad (2.6)$$

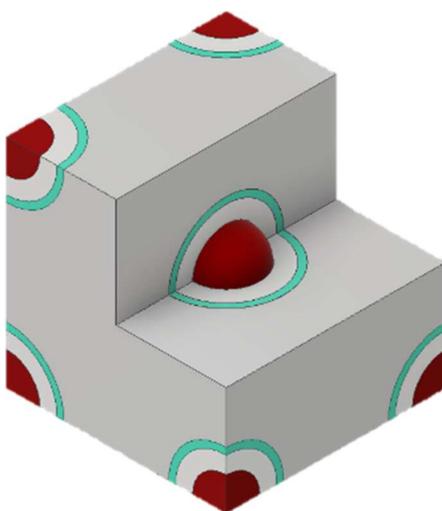


Рисунок 2.2 – Геометрия ячейки объемноцентрированной кубической модели.

Ячейка типа ГKM имеет частицы в углах куба, как и ячейка типа ПМК, кроме того шесть частиц расположены в центрах каждой грани куба. Конфигурация ГKM представлена на рисунке 2.3.

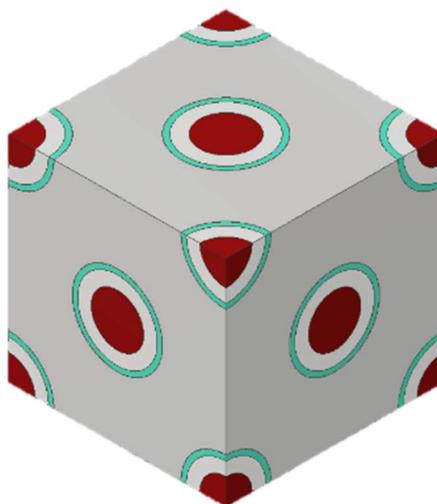


Рисунок 2.3 – Геометрия ячейки гранецентрированной кубической модели

Полный объем доли топливной фазы в ГKM равен 4 полным частицам. Уравнение связывающее длину сторону куба a с долей топливной фазы ω имеет вид:

$$a = 2 \cdot r \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot \omega}} \quad (2.7)$$

На рисунке 2.4 приведена расчетная модель блока, состоящая из пяти элементарных ячеек типа ГKM. Граничные условия: температура верхней поверхности конфигурации, приведенной на рисунке 2.4, равна $T_{\text{top}} = 1641,772$ К, температура нижней поверхности – $T_{\text{bot}} = 1692,301$ К. Значения подобраны таким образом, чтобы средняя температура в центральной ячейке примерно равна $T_{\text{cp}} = 1667$ К – данное значение является расчетным значением, полученным ранее. Стоит отметить, что в действительности мало влияния оказывает выбор температур, так как значения теплопроводностей материалов для нужных температур уже найдены, а влияние граничных условий исключено.

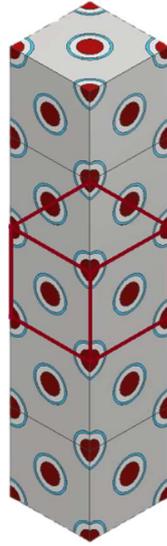


Рисунок 2.4 – Расчетная геометрия модели элементарной ячейки

Значение эффективной теплопроводности может быть получен во выходным данным из программы и задаваемыми параметрами. Формула для связывающая теплопроводность с выходными данными выводится следующим образом.

Запишем уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q}_V = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2.8)$$

где \dot{q}_V – объемное тепловыделение;

ρ – плотность;

c_p – удельная теплоемкость;

κ – теплопроводность.

Так как мы можем рассматривать уравнение в одном измерении по оси z , и задача является стационарной, то мы можем упростит уравнение (2.8) до следующего вида:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}_V}{\kappa} = 0. \quad (2.9)$$

Решая данное дифференциальное уравнение, получим:

$$T(z) = -\frac{\dot{q}_V}{2\kappa} z^2 + C_1 z + C_2. \quad (2.10)$$

Константы интегрирования определим из граничных условий. Тепловой поток внизу средней ячейки ($z=0$) определим как q'' . Обозначим температуру верха средней ячейки как T_t . Расстояние между верхом и низом равно a . Имеем следующие граничные условия:

$$-\kappa \frac{dT(0)}{dz} = q'', \quad (2.11)$$

$$T(a) = T_t. \quad (2.12)$$

Подставляя условия (2.11), (2.12) в уравнение (2.10) получим следующую формулу для теплопроводности:

$$T(z) = -\frac{\dot{q}_V}{2\kappa} z^2 - \frac{q''}{\kappa} z + \frac{a^2 \dot{q}_V}{2\kappa} + \frac{aq''}{\kappa} + T_t. \quad (2.13)$$

Для получения конечной формулы расчета теплопроводности введем температуру низа ($z=0$) средней ячейки T_b .

$$T(0) = T_b. \quad (2.14)$$

Подставляя условие (2.14) в равенство (2.13). Можем выразить теплопроводность.

$$\kappa = \frac{a(a \dot{q}_V + 2q'')}{2(T_b - T_t)}. \quad (2.15)$$

В случае если нет необходимости рассматривать генерацию тепла, то выражение (2.15) упрощается до следующего вида:

$$\kappa = \frac{aq''}{T_b - T_t}. \quad (2.16)$$

Значения теплового потока и температур являются выходными данными из программы, а сторона куба задается пользователем. Таким образом можно однозначно находить эффективную теплопроводность. Примеры распределения температур показаны на рисунках 2.5 и 2.6

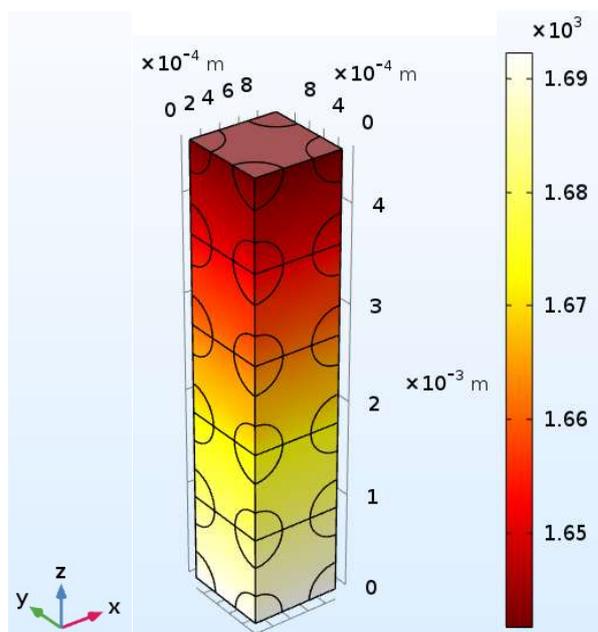


Рисунок 2.5 – Распределение температуры в ПКМ

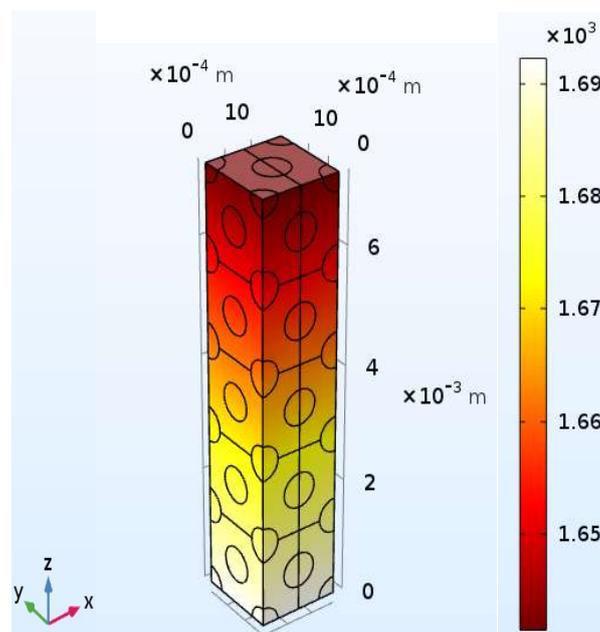


Рисунок 2.6 – Распределение температуры в ГКМ

2.3.2 Случайная модель

Как было подмечено ранее МЭЯ предполагает, что частицы расположены в строгом порядке и их центры находятся в узлах решетки. В действительности же частицы распределены в топливе случайным образом, то есть координаты центров микротоплива является случайной величиной.

Генерация координат центров частиц для случайной модели выполнена в программном пакете Mathematica [28]. Блок – схема реализации алгоритма для частиц внутри призмы представлен в приложении А.

На положение частиц микротоплива накладывается очевидное условие: частицы не должны перекрывать друг друга, что означает, что центры частиц должны быть на расстоянии большем либо равном чем диаметр частицы:

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \geq 2 \cdot r, \quad (2.17)$$

где (x_1, y_1, z_1) – координаты первой частицы;

(x_2, y_2, z_2) – координаты второй частицы.

Данное условие должно выполняться для всех пар частиц.

Расчетная геометрия представляет собой призму, в основании которой лежит квадрат со стороной a и высотой $h = 3 \cdot a$. Внутри призмы находятся 100 частиц, по 10 частиц находятся на каждой боковой стороне, и по 5 частиц на основании и верхней поверхности. Так как у частиц на поверхности в заданной призме будет находиться только половина области, то суммарный объем частиц эквивалентен 125 целым частицам. Сторона основания призмы и высота связаны с долей дисперсной фазы соотношением:

$$a = r \cdot \sqrt[3]{\frac{500 \cdot \pi}{9 \cdot \omega}}, \quad (2.18)$$

$$h = r \cdot \sqrt[3]{\frac{1500 \cdot \pi}{9 \cdot \omega}}. \quad (2.19)$$

На рисунке 2.7 приведена конфигурация расчетной случайной модели с сгенерированными случайным образом центрами частиц (для удобства не показаны передние грани).

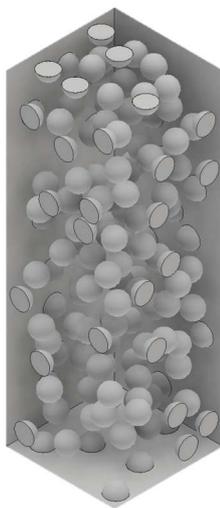


Рисунок 2.7 – Конфигурация геометрии случайной модели

Принцип создания координат частиц следующий. Генерируется случайные координаты первой частицы. Затем создается положение второй частицы. Новая частица проходит проверку на условие (2.17), если неравенство выполняется, то частица записывается, если нет, то откидывается. В дальнейшем генерируется следующая частица, которая так же проходит

проверку для каждой из предыдущих прошедших частиц. Данный алгоритм создания координат и отбора частиц повторяется до тех пор, пока количество частиц во внутренней зоне не достигнет требуемой концентрации. Аналогичным образом в дальнейшем генерируются частицы на поверхностях.

Расчет теплопроводности выполняется аналогично тому, как это делалось для типа МЭЯ, так же на торцах создаются граничные условия, для поверхностей параллельных основанию фиксируется значение температур и теплового потока, далее расчет выполняется по соотношению (2.15).

2.4 Результаты теплофизического расчета

Для случайной модели были получены значения теплопроводности представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Значения теплопроводности для различных долей топливной фазы для случайной модели.

№ попытки	Теплопроводность, В/(м·К)		
	10%	13%	17%
1	47,006	45,306	42,662
2	46,102	44,959	42,35
3	46,688	45,369	43,553
Среднее значение, Вт/(м*К)	46,599	45,211	42,855

В случайной модели для каждой расчетной итерации значение теплопроводности будет отличаться, так как сгенерируемое расположение координат частиц в матрице для каждой итерации разное.

Расчет выполнен для $\omega = 10, 13$ и 17% , для выбранных значений ω выполнено три попытки генерации координат расположения частиц.

Неопределенность полученных расчетных данных не превышает 2% , при сравнении результатов по случайной модели, нами рекомендуется использовать среднее значение теплопроводности, при этом число попыток генерации координат гомогенных частиц должно быть не менее двух.

Ниже на рисунке 2.8 проиллюстрированы расчетные зависимости эффективной теплопроводности от доли топливной фазы полученные по всем представленным аналитическим и вычислительным моделям для топлива с BISO частицами.

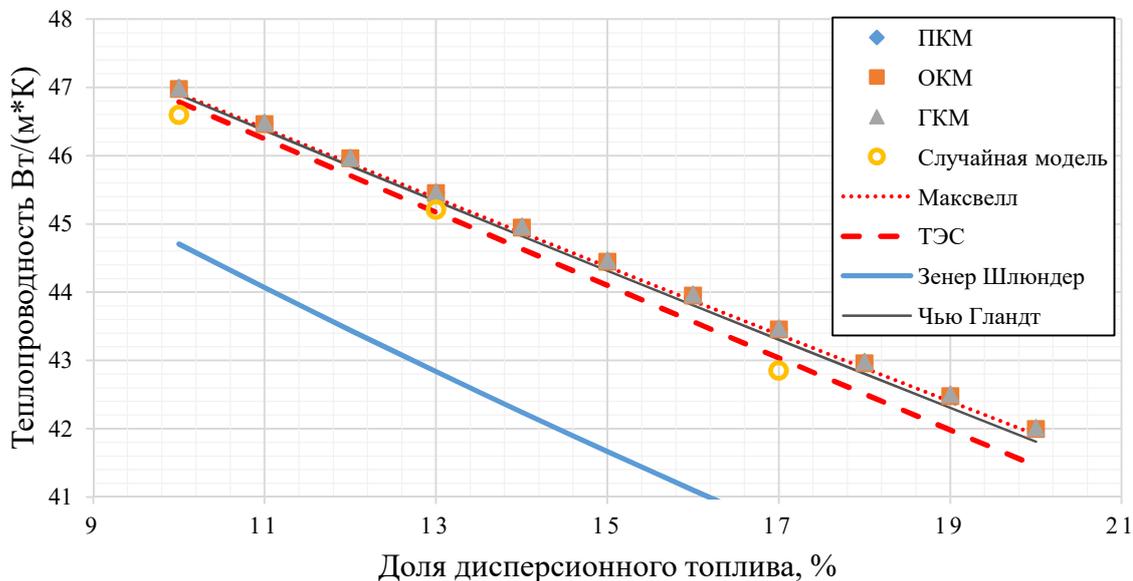


Рисунок 2.8 – Зависимость эффективной теплопроводности от доли топливной фазы для аналитических и вычислительных моделей

Результаты расчета показали, что модель Максвелла и Чью Гландта отлично согласуются с моделью МЭЯ. Модель Зенера Шлюндера дает значения заниженные по сравнению со всеми другими рассмотренными моделями и приближениями. Расчетные данные, полученные с помощью случайно модели, хорошо сходятся с моделью ТЭС.

2.5 Гомогенизация частиц

В рассмотренных нами аналитических моделях [18 – 23] дисперсионная часть представляет собой сплошные сферические частицы, в то время как микротопливо содержит несколько слоев внешних покрытий. Это означает, что использование рассмотренных моделей требует обоснования их применимости к BISO-частицам.

Для того чтобы использовать рассмотренные выше модели необходимо произвести гомогенизацию микротоплива, то есть представить микротопливо (кern с покрытиями) в виде эквивалентной по теплофизическим свойствам частицы с таким же радиусом.

Способ гомогенизации детально изложен авторами в работе [29].

Что бы оценить соответствие способа в данном случае, было произведено сравнение варианта с гетерогенной и гомогенной частицей для соответствующих долей топливных фаз. В приложение А представлены гетерогенный и гомогенны вариант для конфигураций МЭЯ.

Согласно графикам, из приложения А, для все трех случаев значения получаются практически идентичными, что позволяет считать гомогенизацию применимой для нашего типа топлива.

3 Исследование теплофизических свойств плазмохимического компакта

3.1 Модель Лихтенеккера

Значение теплопроводности для таблетки, полученной плазмохимическим методом можно описать с помощью модели Лихтенеккера. Для равноправных компонент формула для теплопроводности запишется как:

$$\kappa = \kappa_m^{1-\omega} \cdot \kappa_p^\omega. \quad (3.1)$$

В работах Лихтенеккера исследуется теплопроводность различных упорядоченных структур с включениями, в которых описываются два типа структур: равноправные и неравноправные [30]. В структуре с неравноправными компонентами форма включения может быть квадратной или эллиптической (на плоскости), а также параллелепипедной, сферической или эллипсоидной (в пространстве). Лихтенеккер вводит понятие пластины, под которым понимают плоскую границу между двумя материалами: матрицей и включением. Если тепловой поток направлен параллельно пластине, то говорят о ее параллельной ориентации, если перпендикулярно – соответственно о перпендикулярной ориентации [31].

Для проверки адекватности моделей были проведены расчеты коэффициентов теплопроводности κ для элементарных ячеек, состоящих из матрицы в виде оксида магния и включения в виде диоксида урана и проведено их сравнение с экспериментальными данными.

В таблице 3.1 и на рисунке 3.1 представлены экспериментальные данные и результаты расчетов теплопроводности для различных по составу композиционных материалов в виде сложных оксидных композиций «диоксид урана–оксид магния», полученные с использованием модели обобщенной теплопроводности Лихтенеккера для смесей с равноправными компонентами.

Таблица 3.1 – Влияние температуры на коэффициент теплопроводности композиционных материалов в виде сложных оксидных композиций «диоксид урана – оксид магния» [32]

Состав оксидной композиции	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)					
	600 К	800 К	1000 К	1200 К	1400 К	1600 К
100% UO ₂ (эксперимент)	5,38	4,10	3,65	3,00	2,15	1,77
95% UO ₂ – 5%MgO (расчет)	6,01	4,60	3,99	3,30	2,37	1,97
95% UO ₂ – 5%MgO (эксперимент)	5,80	4,60	3,90	3,30	2,90	2,60
90% UO ₂ – 10%MgO (расчет)	6,72	5,05	4,36	3,50	2,62	2,19
90%UO ₂ –10%MgO (эксперимент)	6,00	4,85	4,05	3,50	3,00	2,70
85% UO ₂ – 15%MgO (расчет)	7,52	5,59	4,77	3,90	2,88	2,43
85% UO ₂ – 15%MgO (эксперимент)	6,60	5,30	4,45	3,70	3,20	3,00

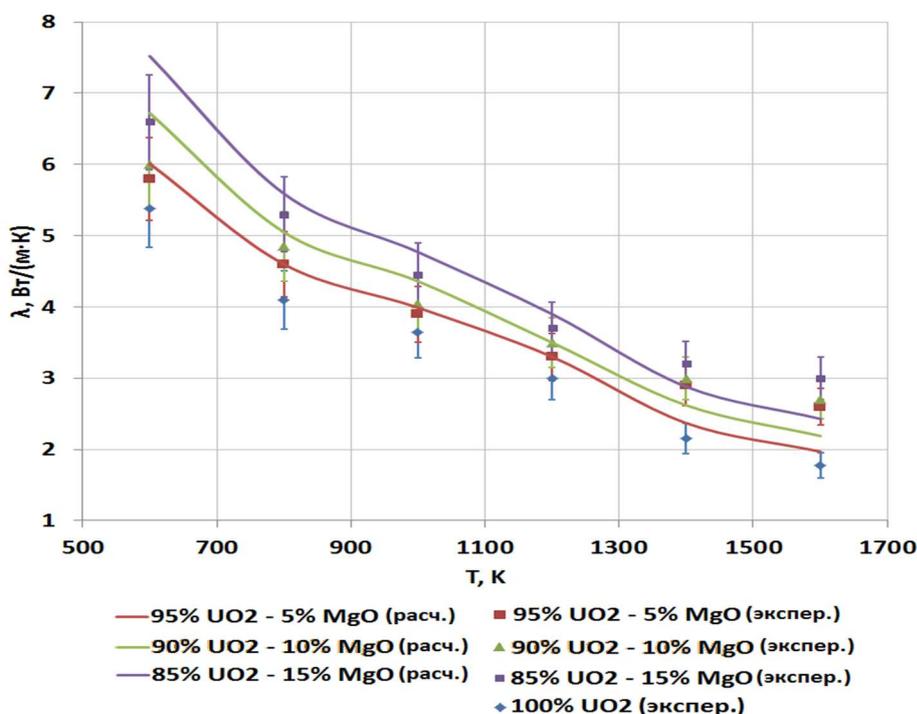


Рисунок 3.1 – Влияние температуры на коэффициент теплопроводности композиционного материала в виде сложных оксидных композиций «диоксид урана–оксид магния»

Из анализа данных таблицы 3.1 и рисунка 3.1 следует, что модель обобщенной теплопроводности достаточно точно описывает экспериментальные данные для коэффициента теплопроводности к

композиционных материалов в виде сложных оксидных композиций «диоксид урана–оксид магния» различного состава.

Хорошая согласованность обобщённой формулы Лихтернеккера (3.1) с экспериментальными данными позволяет применять ее для топлива, полученного плазмохимическим методом с разными материалами ядра и матрицы.

3.2 Результаты теплофизического расчета

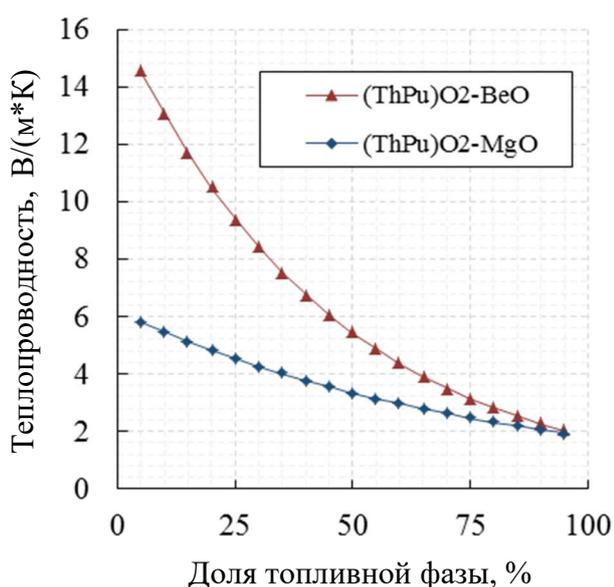


Рисунок 3.2 – Зависимость эффективной теплопроводности для плазмохимического компакта

Из рисунка 3.2 видно, что эффективная теплопроводность композитного материала ((Pu,Th)O₂ – BeO/MgO) гораздо меньше у топлива с BISO частицами. Добавление BeO или MgO позволит улучшить теплопроводность композита по сравнению с керамическим топливом (U,Pu)O₂ в 1,5 – 2 раза, такое многокомпонентное соединение при производстве BeO (в Мире ежегодно производится 150 тонн Be) и MgO в необходимых количествах, может составить достойную альтернативу традиционной керамике, которую используют в качестве топлива в энергетических реакторах типа LWR. Стоит также отметить, что топливо с BISO частицами так же, как и композитный

материал, синтезированный плазмохимическим методом, плохо себя покажут в активной зоне ВГТРУ. Высокие температуры эксплуатации (1000 – 1670 К) и при длительном облучении ($T = 3000$ суток) приведут к уменьшению эффективной теплопроводности более чем в 2 раза. Используемая нами технология плазмохимического синтеза позволяет активно влиять на физические свойства синтезируемой топливной композиции, что позволит, в ближайшей перспективе, создавать материалы способные длительно находиться в эпитепловом спектре нейтронов ВГТРУ при рабочей температуре топлива от 1000 до 1700 К.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово–экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно–технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

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.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным 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 вышеуказанные данные 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%

Продолжение таблицы 4.1

Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор исходных параметров	НР, И	НР – 100% И – 70%
Методика расчета	НР, И	НР – 100% И – 80%
Нейтронно – физический и теплогидравлический расчет ЯР	И	И – 100%
Оформление расчетно–пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико–экономическим;
- опытно–статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно–статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя ВКР не

устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ОЖ}$ применяется по усмотрению исполнителя 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, дн.;

t_{\max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

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.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рД}} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.3)$$

где $K_{\text{ВН}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

K_d – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни;

$T_{ВД}$ – выходные дни;

$T_{ПД}$ – праздничные дни.

При $T_{КАЛ} = 365$, $T_{ВД} = 52$, $T_{ПД} = 10$.

В таблице 4.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 4.1. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_d = 1,2$.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \cdot K_d$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_K = 1,212$. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,68	0,00	2,04	0,00
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	1	3	1,80	2,16	0,22	2,62	0,26
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	6	4,80	1,73	5,76	2,09	6,98
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	2,40	2,88	0,29	3,49	0,35
Обсуждение литературы	НР, И	1	3	1,80	0,65	2,16	0,79	2,62
Выбор исходных параметров	НР, И	1	3	1,80	2,16	1,51	2,62	1,83
Методика расчета	НР, И	7	9	7,80	9,36	7,49	11,34	9,08
Расчет теплопроводности	И	5	9	6,60	0,00	7,92	0,00	9,60
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	4	6	4,80	0,00	5,76	0,00	6,98
Оформление графического материала	И	2	4	2,80	0,00	3,36	0,00	4,07
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	1,01	1,68	1,22	2,04
Итого:				37,40	21,62	36,14	26,21	43,81

Таблица 4.3 – Линейный график работы

Этап	НР	И	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
1	2,04	-	■													
2	2,04	0,20	■	■												
3	0,61	2,04		■	■											
4	2,04	0,20		■	■											
5	0,61	2,04			■	■										
6	2,04	1,43				■	■									
7	9,31	7,45					■	■	■	■						
8	-	11,34								■	■	■	■	■	■	
9	-	4,94													■	■
10	-	2,04														■
11	1,22	2,04														■

НР – ■; И – ■

4.3 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость 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 4.5:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (4.5)$$

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

Таблице 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)	4,81	8,56
Подбор и изучение материалов по тематике	12,83	21,39
Разработка календарного плана	6,42	27,81
Обсуждение литературы	4,81	32,62

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Выбор исходных параметров	4,81	37,43
Методика расчета	20,86	58,29
Расчет теплопроводности	17,65	75,94
Оформление расчетно-пояснительной записки	12,83	88,77
Оформление графического материала	7,49	96,26
Подведение итогов	3,74	100,00

4.4 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения 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.

4.5 Расчет 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. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли–продажи (т.н. транзакции). Приблизительно 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	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	2050	1 шт.	2050
Итого:			2300

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

$$C_{\text{МАТ}} = 2300 \cdot 1,05 = 2415.$$

4.6 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и научного сотрудника, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}$$

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

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд 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:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{Доп.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}} \quad (4.6)$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

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	33664	1342,10	22	1,699	50165,17
И	15470	616,75	36	1,62	35969,00
Итого:					86134,17

4.7 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3; \quad (4.7)$$

$$C_{\text{соц}} = 86134,17 \cdot 0,3 = 25840,25.$$

4.8 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{ЭЛОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (4.8)$$

где $P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$ – время работы оборудования, час.

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

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4.2 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (4.9)$$

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

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

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (4.10)$$

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 $K_C = 1$.

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

Таблица 4.7 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	288	0,3	496,63
Струйный принтер	4	0,1	2,29
Итого:			498,93

4.9 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (4.11)$$

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 2019 г., при 298 рабочих днях и 8–ми часовом рабочем дне, $F_{\text{Д}}$ равен:

$$F_{\text{Д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

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

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

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4.$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать для компьютера:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 288 \cdot 32000 \cdot 1}{2384} = 1546,31.$$

Для принтера:

$$C_{AM} = \frac{0,5 \cdot 4 \cdot 12500 \cdot 1}{2384} = 50$$

Тогда $C_{сум} = 1596,31$

4.10 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{AM}) \cdot 0,1. \quad (4.12)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{ПРОЧ} = (572,5 + 86134,17 + 25840,25 + 498,93 + 1596,31) \cdot 0,1 = 11664,22.$$

4.11 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Исследование теплофизических свойств топлива со сложной гетерогенной структурой». Смета затрат на разработку вкр представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{МАТ}$	2572,5
Основная заработная плата	$C_{ЗП}$	86134,17
Отчисления в социальные фонды	$C_{СОЦ}$	25840,25

Продолжение таблицы 4.8.

Расходы на электроэнергию	С _{ЭЛ.ОБ}	498,93
Амортизационные отчисления	С _{АМ}	1596,31
Прочие расходы	С _{ПРОЧ}	11664,22
Итого:		128306,37

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 128306,37$ рублей.

4.12 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 10 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,1 = 12830,64; \quad (4.13)$$

$$G = 128306,37 \cdot 0,1 = 12830,64.$$

4.13 Расчет НДС

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

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2; \quad (4.14)$$

$$\text{НДС} = (128306,37 + 12,830,64) \cdot 0,2 = 28227,40.$$

4.14 Цена разработки ВКР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{вкр}} = C + G + \text{НДС}; \quad (4.15)$$

$$C_{\text{вкр}} = 128306,37 + 12830,64 + 28227,40 = 169364,41.$$

4.15 Оценка экономической эффективности проекта

Ввиду того, что данная работа носит чисто научный характер, то оценка её экономической эффективности невозможна.

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, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально – экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно – профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [33].

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

Опасным производственным фактором, согласно [34], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 5.1), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ		Нормативные Документы
	Вредные	Опасные	
Работа за ПЭВМ, ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	–	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Санитарно–эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность
	–	Пожарная безопасность	Пожаро – и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004–91 ССБТ Пожарная безопасность

На бакалавра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

– физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой чистоты, освещённость, наличие излучения;

– психофизиологические.

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

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней вредного воздействия и устранению его влияния при работе на ПЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

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

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

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 8.2.2.1

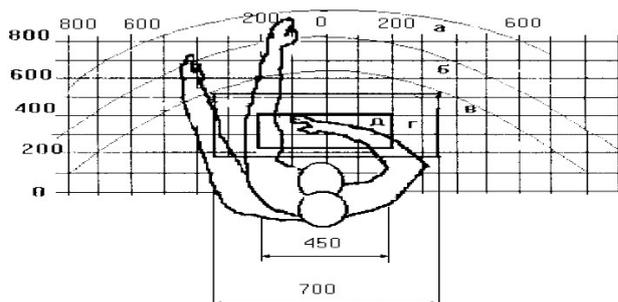


Рисунок 8.2.2.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой 109 руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

5.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [35] и приведены в таблице. В таблице 5.2 приведены оптимальные параметры микроклимата.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками

кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео – кабеля.

Согласно [36] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя)
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [35] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С) [36], наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

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

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает [36]:

- тепловое (термическое) действие, заключающееся в ожогах участков кожи и перегрева различных органов;
- химическое (электролитическое) действие, заключающееся в электролизе крови и других растворов, что приводит к изменению физико-химических составов;
- биологическое действие, заключающееся в возбуждении живых клеток и тканей организма.
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Факторы, оказывающие влияние на действие электрического тока:

- величины и род протекающего тока: переменный ток является более опасным, чем постоянный;
- продолжительность воздействия тока: чем больше время действия тока на человека, тем тяжелее последствия;
- пути протекания: самую большую опасность представляет ток, протекающий через головной и спинной мозг, область сердца и органов дыхания (легкие);
- физическое и психологического состояния человека.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

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

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;

- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [34].

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

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

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

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией.

Заключение

На основе полученных результатов можем сделать следующие выводы:

– Три типа элементарных ячейки МЭЯ дают практически идентичный результат, с точки зрения расчетного времени и банка хранения исходных данных, являются более экономически выгодными в сравнении со случайно моделью. Более того гомогенизация частиц типа BISO не приводит к существенной ошибке, позволяет сократить время проведения расчетов.

– Модели Максвелла и Чью Гандта хорошо согласуются с МЭЯ и для нашей задачи могут использоваться для получения надежных и точных результатов.

– Случайная модель является наиболее продвинутой и адекватной с точки зрения расположения частиц в матрице. Максимально отображает распределение частиц в матрице, синтезированной существующими стандартными методами. Но по затратам расчетного времени и хранения банка данных проигрывает МЭЯ. Для нашей конфигурации топливной таблетки и типа частиц дает результат, хорошо согласующийся с ТЭС.

– Гомогенизация частицы типа BISO практически не вносит погрешности в конечный результат. Этот вывод справедлив для всех расчетных вариантов за исключением результатов, полученных по модели Зенера Шлюндера.

– Модель Зенера Шлюндера дает существенно заниженные значения теплопроводности и не может использоваться в наших исследованиях.

Топливная композиция, синтезированная плазмохимическим методом, является многокомпонентной нано-размерной смесью частиц, что позволяет использовать гомогенные модели и получать точный результат не только в теплофизических, но и в нейтронно-физических экспериментах, а используемая нами технология позволяет активно влиять на свойства синтезируемой композиции, что позволит создавать материалы, способные длительно находиться в активной зоне ВГТРУ.

Список публикаций студента

1. Thermo-physical properties of dispersion nuclear fuel for a new-generation reactors: A computational approach [Электронный ресурс] / Н. В. Алексеев [и др.] // AIP Conference Proceedings: материалы конференции в рамках V Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение», 19 – 23 ноября 2018 г., г. Томск. / ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. – [020002 (2019)]. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

2. Пространственное распределение температуры в топливном компакте высокотемпературной реакторной установки [Электронный ресурс] / Н. В. Алексеев [и др.] // IX Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, 17-19 Октября 2018 г., г. Томск. / Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»; Администрация томской области; Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами; ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет; Северский технологический институт – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; Акционерное общество «Сибирский химический комбинат»; Информационный центр по атомной энергии в г. Томске; Региональная общественная организация «Томское профессорское собрание». – Томск: Дельтаплан, 2018. – [С. 54] – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

3. Изменение теплофизических свойств покрытий микротвэл под действием нейтронного излучения и продуктов деления [Электронный ресурс] / Н. В. Алексеев [и др.] // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов – 2019”; Секция “Физика”; Подсекция “Атомная и ядерная физика”: сборник тезисов докладов, 8 – 12 апреля 2019 г., г. Москва. / Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва: Физический

факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. – [С. 81]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

4. Особенности пространственной кинетики гибридной ториевой реакторной установки с протяженным плазменным источником нейтронов на основе магнитной ловушки [Электронный ресурс] / Н. В. Алексеев [и др.] // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов – 2019”; Секция “Физика”; Подсекция “Атомная и ядерная физика”: сборник тезисов докладов, 8 – 12 апреля 2019 г., г. Москва. / Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. – [С. 87]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

5. Исследование свойств ядерного топлива со сложной внутренней структурой для реакторов деления и синтеза: компьютерное моделирование [Электронный ресурс] / Н. В. Алексеев [и др.] // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов – 2019”; Секция “Физика”; Подсекция “Атомная и ядерная физика”: сборник тезисов докладов, 8 – 12 апреля 2019 г., г. Москва. / Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. – [С. 113]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

6. Features of dispersion nuclear fuel radiation with complex inertial structure [Электронный ресурс] / Н. В. Алексеев [и др.] // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов – 2019”; Секция “Физика”; Подсекция “Атомная и ядерная физика”: сборник тезисов докладов, 8 – 12 апреля 2019 г., г. Москва. / Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. – [С. 58]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Manufacture of a UO₂-Based Nuclear Fuel with Improved Thermal Conductivity with the Addition of BeO / Garcia C., Brito // Metall. Mater. Trans. – 2017. – Vol. 4 – P. 70 – 76.
2. Concepts for an inert matrix fuel: An overview. / Degueldre C., Paratte J.M. // J. Nucl. Mater. – 1999. – Т. 274. – P. 1 – 6.
3. Optimum ratio of coverings thickness to the diameter of the fuel core of the dispersive nuclear fuel / Shamanin, I., Bedenko, S., Gubaydulín, I. // Adv. Mater. Res.. – 2014. – P. 219 – 228.
4. Plasmachemical Synthesis and Evaluation of the Thermal Conductivity of Metal-oxide compounds «Molybdenum–Uranium Dioxide» / Kotelnikova A.A., Karengin A.G., Mendoza O. // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1 – 7.
5. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma / Novoselov I. Yu., Karengin A.G., Babaev R.G. // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1 – 5.
6. Optimization of air plasma reconversion of UF₆ to UO₂ based on thermodynamic calculations / Tundeshev, N., Karengin, A., Shamanin I. // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 10 – 17.
7. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel / Novoselov, I. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma / Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshev V.V. // Annals of Nuclear Energy. – 2018. – Vol. 113. – P. 286 – 293.
8. Thorium-loaded low-power reactor installation operated with super-long fuel residence time / Shamanin, I.V., Bedenko, S.V., Chertkov, Yu.B. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika. – 2016. – Vol. 2. – P. 121 – 132.

9. Representative Source terms and the influence of reactor attributes on functional containment in modular high-temperature gas-cooled reactors. / Petti, D.A., Hobbins, R.R., Lowry, P., Gougar, H. // Nucl. Technol. – 2013. – Vol. 2. – № 392721. – P. 181 – 197.
10. Gas-cooled thoriumreactor with fuel block of the unified design. / Shamanin, I., Bedenko, S., Chertkov, Y., Gubaydulin, I. // Adv. Mater. Sci. – 2015. Vol. 2. – P. 8.
11. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors withthorium fuel / I.V. Shamanin, V.M. Grachev, Yu.B. Chertkov S.V. Bedenko a, O. Mendoza V.V. Knyshev // Nucl. Technol. – 2015. – Vol. 5. – P. 181–197.
12. Carbon free energy development and the role of small modular reactors: a review and decision framework for deployment in developing countries. / Black, G., Black, M.A.T., Solan, D. // Renew. Sust. Energy Rev. – 2015. – Vol. 43. – P. 83 – 94.
13. Thermal diffusivity and thermal conductivity of thoria–lanthana solid solutions up to 10 mol.% LaO1.5 / Dheeraj Jain., C.G.S. Pillai, B.S. Rao, R.V. Kulkarni, E. Ramdasan, K.C. Sahoo // J. Nucl. Mater. – 2006. – Vol. 35. – P. 35 – 41.
14. Thermal conductivity mapping of pyrolytic carbon and silicon carbide coatings on simulated fuel particles by time-domain thermorefectance / E. Lopez-Honorato, C. Chiritescu, P. Xiao, David G. Cahill, G. Marsh, T.J. Abram // J. Nucl. Mater. – 2008. – Vol. 378. – P. 35 – 39.
15. Thermal properties of Ti₃SiC₂ / M.W. Barsoum, T. El-Raghy, C.J. Rawn, W.D. Porter, H. Wang, E.A. Payzant, C.R. Hubbard // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1999. – Vol. 60. – P. 429 – 439.
16. Prismatic coupled neutronics/thermal fluids transient benchmark of the mhtgr-350 mw core design / Hans G. Javier O. Michael A. Pope S. Sen G. // Advanced Materials Research. – 2000. – Vol. 57. – P. 419 – 429.
17. A Treatise on Electricity and Magnetism / J.C. Maxwell. – Clarendon Press: Oxford, 1881. – 538 p.

18. K. Pietrak and T. S. Wisniewski / A review of models for effective thermal conductivity of composite materials // J. Power Tech. – 2014. – Vol. 95. – P. 14–24.
19. Wang, J. K. Carson, M. F. North and D. J. Cleland / A new structural model of effective thermal conductivity for heterogeneous materials with co-continuous phases // J. Heat Mass Transf. – 2008. – Vol. 51. – P. 2389–2397.
20. L. Gong, Y. Wang, X. Cheng, R. Zhang and H. Zhang / A review of models models of effective thermal conductivity for heterogeneous materials with co-continuous phases // J. Heat Mass Transf. – 2014. – Vol. 68. – P. 295–298.
21. P. Zehner, and E. U. Schlunder / Wärmeleitfähigkeit von Schüttungen bei mäßigen Temperaturen // Chemie. Ingr-Tech. – 1970. – Vol. 42. – P. 933–941.
22. C.T. Hsu, P. Cheng, and K.W. Wong / The Brinkman model for natural convection about a semi-infinite vertical flat plate in a porous medium // J. Heat Mass Transf. – 1994. – Vol. 37. – P. 2751–2759.
23. E. E. Gonzo / Estimating correlations for the effective thermal conductivity of granular materials // J. Chem. Engine. – 2002. – Vol. 90. – P. 299–302.
24. Effective Thermal Conductivity of Tri-Isotropic (TRISO) Fuel Compacts / C.P. Folsom // Master's thesis. – Utah State University. – 2012. – P. 94.
25. F. Charles, X. Changhu, J. Colby, B. Heng, W. M. Douglas / Experimental measurement and numerical modeling of the effective thermal conductivity of TRISO fuel compacts // J. Nucl. Mater. – 2015. – Vol. 458. – P. 198–205.
26. Мультифизическое моделирование теплообменных процессов/ COMSOL Multiphysics [Электронный ресурс]. URL:comsol.ru (дата обращения : 23.04.19).
27. Н.П. Жуков. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий. - М.:Издательство Машиностроение – 1,2004. – 132 с [Электронный ресурс]. Систем. требования:

Adobe Acrobat Reader. – URL:Tstu.ru\book\elib\pdf\jukov.pdf (дата обращения : 09.05.19).

28. Мультифизическое моделирование теплообменных процессов Wolfram Mathematica [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wolfram.com> (дата обращения : 02.05.19).

29. Investigation of local heat transfer phenomena in a Pebble Bed HGTR core / R. Stainsby // AMEC NSS Limited. – NR001/RP/002 R01. – P.489.

30. Дульнев Г.Н, Заричняк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

31. Шелудяк Ю.Е., Кашпоров Л.Я., Малинин Л.А., Цалков В.Н. Теплофизические свойства компонентов горючих систем. Справочник. – М.: НПО Информ ТЭИ. – 1992. – 92 с.

32. Шелудяк Ю.Е., Кашпоров Л.Я., Малинин Л.А., Цалков В.Н. Теплофизические свойства компонентов горючих систем. Справочник. – М.: НПО Информ ТЭИ. – 1992. – 92 с.

33. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.

34. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно–эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542–96; введ. 2003–06–30. – М: Российская газета, 2003. – 3

35. ГОСТ 12.1.038–82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983–01–07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с

36. 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.

Приложение А

(обязательное)

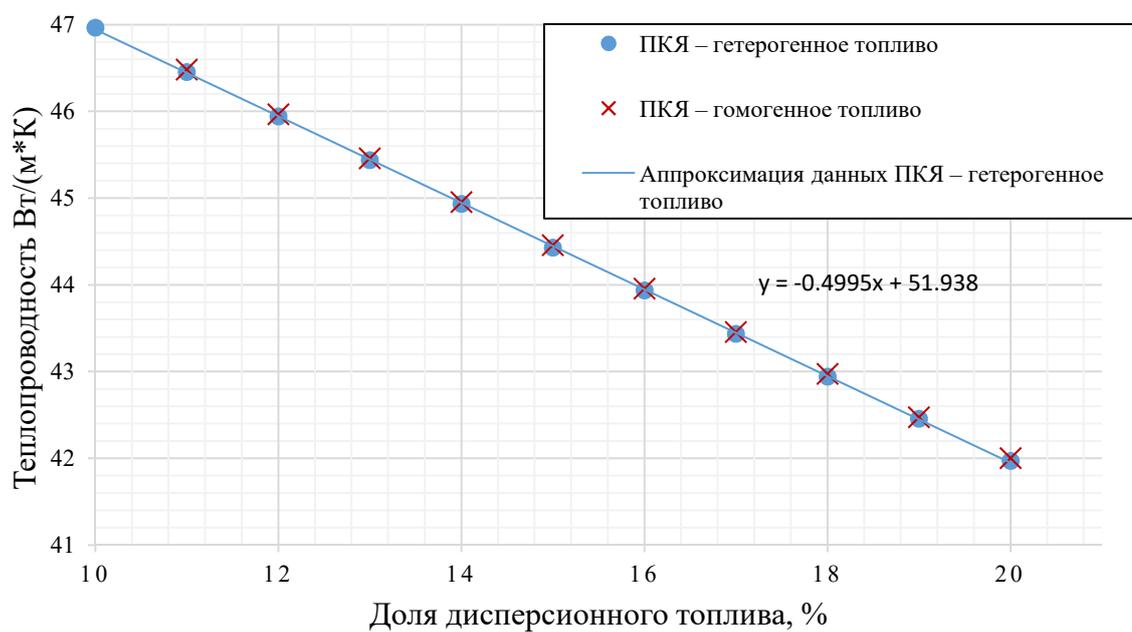


Рисунок А.1 – Зависимость теплопроводности от доли топливной фазы для гетерогенной и гомогенизированной частиц, ПКЯ

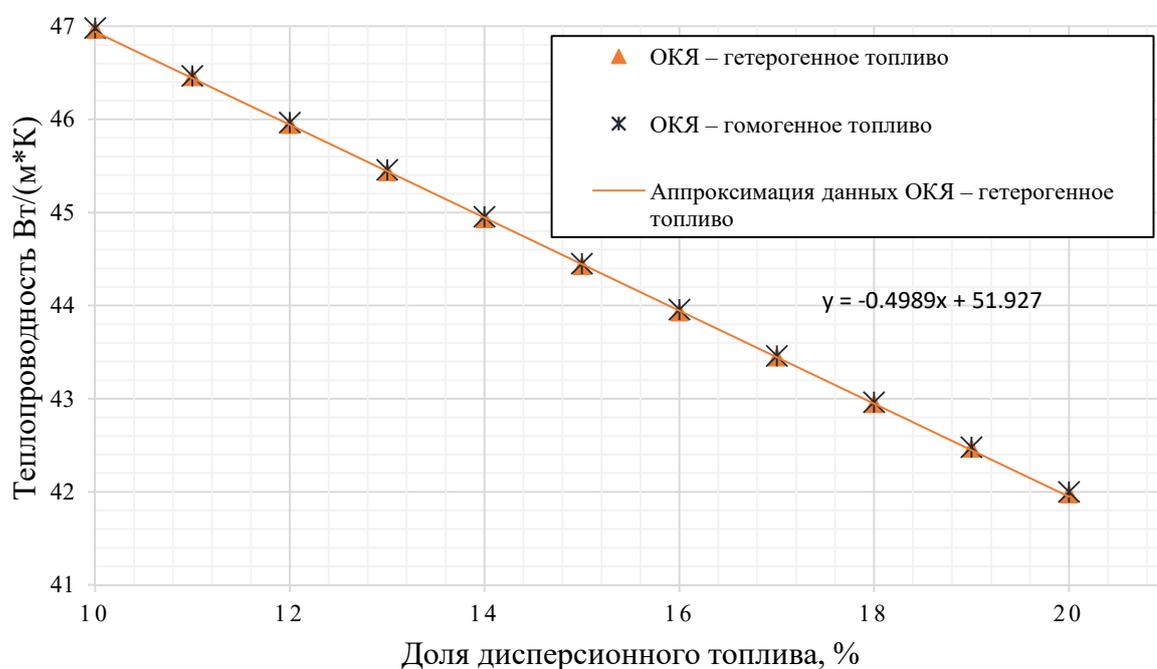


Рисунок А.2 – Зависимость теплопроводности от доли топливной фазы для гетерогенной и гомогенизированной частиц, ОКЯ

Продолжение приложения А.

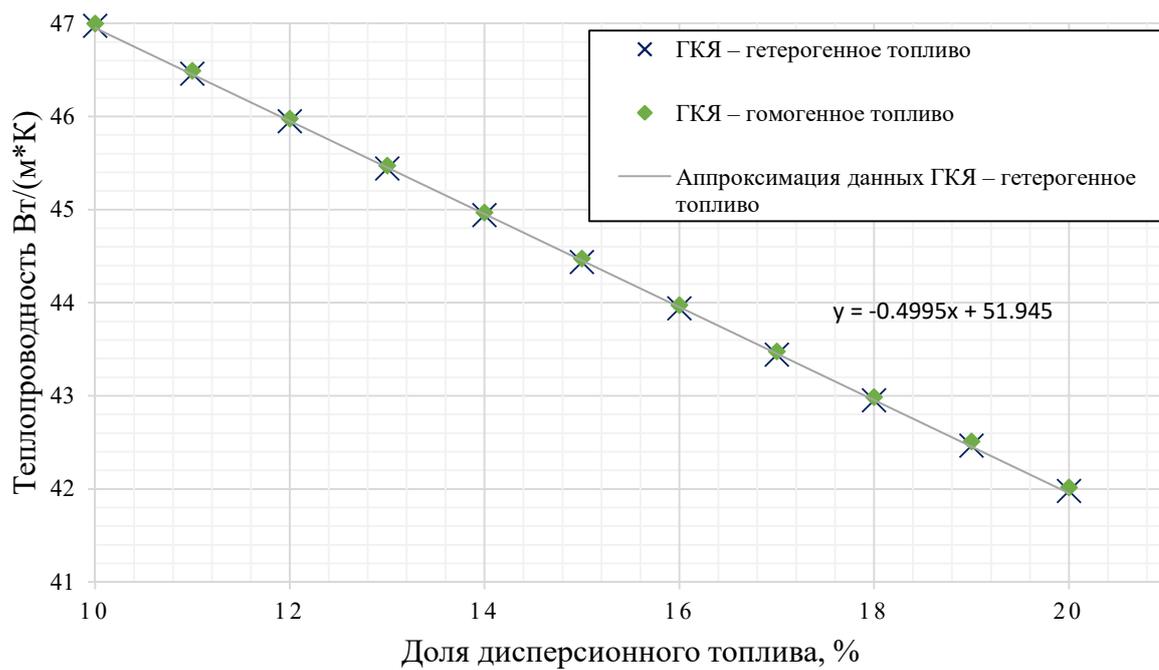


Рисунок А.3 – Зависимость теплопроводности от доли топливной фазы для гетерогенной и гомогенизированной частиц, ГКЯ

Приложение Б

(обязательное)

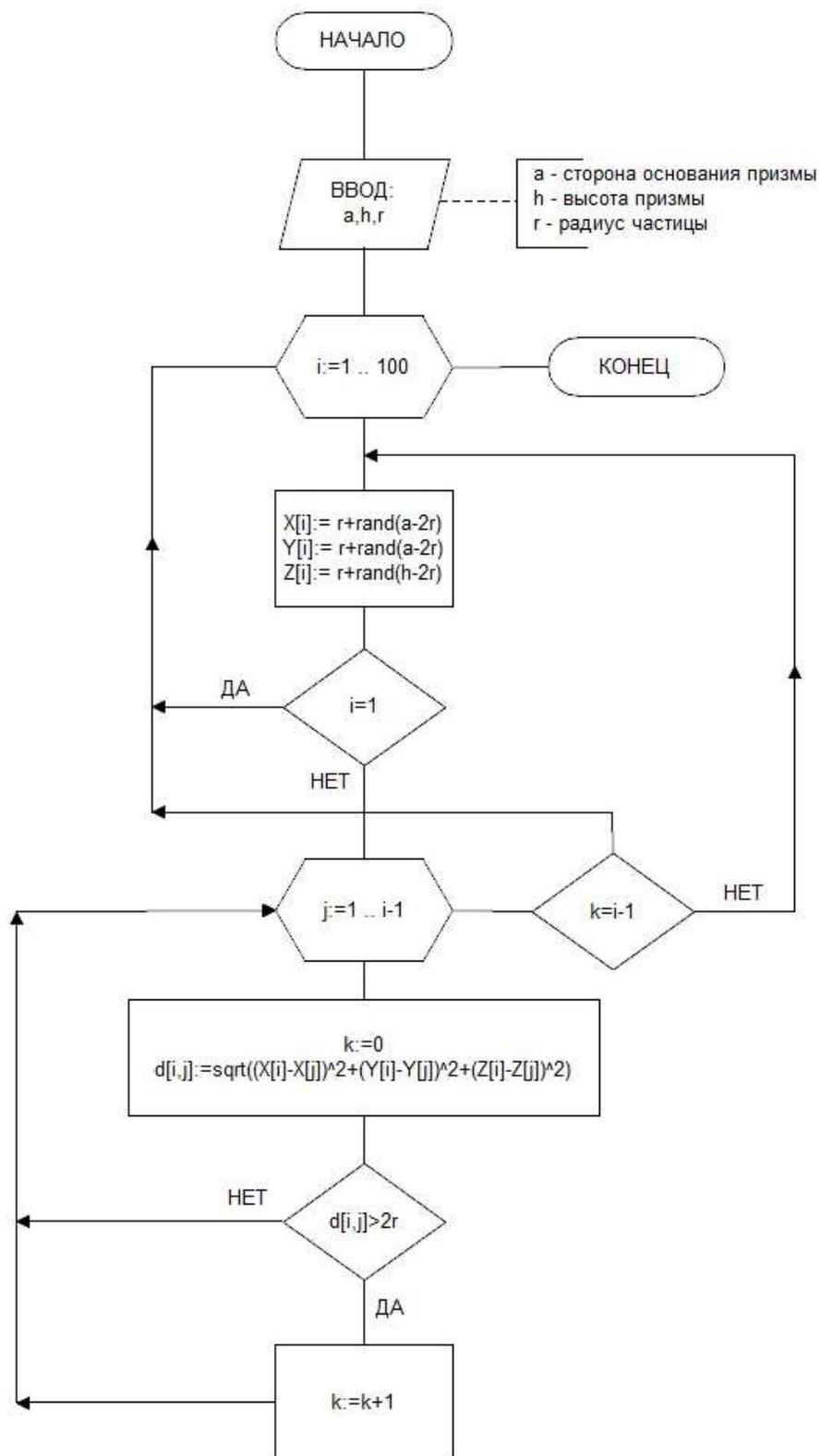


Рисунок Б.1 – Блок – схема алгоритма генерации координат частиц внутри призмы.