

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Определение нейтронно-физических параметров реактора ИВГ1.М	
УДК 621.039.519:621.039.524	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Андреев Игорь Николаевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.МЭН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф.ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения

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

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.04.02. Ядерная физика и технологии
 Кафедра Физико – энергетические установки

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Андреев Игорь Николаевич

Тема работы:

Определение нейтронно-физических параметров реактора ИВГ1.М
Утверждена приказом директора

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Конструкция и нейтронно – физические параметры реактора ИВГ1.М. Особенности работы с программой MCSU5. Особенности конструкции перспективных ТВЭЛов для реактора ИВГ1.М.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Создание расчетной модели реактора ИВГ1.М. Тестирование этой модели. Нейтронно – физические расчеты с помощью программы MCSU5. Анализ полученных результатов и выбор оптимальных параметров перспективных ТВЭЛов.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент кафедры менеджмента, к.экон.н. Верховская М.В..
Социальная ответственность	ассистент кафедры ПФ ФТИ, к.ф.- м.н. Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Карбышева О.В.

Название раздела, который должен быть написан на русском и иностранном языках:
Описание исследовательского реактора ИВГ.1М
Выбор материала топлива с НОУ
Расчетная модель реактора

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.02.2017
---	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чертков Ю.Б.	к.ф-м.н		1.02..2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Андреев И.Н.		1.02.2017

Реферат

Выпускная квалификационная работа 92 страниц 22 рисунка, 29 таблиц, 29 источников, 2 приложений.

Ключевые слова: ИВГ1.М, активная зона, твэл, керметное топливо.

Объектом исследования является модернизация исследовательского реактора ИВГ1.М.

Цель работы – исследование возможности замены существующего высокообогащенного топлива активной зоны реактора ИВГ.1М на новое керметное топливо с обогащением по ^{235}U не более 20%, и приведение параметров реактора к требованиям, предъявляемым к исследовательским реакторам такого типа.

Актуальность работы решение проблемы по нераспространению ядерно-опасных материалов путем снижения обогащения ядерного топлива исследовательских реакторов, а также усовершенствование нейтронно-физических характеристик исследовательского реактора ИВГ1.М.

В результате исследования:

- создана расчетная модель активной зоны с помощью программы MCU5;
- рассчитано изменение запаса реактивности во времени;
- рассчитана оптимальная загрузка реактора по ^{235}U .

Выпускная квалификационная работа выполнена в программе MCU5.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЗ – активная зона;

ВОТК – водоохлаждаемый технологический канал;

ИВГ.1М – исследовательский водоохлаждаемый реактор, модернизированный;

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии;

MCNP – англ. the Monte Carlo N-Particle – Монте-Карло N-частицы;

НФР – нейтронно-физический расчет;

ПД – продукты деления;

ПК – петлевой канал;

РБ – регулирующий барабан;

RERTR – программа по снижению обогащения исследовательских и испытательных реакторов;

СКР – стержень компенсации реактивности;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

Твэл – тепловыделяющий элемент;

ТК – технологический канал;

ФКЭ – физический канал экспериментальный.

КНТ – карбонитрид

СУЗ – стержни управления защитой

ЯРД – ядерный ракетный двигатель

НЯЦ РК – Национального Ядерного Центра Республики Казахстан

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1 Литературный обзор.....	10
1.1 Описание исследовательского реактора ИВГ.1М.....	10
1.1.1 Общие сведения.....	10
1.1.2 Корпус с экранами и крышкой.....	10
1.1.3 Отражатель с регулирующими барабанами.....	13
1.1.4 Центральная сборка.....	14
1.1.5 Водоохлаждаемый технологический канал.....	17
1.1.6 Канал петлевой.....	19
1.1.7 Канал петлевой с вытеснителем.....	19
1.1.8 Канал источника.....	20
1.1.9 Исполнительный механизм регулирующего барабана.....	20
1.2 Программное обеспечение и расчетная методика.....	21
1.2.1 Краткое описание метода Монте-Карло.....	21
1.2.2 Описание MCU.....	25
1.2.3 Общие сведения.....	26
1.2.4 Граничные условия.....	27
1.2.5 Описание геометрии.....	27
1.2.6 Константное обеспечение.....	29
1.2.7 Накапливаемый источник.....	30
1.3 Выбор материала топлива с НОУ.....	31
1.3.1 Керметное топливо.....	31
2 Расчетная модель реактора.....	38
2.1 Описание модели.....	38
2.1.1 Тестирование модели.....	41
2.2 Результаты расчета.....	45
2.2.1 Нейтронно-физические параметры АЗ.....	45
2.2.2 Влияния процессов выгорания и шлакования топлива на реактивность.....	51
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
3.1 Предпроектный анализ.....	55
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	55
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55
3.2 SWOT-анализ.....	58
3.3 Инициация проекта.....	63
3.3.1 Организационная структура проекта.....	63

3.3.2 Ограничения и допущения проекта.....	64
3.4 Планирование управления научно – техническим проектом.....	65
3.4.1 Иерархическая структура работ проекта.....	65
3.4.2 Контрольные события проекта.....	65
3.4.3 План проекта.....	66
3.4.4 Бюджет научного исследования.....	68
3.5 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	73
4 Социальная ответственность.....	76
4.1 Анализ выявленных вредных факторов при работе на ПЭВМ.....	76
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ.....	78
4.2.1 Организационные мероприятия.....	78
4.2.2 Технические мероприятия.....	78
4.2.3 Условия безопасной работы.....	81
4.3 Электробезопасность.....	83
4.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	84
Обсуждение результатов.....	87
Заключение.....	88
Список публикаций.....	89
Список использованных источников.....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	93
Приложение Б.....	94

Введение

На сегодняшний день в Республике Казахстан существуют три исследовательских реактора. Реакторы находятся в эксплуатации институтов Национального Ядерного Центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). Одним из этих реакторов является реактор ИВГ.1М, расположенный на территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона на комплексе исследовательских реакторов «Байкал-1» дочернего государственного предприятия «Институт атомной энергии» республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК). В свое время, обладая уникальными нейтронно-физическими характеристиками, реактор предназначался для проведения испытаний ЯРД и разрабатываемых активных зон реакторов. Однако в данное время реактор используется лишь для проведения ряда облучательных экспериментов.

Исследовательский реактор ИВГ.1М является последней модернизацией реактора ИВГ1, который проектировался для исследования прототипов ядерных ракетных двигателей (ЯРД). Физический пуск реактора ИВГ1 состоялся в 1972 году [1], энергетический в 1975 году. Последняя модернизация реактора была проведена в 1990 году. Результатом которой стала замена газового теплоносителя с открытым выхлопом в атмосферу на водяной теплоноситель с циркуляцией его в замкнутом контуре. Органы управления реактора оставались прежними. Этим обеспечена сама возможность работы реактора в современных условиях (без загрязнения внешней среды радиоактивными продуктами). Основную функцию управления реактором выполняют регулирующие барабаны (РБ), расположенные в отражателе реактора.

1 Литературный обзор

1.1 Описание исследовательского реактора ИВГ.1М

1.1.1 Общие сведения

Реактор ИВГ.1М представляет собой исследовательский водо-водяной гетерогенный реактор на тепловых нейтронах с легководными замедлителем и теплоносителем и бериллиевым отражателем нейтронов [2].

В реактор ИВГ.1М входят следующие основные узлы:

- корпус с экранами и крышкой;
- отражатель с регулирующими барабанами;
- центральная сборка;
- канал петлевой;
- канал петлевой с вытеснителем;
- канал источника;
- исполнительные механизмы регулирующих барабанов;
- технологические каналы.

1.1.2 Корпус с экранами и крышкой

Корпус реактора представляет собой сварной цилиндрический сосуд из стали марки 08X18H10T с максимальным диаметром 1740 мм и высотой 4460 мм. Толщина стенки на уровне активной зоны - 60 мм. Корпус рассчитан на рабочее давление воды 5 МПа (50 кгс/см²) и предназначен для размещения в нем основных узлов реактора.

Собственно корпус состоит из фланца, имеющего прорези для установки верхнего байонетного замка, ступенчатой цилиндрической обечайки и днища с горловиной. Корпус устанавливается в опорной металлоконструкции, центрируется и крепится к ней при помощи 4-х специальных шпонок. К фланцу корпуса приварены 6 патрубков для подвода охлаждающей воды к

крышке. В нижней части корпуса расположены 15 патрубков: 5 патрубков - для подвода воды в отражатель, 5 патрубков - в центральную сборку и 5 патрубков - для отвода воды из реактора. Кроме того, в горловине днища корпуса имеется два патрубка для отвода воды из дренажной камеры центральной сборки.

Изнутри в корпус вварены боковой и торцевой экраны, основное назначение которых уменьшить уровни нейтронного и гамма-излучений, действующих на корпус.

С верхнего торца корпус реактора закрывается крышкой, представляющей собой сварную конструкцию, состоящую из двух плит из стали марки 08X18H10T. На верхней плите крышки крепится надстройка.

В верхней плите имеется 36 радиальных отверстий для прохода воды, охлаждающей периферийную часть крышки. Для повышения скорости движения воды в отверстия устанавливаются стержни-вытеснители. В центральной части крышки имеются 30 вертикальных отверстий для прохода технологических каналов, одно отверстие для прохода канала петлевого и 42 вертикальных отверстия со стержнями-вытеснителями для прохода охлаждающей крышку воды.

Под крышкой расположены экраны, имеющие такое же назначение, что и боковой и торцевой экраны корпуса.

Схема вертикального разреза реактора ИВГ.1М приведена на рисунке 1, а основные параметры в таблице 1.

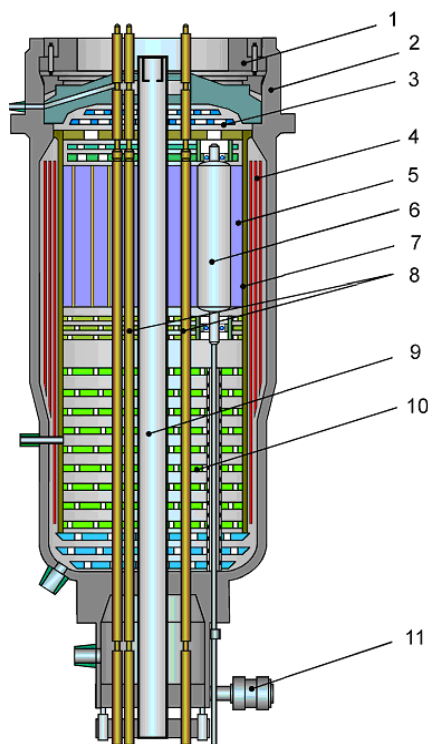


Рисунок 1 – Схема вертикального разреза реактора ИВГ.1М

1-крышка; 2-корпус; 3-верхние экраны; 4-боковые экраны; 5-отражатель; 6-регулирующие барабаны; 7-центральная сборка; 8-технологические каналы; 9-петлевой экспериментальный канал; 10-железо-водная защита; 11-привод регулирующих барабанов

Таблица 1 – Основные параметры реактора ИВГ.1М

Наименование параметра	Значение
Максимальная тепловая мощность реактора	72 МВт
Состав активной зоны	30 каналов типа ВОТК
Эквивалентный диаметр активной зоны	548 мм
Высота активной зоны (ТВС ВОТК)	
1-ый ряд, 2-ой ряд	800 мм
3-ий ряд	600 мм
Загрузка каналов ВОТК по урану-235, г/канал	
1,2 ряд	165± 5
3 ряд	145±5
Количество ТВС ВОТК, шт	
1-ый ряд	6
2-ой ряд	6
3-ий ряд	18
Топливо	сплав U и Zr
Обогащение топлива ТВС ВОТК по ^{235}U	90%

Продолжение таблицы 1

Загрузка ^{235}U	4,6 кг
Теплоноситель	Вода
Параметры теплоносителя:	
Расход	до 300 кг/с
Поток тепловых нейтронов в петлевом канале	$3,4 \cdot 10^{14} \text{ н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$
Число РБ	10 шт.
Суммарная эффективность системы РБ	$11,3 \pm 0,3 \beta_{\text{эф}}$
Число стержней СКР	12 шт.
Суммарная эффективность стержней СКР	$4,8 \pm 0,1 \beta_{\text{эф}}$
Запас реактивности	$6,0 \pm 0,2 \beta_{\text{эф}}$
Продолжительность работы реактора (на уровне мощности 60 Мвт)	до 2 часов

1.1.3 Отражатель с регулирующими барабанами

Для уменьшения размеров активной зоны и загрузки урана-235, а также для выравнивания нейтронного поля по радиусу и высоте в конструкции реактора предусмотрены боковой и нижний торцевой отражатели из бериллия. Конструктивно все узлы и детали отражателя объединены в одну сборку, которая устанавливается на опорный бурт в боковом экране корпуса и крепится к нему при помощи 10-ти поворотных скоб.

Боковой кольцевой отражатель расположен вокруг активной зоны и имеет толщину 250 мм. В состав отражателя входят регулирующие барабаны, являющиеся основными органами компенсации реактивности, регулирования и аварийной защиты реактора.

Десять РБ диаметром 232 мм расположены по окружности диаметром 840 мм. Конструктивно РБ состоит из 2-х основных частей: блока вытеснителя и подвижного блока.

Блок вытеснителя выполнен из 3-х эксцентричных колец и центрального стержня, которые крепятся сверху и внизу к решеткам, изготовленным из стали марки 08Х18Н10Т. Верхняя решетка выполнена за одно целое с валом, за который подвешивается весь регулирующий барабан.

Центральный стержень и эксцентричные кольца блока вытеснителя изготовлены из бериллия, при этом толщина колец спрофилирована таким образом, чтобы максимально уменьшить градиенты температуры по периметру колец.

Подвижный блок РБ представляет собой цилиндрическую обечайку из бериллия, на которой в секторе 112° укреплен поглощающий слой, состоящий по высоте из 4-х секций. Каждая секция состоит из 21 поглощающего элемента, 17 из которых представляют собой тонкостенные трубки наружным диаметром 8 мм из титан-гадолиниевого сплава марки ТГ-702, заполненные блочками из борала, а остальные 4 элемента - стержни диаметром 8 мм из титан-гадолиниевого сплава марки ТГ-702.

Подшипниковые узлы, расположенные в верхней и нижней частях РБ, обеспечивают вращение подвижного блока относительно неподвижного блока вытеснителя. В составе нижнего подшипникового узла имеется цанговая опора, позволяющая компенсировать в радиальном и осевом направлениях неточности сборки, а также температурные деформации РБ, возникающие при работе реактора.

1.1.4 Центральная сборка

Центральная сборка предназначена для установки и крепления в ней технологических каналов, петлевого канала или петлевого канала с вытеснителем, подвижных стержней системы компенсации реактивности и канала источника. В центральной сборке расположены также части бокового и торцевого отражателей. Центральная сборка совместно с крышкой корпуса реактора обеспечивает фиксацию (дистанционирование) каналов в пределах заданной решетки.

Центральная сборка представляет собой сборно-сварную конструкцию цилиндрической формы с максимальным наружным диаметром 603 мм и высотой 4585 мм. Основными узлами ее являются железо-водная защита, вытеснитель в сборе и 12 подвижных стержней.

Железо-водная защита наряду с торцевыми экранами корпуса реактора, заполненными водой, является составной частью биологической защиты и обеспечивает благоприятную радиационную обстановку в подреакторном помещении. Она состоит из нижней плиты, являющейся основанием сборки и одновременно закрывающей отверстие в горловине днища корпуса реактора, 27 плит с отверстиями для прохода воды и размещения ТК и петлевого канала и 12 механизмов вращения, обеспечивающих перемещение по высоте подвижных стержней СКР.

Основной конструкционный материал ЖВЗ - сталь марки 08X18H10T.

Вытеснитель в сборе состоит из верхней и нижней решеток, изготовленных из титанового сплава, центрального и бокового вытеснителей, блоков торцевого отражателя, 24 межканальных вытеснителей, изготовленных из бериллия и ряда крепежных элементов, изготовленных из стали марки 08X18H10T, циркониевого и титанового сплавов. Центральный и боковой вытеснители - это толстостенные сложной геометрической формы кольца из бериллия, устанавливаемые между нижней и верхней решетками. Наличие центрального вытеснителя позволяет получить “всплеск” нейтронного потока в петлевом канале. Боковой вытеснитель является частью бокового отражателя активной зоны. И боковой, и центральный вытеснители охлаждаются водой, проходящей по вертикальным отверстиям, расположенным по всей высоте вытеснителей; внутри отверстий для обеспечения требуемой скорости движения воды установлены стержни различной геометрической формы.

К верхней решетке с помощью специальных шпилек подвешены межканальные бериллиевые вытеснители.

На нижней решетке расположены различной формы блоки, являющиеся торцевым отражателем. В блоках центрируются нижней частью межканальные вытеснители.

Для компенсации возможных неточностей в расчетах, а также изменений реактивности в процессе эксплуатации реактора, в центральной сборке имеется система СКР, состоящая из 12 подвижных стержней, расположенных

в центральном вытеснителе. Каждый подвижный стержень состоит из бериллиевой втулки с установленными в нее стержнями-вытеснителями, циркониевого кожуха, необходимого для обеспечения требуемой скорости воды, охлаждающей стержень, при различных его положениях по высоте, ходового винта и механизма вращения. Соединение подвижного стержня с ходовым винтом осуществляется с помощью шарнира. Изменение реактивности с помощью подвижных стержней производится путем их перемещения по высоте при вращении вручную вала механизма. Эти работы проводятся при проведении физического пуска реактора, находящегося в заведомо подкритическом состоянии.

В составе центральной сборки имеется также 9 ячеек (в центральном и межканальном вытеснителях), позволяющих устанавливать в каждую из них малогабаритные экспериментальные устройства до 8 мм диаметром.

Пять указанных ячеек заняты кассетами с образцами-свидетелями, изготовленных из тех же материалов и скомплектованных в тех же сочетаниях, что и в отражателе и центральной сборке. По результатам обследований образцов, периодичность которых не реже 1 раза в 1,5 года, выдаются заключения о состоянии узлов и деталей, входящих в состав отражателя и центральной сборки.

В одну из ячеек установлена термопара, измеряющая температуру воды под крышкой корпуса реактора.

В остальные ячейки установлены «сухие» гильзы, позволяющие разместить в них различные детекторы при проведении физических пусков и исследований.

Крепление указанных кассет, термопары и гильз производится в нижней плите центральной сборки.

Назначение указанных ячеек в зависимости от целей и задач исследований может меняться. В частности, в них могут устанавливаться измерители мощности (датчики прямой зарядки) в пределах указанного диаметра для со-

поставления с показаниями ионизационных камер, входящих в состав СУЗ, с целью более точного контроля за уровнем мощности реактора.

1.1.5 Водоохлаждаемый технологический канал

Водоохлаждаемый технологический канал (ВОТК) состоит из пяти легкоразъемных узлов: корпуса, автономной тепловыделяющей сборки, блоков биозащиты, головки сверху и хвостовика снизу. Блочная конструкция ВОТК позволяет осуществлять быструю замену ТВС. В составе активной зоны используются две модификации ВОТК, различающиеся по конструкции пакета твэлов.

Корпус представляет собой гладкую цилиндрическую трубу, в которой с помощью неподвижного и пружинного внутренних торцевых упоров фиксируется ТВС и биозащита.

ТВС состоит из тонкостенной цилиндрической обоймы, торцевых проницаемых решеток и пакета твэлов внутри. Скрепление всех элементов ТВС в единый блок осуществляется с помощью стержня, установленного по центру пакета и стягивающего ТВС по оси. Выступающий вверху конец стержня позволяет извлекать и устанавливать ТВС в сборе в корпус. Боковая обойма состоит из отдельных втулок, изготовленных из сплава АМГ5. В торцевой решетке отверстия для прохода воды образованы двумя рядами пазов, профрезерованных с каждой стороны решетки во взаимно перпендикулярных направлениях.

Пакет твэлов в ТВС выполнен в двух модификациях, которые различаются по длине и количеству твэлов. В первой модификации пакет состоит из 468 твэлов (длиной 600 мм каждый), уложен по треугольной решетке и упруго уплотнен в обойме с помощью цилиндрических заполнителей. Вторая модификация пакета твэлов отличается тем, что к блоку из твэлов длиной 600 мм. добавлен дополнительный блок длиной 200 мм., состоящий из 456 твэлов. Общая длина пакета твэлов второй модификации составляет 800 мм.

Головка служит для дистанционирования ТК в отверстии верхней плиты реактора и представляет собой толстостенный пенал, внутреннее пространство которого заполнено графитом. Дно пенала выполнено в виде конуса для отбоя потока воды вниз. Сверху пенал заворачивается наконечником, представляющим собой фигурную пробку (спрофилированную под захват перегрузочного устройства). Снизу к головке приварен переходник, центрирующийся по насадке, с четырьмя щелевыми окнами для входа воды.

Блок биозащиты состоит из пробки и втулки, размещаемых в корпусе таким образом, чтобы предотвратить прямой прострел нейтронов и гамма-излучения и в то же время пропустить воду в канал без значительного гидросопротивления.

Хвостовик представляет собой ступенчатую трубу, верхней частью соединяющейся с корпусом, а нижней цилиндрической частью уплотняющейся в приемном гнезде устройства отвода воды. В нижнем торце хвостовика выполнено отверстие для прохода воды. На входном участке хвостовика расположен шариковый замок, осуществляющий фиксацию канала в реакторе.

Характеристики ВОТК и твэлов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Основные характеристики ВОТК

Параметр	Численное значение
1 Диаметр по корпусу, мм	76
2 Длина, мм	4990
3 Масса, кг	60
4 Диаметр пакета твэлов, мм	66,4
5 Длина пакета твэлов, мм	800 (для 1-го и 2-го рядов ВОТК) 600 (для 3-го ряда ВОТК)

Таблица 2 – Характеристики твэлов

Параметр	Численная величина
Тип твэла	Оболочковый спирально-стержневой двухлопастного профиля
Длина, мм для ТВС ВОТК 1-го и 2-го рядов для ТВС ВОТК 3-го ряда	800 (600+200) 600
Диаметр описанной окружности, мм	2,8
Ширина лопасти, мм	1,5

Продолжение таблицы 2

Шаг спирали, мм	30
Материал оболочки	Цирконий – ниобиевый сплав Э110, на торцах - никель
Масса, г	22,4±0,2
Топливный материал сердечника	уран-циркониевый сплав
Концентрация урана в сердечнике, % масс	3-5
Обогащение по U^{235} , %	90
Максимальная температура поверхности, °С	110
Максимальный тепловой поток с поверхности. МВт/м ²	1
Допустимая температура топлива, °С	850

1.1.6 Канал петлевой

Канал петлевой устанавливается в центральную ячейку реактора и предназначен для размещения и крепления в нем технологического канала при проведении петлевых испытаний ТВС. Кроме того, в петлевом канале размещается исполнительный механизм стержней дополнительной аварийной защиты (ДАЗ).

Канал петлевой представляет собой сборно-сварную конструкцию цилиндрической формы с максимальным наружным диаметром 160 мм. На уровне активной зоны в петлевом канале размещен состоящий из двух коаксиальных бериллиевых втулок вкладыш, предназначенный для увеличения нейтронного потока в установленной в петлевом канале ТВС. Внутренний диаметр канала петлевого 80 мм.

1.1.7 Канал петлевой с вытеснителем

Канал петлевой с вытеснителем устанавливается в центральную ячейку реактора при проведении групповых испытаний ТВС. На уровне активной зоны практически все поперечное сечение канала занимает вытеснитель, состоящий из шести коаксиальных втулок и центрального стержня, изготовленных из бериллия.

1.1.8 Канал источника

Канал источника предназначен для размещения источника нейтронов, используемого при пусках реактора, и представляет собой гильзу из стали 08X18H10T, в которой, кроме ампулы с источником, расположены верхний и нижний дроссели, пружина-амортизатор и защитная пробка.

Канал источника устанавливается в центральную сборку.

Ввод источника в активную зону осуществляется путем подачи воды в гильзу. Гильза имеет такую длину, что во взведенном состоянии ампула с источником располагается в торцевом отражателе и при заданном расходе воды удерживается в этом положении.

После вывода реактора на минимально контролируемый уровень мощности направление движения воды в гильзу меняется за счет переключения положения клапана гидравлической системы взвода источника, ампула с источником опускается и при работе реактора находится в нижнем положении.

1.1.9 Исполнительный механизм регулирующего барабана

Исполнительный механизм РБ состоит из шагового двигателя с редуктором, вала вертикального, привода исполнительного механизма с встроенными датчиками угловых и конечных положений РБ и возвратной пружины. Каждый РБ связан со своим приводом вертикальным валом через шлицевые зацепления. Исполнительный механизм обеспечивает поворот РБ с заданной скоростью с помощью шагового двигателя, подключенного к специальному блоку управления. Разворот РБ в исходное состояние (ввод поглощающего слоя в активную зону) осуществляется со скоростью, определяемой причиной разворота, т.е. с помощью шагового двигателя или возвратной пружины при обесточенном шаговом двигателе [3].

1.2 Программное обеспечение и расчетная методика

1.2.1 Краткое описание метода Монте-Карло

MCU - многоцелевой метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронного, фотонного, комбинированного нейтрон- фотонного и фотон- электронного излучения в произвольной трёхмерной геометрии. Его можно использовать для различных режимов переноса: только нейтроны, только фотоны, только электроны, совмещённый перенос фотонов- нейтронов, где фотоны образуются из взаимодействия нейтронов, нейтронов- фотонов- электронов, фотонов- электронов или электронов- фотонов. Область представления энергий нейтронов от 10-11 МэВ до 20 МэВ, и область представления энергий фотонов и электронов от 1 КэВ до 1000 МэВ. Возможное решение сопряжённых задач, задач с временной зависимостью, а также задач на критичность.

Пользователь создаёт файл с входными данными, который потом будет обработан программой MCU. Этот файл содержит информацию по задаче в следующих областях:

- реализация геометрии;
- описание материалов и выбор библиотек сечений взаимодействия;
- размещение и характеристики нейтронного, фотонного или электронного источника;
- тип нужных функционалов или количество историй (подсчётов);
- специальные способы уменьшения статистической погрешности расчёта. (Любые методы уменьшения погрешности, используемые для улучшения эффективности).

Методы Монте-Карло очень отличаются от детерминистских методов расчёта переноса излучения. Детерминистские методы, самый распространённый из которых метод дискретных ординат, решают уравнение переноса излучения частиц в общем. Напротив, метод Монте-Карло не решает уравнение в чистом виде, но он помогает в получении ответов, моделируя отдель-

ные частицы и записывая некоторые аспекты («tallies»- подсчёты) их поведения в среднем. Далее поведение частиц в среднем в физической системе выводится (с использованием центральной предельной теоремы) из среднего поведения смоделированных частиц. Не только упомянутые методы являются различными путями решения проблемы, даже то, что составляет решение также различаются. Детерминистские методы обычно дают полную информацию (например, поток) на протяжении всего фазового пространства задача, Монте-Карло дает информацию только о конкретных подсчетах, запрашиваемых пользователем.

Когда сравниваются методы Монте-Карло и дискретных ординатах, часто говорят, что Монте-Карло решает интегральное уравнение переноса излучения, тогда как метод дискретных ординат решает интегро- дифференциальное уравнение переноса. Два факта в этом заявлении вводят в заблуждение. Во-первых, интегральное и интегрально-дифференциальное уравнения переноса являются двумя разными формами одного и того же уравнения; если решено одно, другое также будет решено. Во- вторых, Монте-Карло «решает» проблему перемещения скорее моделируя историю частиц, чем, решая уравнение. Никакое уравнение переноса не нуждается в том, чтобы его описывали, чтобы решить проблему переноса излучения методом Монте-Карло. Всё же, можно вывести уравнение, которое описывает плотность вероятности частиц в фазовом пространстве; это уравнение такое же, как и интегральное уравнение переноса.

Без введения интегрального уравнения переноса, поучительно расследовать, почему метод дискретных ординат связан с интегрально - дифференциальным уравнением и почему метод Монте-Карло также связан с интегральным уравнением. Метод дискретных ординат рассматривает фазовое пространство разделённым на множество ячеек, и частицы перемещаются от одной ячейки к другой. В конце, поскольку ячейки становятся меньше, частицы, двигаясь от одной ячейки к другой, используют дифференциальное расстояние в пространстве. В пределе, это приводит к интегрально - диффе-

ренциальному уравнению переноса, которое имеет производные в пространстве и времени. Напротив, метод Монте-Карло перемещает частицы между событиями (n-р, столкновение), которые разделены в пространстве и времени. Ни дифференциальное пространство, ни время - не являются параметрами перемещения Монте-Карло. Интегральное уравнение не имеет производных ни в пространстве, ни во времени.

Монте-Карло очень удобен при решении сложных трёхмерных нестационарных задач. Поскольку метод Монте-Карло не использует ячейки фазового пространства, не существует средних приближений, требуемых в пространстве, по энергии и во времени. Это особенно важно в принятии подробного представления всех аспектов физических данных.

Монте-Карло можно использовать для теоретического дублирования статистического процесса (такой как взаимодействие ядер с материалами) и особенно полезен для сложных задач, которые не могут быть смоделированы компьютерными расчетными программами, использующими детерминистские методы. Отдельные вероятностные события, составляющие процесс моделируются последовательно. Вероятные распределения, управляющие этими событиями, статистически разыгрываются для описания всех явлений. В общем, моделирование выполняется на цифровом компьютере, потому что количество испытаний, необходимое для адекватного описания явления, обычно очень большое. Статистический процесс розыгрыша основывается на выборе случайного числа, сходном бросанию костей в казино. Отсюда название «Монте-Карло». В решении задач переноса частиц метод Монте-Карло особенно реалистичен (как теоретический эксперимент). Он состоит из отслеживания каждой частицы, вылетающей из источника на протяжении всей её жизни до её смерти, говоря категориями терминов (поглощение, утечка и т. д.). Вероятностные распределения произвольно разыгрываются с использованием данных по перемещению, чтобы определить результат на каждом шагу жизни частицы

Рисунок 2 представляет произвольную историю нейтронов на заготовке материала, в котором может произойти реакция деления. Числа между 0 и 1 выбираются произвольно с целью определения, какое (если есть) и где происходит взаимодействие, основанное на законах физики и возможностях (данные о перемещениях), управляющих используемыми процессами и материалами.

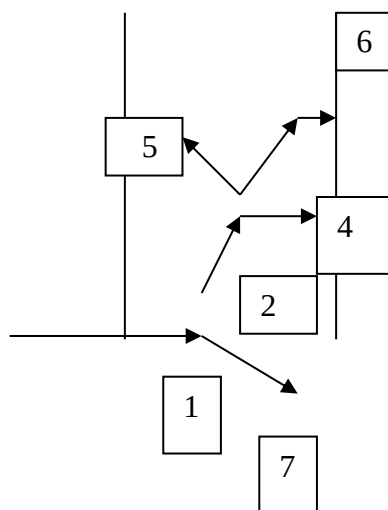


Рисунок 2 – Произвольная история нейтрона на заготовке материала

1 Рассеяние нейтрона. Производство фотона; 2 Расщепление. Производство фотона; 3 Нейтронный захват; 4 Утечка нейтрона; 5 Рассеивание фотона; 6 Утечка фотона; 7 Захват фотона

В данном конкретном примере нейтронное столкновение происходит в случае 1. Нейтрон вылетает в указанном направлении, которое выбирается произвольно из распределения физического рассеяния. Генерируя фотон, временно сохраняется и перемещается в банк историй для дальнейшего анализа. В случае 2, происходит процесс деления, после которого уничтожается приходящий нейтрон и появляется два выходящих и один фотон. Один нейтрон и один фотон перемещаются в банк историй для дальнейшего анализа. Первый нейтрон деления захватывается в случае 3 и уничтожается. Нейтрон, помещённый в банк, теперь извлекается и, с помощью случайного розыгрыша вылетает из заготовки в случае 4. Фотон, сгенерированный при делении, сталкивается в случае 5 и вылетает в случае 6. Остающийся фотон, появившийся в случае 1, теперь отслеживается захватом в случае 7. История

нейтронов теперь завершена. По мере того, как больше и больше подобных историй отслеживаются, распределения нейтронов и фотонов становится более изученным. Количество знаний (в зависимости от того, что затребовал пользователь) подсчитываются, вместе с оценками статистической погрешности результатов [4].

1.2.2 Описание MCU

Для создания моделей реактора, а также для проведения необходимых нейтронно-физических расчетов было принято решение использовать программное средство MCU5, разработанное НИЦ «Курчатовский институт».

Программа MCU5 предназначена для моделирования процессов переноса нейтронов и фотонов аналоговыми и неаналоговыми методами Монте-Карло на основе оценённых ядерных данных в системах с трёхмерной геометрией.

Программа распараллелена и может устанавливаться на многопроцессорные вычислительные системы.

В документе приводятся описание применения и инструкция по работе с программой. Информации, приведенной в нем, достаточно для получения общего представления о программе, схеме её работы, задания исходных данных расчётного варианта и анализа результатов расчёта.

Программа имеет модульную структуру и komponуется из следующих модулей:

- модуля управления, выполняющего функции монитора;
- транспортного модуля, моделирующего траектории частиц в системе;
- составного физического модуля, предназначенного для розыгрыша взаимодействия частиц с веществом на базе данных библиотеки MCUDB50;
- геометрического модуля, моделирующего прямолинейные участки траекторий между столкновениями;
- модуля регистрации, позволяющего рассчитывать широкий набор функционалов нейтронного потока;

модуля источников, моделирующего фазовые координаты частиц источника (или нейтронов нулевого поколения при решении задач на критичность);

модуля оборудования, включающего программы, которые могут зависеть от типа компьютера и операционной системы;

модуля выгорания, предназначенного для расчета изменения изотопного состава материалов реактора в процессе его эксплуатации.

При генерации рабочих программ на базе MCU по согласованию с Заказчиком могут быть скомпилированы рабочие версии с расширенными возможностями, допускаемыми архитектурой MCU и модулями из нестандартного набора пользователя, в который может входить произвольный регистрационный подмодуль USER.

1.2.3 Общие сведения

Программа предназначена для решения аналоговыми и неаналоговыми методами Монте-Карло неоднородных уравнений переноса нейтронов и фотонов. Для нейтронов программа позволяет решать и однородное уравнение (задачи о критичности систем, размножающих нейтроны). Математически это означает, что для рассматриваемой системы решается кинетическое уравнение с заданными граничными условиями, описывающее распределение в ней потока частиц.

Системой называется любая конечная область пространства с заданными физическими свойствами.

Система состоит из геометрических зон, ограниченных плоскостями или поверхностями второго порядка, параметры которых задаются пользователем. Каждая зона заполнена однородным материалом. Предполагается, что система состоит из конечного числа геометрических зон и материалов.

Каждый материал определяется:

- температурой материала;
- списком нуклидов, содержащихся в нем;

- ядерной концентрацией нуклидов.

При описании материала в исходных данных пользователь присваивает ему определённый номер.

1.2.4 Граничные условия

Все граничные условия можно разделить на два класса:

- условия, отображающие симметрии системы,
- условия, отображающие физические свойства системы.

Детализация описания возможных граничных условий приведена в описании геометрического модуля. Здесь мы ограничимся их перечислением.

Симметрия - это движения трёхмерного пространства, по отношению к которым описание системы инвариантно. В программе можно задать следующие симметрии:

- зеркальная симметрия;
- поворотная симметрия;
- сдвиговая (трансляционная) симметрия.

Можно использовать следующие физические граничные условия:

- чёрная поглощающая поверхность;
- белое отражение;
- граничные условия, соответствующие задаче с утечкой, заданной баклингом.

Кроме условий утечки и отражения допускается их комбинация, когда на внешней поверхности системы задаётся некоторое положительное альbedo $\alpha < 1$. При пересечении траекторией нейтрона поверхности с вероятностью α происходит отражение, а с вероятностью $(1-\alpha)$ – поглощение.

1.2.5 Описание геометрии

Программа позволяет моделировать системы, состоящие из объёмных элементов практически произвольной формы.

Геометрический модуль универсального типа NCG позволяет моделировать трёхмерные системы с произвольной геометрией, используя комбинаторный подход, основанный на описании сложных пространственных форм (зоны) комбинациями простых тел или поверхностей с помощью теоретико-множественных операций пересечения, дополнения и объединения.

Имеется некоторый набор типов тел-примитивов. Для каждого типа тела имеется система параметров, полностью описывающая форму конкретного тела и его положение в пространстве. Каждому типу тела соответствует программа, определяющая точки пересечения любой прямой с любым конкретным телом этого типа. Для обеспечения эффективности счёта все тела ограничены плоскостями или поверхностями второго порядка.

Возможно задание решёток, получаемых размножением некоторых исходных элементов, заданных с помощью комбинаторики.

В модуле NCG помимо представления повторяющихся геометрических объектов с помощью решёток, введены так называемые сети. Элемент сети не размножается в процессе ввода, расчёт траектории внутри него производится в локальной системе координат. Таким образом, иерархия геометрических объектов частично сохраняется и на фазе счёта. Это даёт большую экономию памяти, но требует при расчёте использовать локальные системы координат. В модуле NCG сеть всегда состоит из элементов с одинаковой внешней формой и плотно примыкающих друг к другу. Преобразования координат сводятся к сдвигам и не замедляют расчёт. Это радикально упрощает задание геометрии и экономит оперативную память компьютера.

При описании зон методом комбинаторной геометрии все их границы состоят из кусков плоскостей или квадратичных поверхностей, поэтому при наличии деталей с более сложными граничными поверхностями их необходимо аппроксимировать очень большим числом зон. Специальный алгоритм позволяет учитывать эффекты двойной гетерогенности, когда тепловыделяющие элементы содержат десятки тысяч микротвэлов.

1.2.6 Константное обеспечение

Константное обеспечение программы составляет библиотека MCUDB50, следующие разделы которой могут использоваться в расчётах.

ACE – библиотека сечений взаимодействия нейтронов с ядрами в эпитепловой области энергий в поточечном представлении, полученная из файлов ENDF/B-VI и других источников;

БНАБ/MCU – расширенная и модифицированная версия 26-групповой системы констант БНАБ-93;

LIPAR – резонансные параметры нуклидов в области разрешённых резонансов;

MULTIC – 301-групповая библиотека, содержащая, в том числе, данные по температурной зависимости подгрупповых параметров нуклидов в области неразрешённых резонансов;

KORT – библиотека поточечно представленных нейтронно-физических констант в области низких энергий (верхняя граница – 5 эВ),

ТЕПКОН – 40-групповые сечения для области термализации с границей 1 эВ;

ВЕСТА – библиотека для моделирования столкновений нейтронов с ядрами замедлителей с учётом непрерывного изменения энергии нейтронов в области термализации; представлена в форме вероятностных таблиц, полученных из законов рассеяния $S(\alpha, \beta)$;

BOFS – библиотека обобщённых фононных спектров замедлителей;

DOSIM – библиотека активационных сечений в поточечном представлении;

ABBNL – 40 групповые сечения; используется для получения сечений «суммарного изотопа»; PHOTONS – библиотека многогрупповых сечений генерации фотонов при взаимодействии нейтронов с веществом на основе данных библиотек DLC-41/VITAMIN-C и DLC-184/VITAMIN-B6;

PHOTONT – многогрупповые сечения взаимодействия фотонов с веществом на основе данных библиотек DLC-41/VITAMIN-C и DLC-184/VITAMIN-B6;

BURN - содержит информацию для задач по выгоранию: периоды полураспада ядер, выходы осколков деления, цепочки радиоактивных превращений и т.д.

1.2.7 Накапливаемый источник

Допускается решение задачи в несколько этапов – исторически этот метод получил в рамках проекта MCU наименование АЛИГР. Каждый этап есть моделирование переноса методом Монте-Карло с помощью программы MCU5TPU. Первый этап является решением однородной задачи или неоднородной задачи, использующей комбинаторный модуль источника. Все последующие этапы являются решениями неоднородной задачи. На каждом этапе описание геометрии практически идентично.

На каждом этапе производится запись фазовых координат частиц, проходящих через так называемые поверхности накопления в положительном направлении. Эти точки фазового пространства образуют банк частиц и на последующем этапе интерпретируются как источник, а поверхность накопления как внешняя граница системы с условием поглощения. При использовании накопленных частиц их можно расщеплять по тем или иным признакам. Это обеспечивает один из способов неаналогового моделирования. Таким образом, используются два типа поверхностей – поверхность накопления и поверхность поглощения. На первом этапе должна быть определена только поверхность накопления, на последнем этапе используется лишь поверхность поглощения.

Данные для работы накапливаемого источника частично располагаются вместе с описанием геометрии (определение поверхностей накопления и поглощения). а частично с данными источника (порядок расщепления накопленных частиц, т.е. как они формируют источник [4].

1.3 Выбор материала топлива с НОУ

1.3.1 Керметное топливо

В качестве кандидатного топлива в АЗ реактора рассматривается применение керметного топлива на основе микротоплива с матричной структурой с обогащением 19 % по изотопу урана ^{235}U (рисунок 3).

Керметное топливо представляет собой гранулы из диоксида урана (объемная доля UO_2 может достигать 75%), расположенные в металлической матрице (изготавливаемой обычно из сплава на основе циркония).

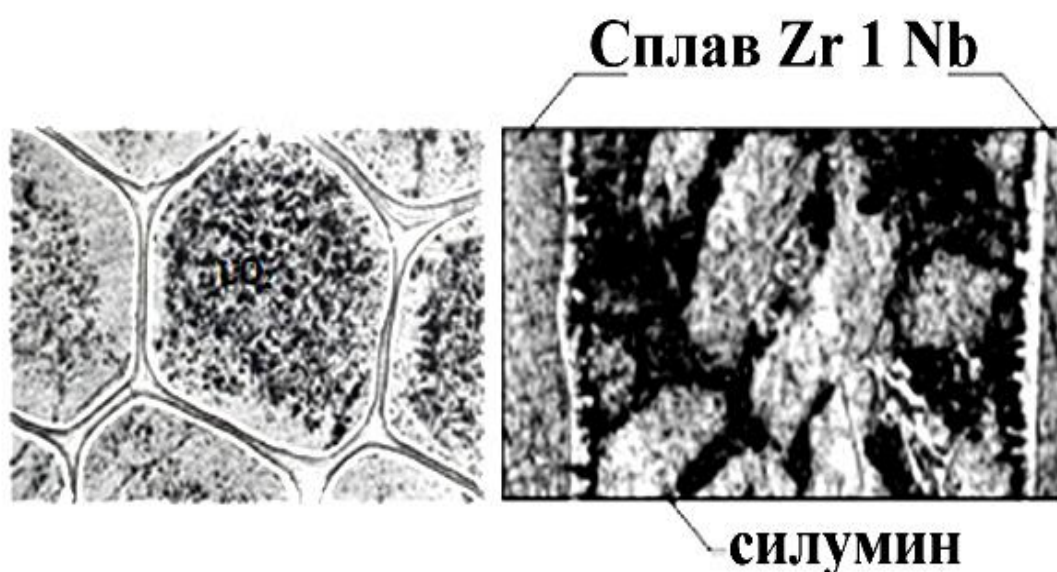


Рисунок 3 – Структура керметной композиции

Такое топливо характеризуется отсутствием прямых контактов между топливными частицами благодаря их равномерному распределению в металлической матрице. Это достигается использованием сферических топливных частиц, предварительно покрытых материалом матрицы, и их изостатического прессования в сердечники.

Преимущества керметного топлива:

1. Способность компенсировать «твердое» распухание топливного сердечника;
2. Локализацию 90% продуктов деления в гранулах UO_2 ;
3. Достижение выгорания до 120 МВт сут/кг U;

4. Низкие температуры ТВЭЛ (650-800 °С);
5. Малый запас аккумулированного тепла в топливе;
6. На несколько порядков меньший выход радиоактивных продуктов деления из ТВЭЛ в контур теплоносителя при нарушении герметичности оболочки);
7. Радиационную стойкость;
8. Высокую прочность, которая обеспечивает геометрическую стабильность ТВЭЛ;
9. Обеспечения работы реактора в маневренном режиме;
10. Повышение безопасности реактора.

При замене ТВЭЛов очень важно, чтобы изменения коснулись лишь конструкции ТВС, а основные узлы ТК были сохранены. Внешний контур ТК должен совпадать с контуром ВОТК, установленного в настоящее время.

Для расчетов выбраны три варианта конструкции ТВС с керметным топливом, различающиеся диаметром ТВЭЛов и их количеством:

- ТВС из 90 ТВЭЛов диаметром 5,7 мм (далее вариант 1);
- ТВС из 150 ТВЭЛов диаметром 4 мм (далее вариант 2);
- ТВС из 144 ТВЭЛов диаметром 4 мм (далее вариант 3).

Рассматриваемый керметный ТВЭЛ имеет матричную структуру. В качестве материала матрицы используется сплав на основе циркония. Топливный сердечник высотой 50 мм и диаметром 4,6 мм (для варианта 1) размещается в оболочке с внутренним диаметром 4,7 мм. Величина зазора между оболочкой и топливным сердечником составляет 0,05 мм. Этот зазор заполняется силиконом. Схема керметного ТВЭЛ на основе микро топлива показана на рисунке 4.

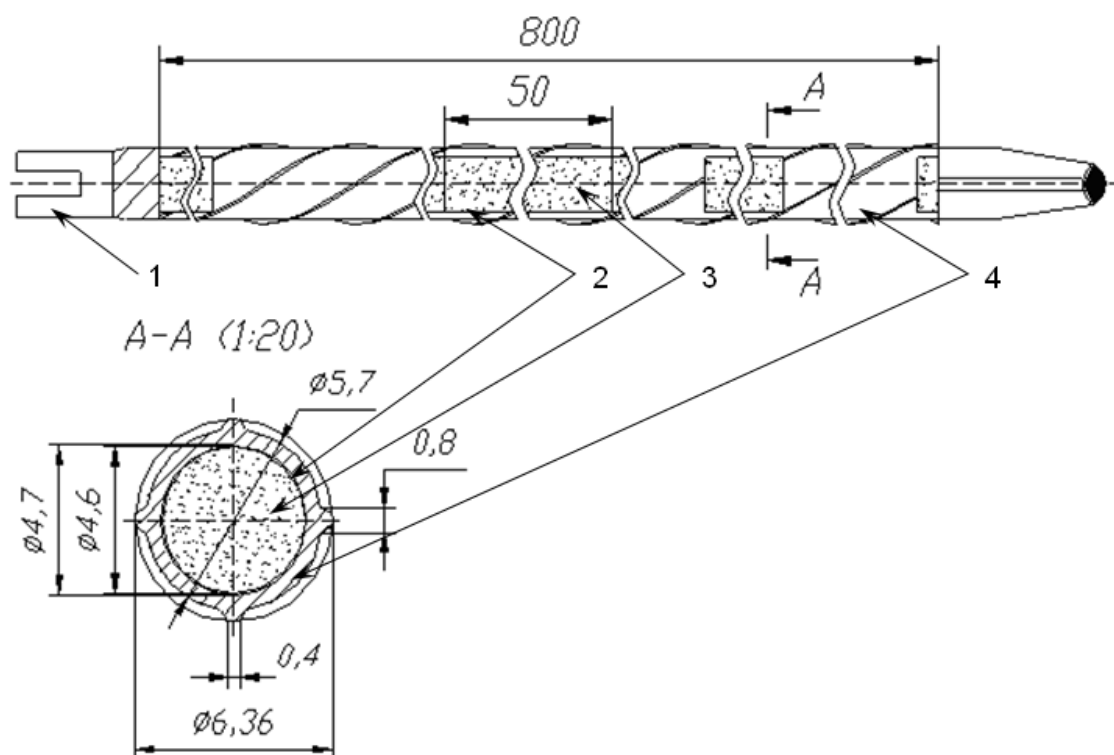


Рисунок 4 – Схема керметного твэла: 1-концевые детали; 2-контактный под-
слой; 3-тепловыделяющий керметный сердечник; 4-оболочка с дистанциру-
ющими ребрами

Во всех вариантах длина АЗ составляет 800 мм, сохраняется корпус ВОТК из сплава АМГ-5 диаметром 76 мм с толщиной стенки 3 мм. Внутри корпуса между двумя торцевыми решётками из сплава АМГ-5, соединёнными центральным стержнем, располагаются цилиндрические твэлы со спиральными рёбрами.

Между корпусом ТК и твэлами (для варианта 1) помещены 30 заполнителей: 12 заполнителей диаметром 3 мм, 12 заполнителей диаметром 4,62 мм и 6 заполнителей диаметром 5,15 мм. Для вариантов 2 и 3 помещены 12 полуцилиндрических заполнителей диаметром 5,144 мм. Концы заполнителей входят в соответствующие пазы в верхней и нижней решётках. Заполнители и центральный стержень изготавливаются из сплава Э110 и вместе с решётками образуют контейнер для размещения твэлов.

Параметры ТК в пределах АЗ для всех вариантов конструкции приве-
дены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры ТК

Наименование параметра	Варианты конструкции ТВС		
	1	2	3
Число ТВЭЛОВ	90	150	144
Диаметр ТВЭЛА, мм	5,7	4,0	4,0
Диаметр ТВЭЛА по рёбрам, мм	6,36	5,144	5,144
Ширина основания ребра, мм	0,8	0,5	0,5
Ширина конца ребра, мм	0,4	0,3	0,3
Шаг закрутки рёбер, мм	30	30	30
Объём ТВЭЛОВ в ТВС, см ³	1837,3	1508,0	1447,6
Диаметр центрального стержня, мм	6,360	5,144	15,432
Диаметр сердечника, мм	4,6	2,8	2,8
Объём воды в ТК, см ³	830,0	1344,6	1291,9
Доля диоксида урана в сердечнике, %	18,0	23,5	24,5
Масса изотопа урана ²³⁵ U в ТВС, кг	0,395	0,318	0,319

СУЗ реактора должна обладать эффективностью, обеспечивающей компенсацию изменений реактивности связанных с эффектами, возникающими во время работы реактора. Система должна в любых условиях иметь возможность быстрого надежного гашения цепной реакции и исключить самопроизвольный выход реактора в критическое состояние после его останова. Десять РБ реактора ИВГ.1М имеют суммарную эффективность 11,3 бэф. При выборе оптимальных вариантов конструкции ТВС рассматривались модели, для которых значение реактивности находилось в пределах от 6 бэф до 10 бэф. Так же при выборе варианта АЗ с новыми ТК учитывалось, что:

- положительная реактивность при полном развороте барабанов поглощающей стороной от АЗ (180°) должна быть выше существующей;
- отрицательная реактивность при полном развороте барабанов поглощающей стороной к АЗ (0°) должна быть достаточно большой, чтобы компенсировать реактивность, которую могут внести экспериментальные устройства с топливом, размещенные в центральном канале;

– значение плотности потока тепловых нейтронов должно быть как можно выше.

Максимально допустимая объемная доля диоксида урана с обогащением 20 % в композиции изготавливаемого керметного топлива может быть доведена до 75 %. Однако при такой доле реактивность АЗ для всех трех вариантов в среднем составила более 40 $\beta\epsilon\phi$, что превышало эффективность органов регулирования. Была проведена серия расчетов для подбора доли топлива в матрице. При выполнении расчетов первоначально зона топлива гомогенизировалась, что существенно завышало результаты. Поэтому для повышения точности расчетов было принято решение более детальную, гетерогенную структуру конструкции ТВС с точным положением и материальным составом всех ТВЭлов в АЗ.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Потенциальными потребителями являются коммерческие организации и физические лица.

Коммерческим организациям относятся предприятия по производству астрономических и телескопических систем.

Исследуемые высоко-отражающую зеркальную конструкцию могут применять в оптических деталях крупные предприятия оптической промышленности.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;

- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
3. Надежность	0,2	4	4	3	0,8	0,8	0,6
4. Уровень шума	0,02	1	1	1	0,02	0,02	0,02
5. Безопасность	0,2	5	5	5	1	1	1
6. Простота в эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
7.Качество интеллектуального интерфейса	0,02	3	2	2	0,06	0,04	0,04
8.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,01	2	3	2	0,02	0,03	0,02
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	3	3	2	0,09	0,09	0,06
2. Цена	0,05	4	3	1	0,2	0,15	0,05

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8
3.Послепродажное обслуживание	0,04	3	3	3	0,12	0,12	0,12
4. Финансирование научной разработки	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2
5. Срок выхода на рынок	0,1	2	3	4	0,2	0,3	0,4
6. Наличие сертификации разработки	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Итого	1	47	43	36	4,51	4,35	3,91

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j \quad (3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_j – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким

уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

3.2 SWOT-анализ

SWOT — представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов:

- Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий:

- *Сильные стороны.* Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?

- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?

- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

- *Слабые стороны.* Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он

располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

– *Возможности.* Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

– Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

– изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;

– изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;

– изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

– В чем состоят благоприятные рыночные возможности?

– Какие интересные тенденции отмечены?

– Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

– *Угроза* представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

– Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?

– Что делают конкуренты?

– Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?

– Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?

– Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?

– Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Рекомендуется результаты первого этапа SWOT-анализа представлять в табличной форме (таблица 15).

Таблица 15– SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Создание новой активной зоны с использованием низкообогащенного топлива С2. Использование керметных твэлов на основе микро топлива с матричной структурой С3. Программа MSU распараллелена и может устанавливаться на многопроцессорные вычислительные системы С4. Экологичность технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Поставки высокообогащенного топлива создает определенные риски для режима нераспространения ядерного оружия. Сл2. Недостаток финансовых средств. Сл3. Проблемы материального обеспечения
--	--	---

Продолжение таблицы 15

Возможности: В1. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2 Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства У3 У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением		

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

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты второго этапа SWOT-анализа представлены в таблице 16.

Таблица 16. - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	-	-	-
	B2	-		0	-
	B3	-	-	0	-

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3
	B1	-	+	0
	B2	+	0	-
	B3	-	0	-

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4

Продолжение таблицы 16

	У1	0	-	-	0
	У2	+	0	-	0
	У3	0	-	0	-

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3
	У1	-	+	0
	У2	0	0	0
	У3	-	0	-

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 17).

Таблица 17 - Итоговая матрица SWOT – анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Создание новой активной зоны с использованием низкообогащенного топлива С2. Использование керметных твэлов на основе микротоплива с матричной структурой С3. Программа MSU распараллелена и может устанавливаться на многопроцессорные вычислительные системы С4. Экологичность технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Поставки высокообогащенного топлива создает определенные риски для режима нераспространения ядерного оружия. Сл2. Недостаток финансовых средств. Сл3. Проблемы материального обеспечения
Возможности: В1. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Высокая стоимость разработок конкурентов	При использовании инновационной инфраструктуры ТПУ появится возможность создание новой активной зоны с использованием низкообогащенного топлива. Использование керметных твэлов на основе микротоплива с матричной структурой дает возможность дополнительного спроса на продукт.	Возможна появление дополнительного спроса на продукт, в связи с поставкой высокообогащенного топлива, которая создает определенные риски для режима нераспространения ядерного оружия. Если использовать инновационную инфраструктуру ТПУ, то появится возможность избавиться от недостатка финансовых средств.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	Результаты анализа проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Благодаря возможностям расчётной модели и своевременному финансированию продвижение	Результаты анализа проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1.Создание подобных моделей другими организациями, развитие новейших методов анализа,

Продолжение таблицы 17

со стороны государства УЗ Промышленное использование пока ограничено	на рынок может стать успешным. 2. Так как существует возможность оптимизации расчётной модели, то это позволит конкурировать с новейшими разработками. 3.Дополнительное финансирование позволит продвинуть расчётную модель на рынок.	ограниченное количество времени доработки модели, несовершенства модели – всё это представляет собой наиболее уязвимые места разработки. 2. Однако рассмотренные возможности проекта могут снизить
---	---	---

3.3 Инициация проекта

3.3.1 Организационная структура проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению выпускной квалификационной работы, проведено распределение исполнителей по видам работ и их трудозатраты в работе. Данный перечень представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Чертков Юрий Борисович, ТПУ ФТИ, доцент, к.ф.м.н.	Руководитель по ВКР (НИР)	1Разработка ТЗ на ВКР	8
			1.1 Составление и утверждение технического задания	16
			3 Теоретические и экспериментальные исследования	32
			3.1 Разработка методики экспериментальных исследований	
			3.2 Проведение экспериментальных исследований	56
			3.3 Анализ и обработка полученных результатов	40
			4;4.1 Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	16
				16

Продолжение таблицы 18

2	Андреев Игорь Николаевич	Исполнитель по научному исследованию	2;2.1 Выбор направления исследования и способов решения задач 2.2 Сбор и изучение научно-технической литературы	56 184
2	Андреев Игорь Николаевич	Исполнитель по научному исследованию	3. Теоретические и экспериментальные исследования 3.1 Разработка методики экспериментальных исследований 3.2 Проведение экспериментальных исследований 3.3 Анализ и обработка полученных результатов	48 80 56
2	Андреев Игорь Николаевич	Исполнитель по научному исследованию	4; 4.1 Обобщение и оценка эффективности полученных результатов 4.2 Оформление пояснительной записки 4.3 Подготовка к защите ВКР	16 48 48
Итого				688

3.3.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 19).

Таблица 19– Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	неопределено
3.1.1. Источник финансирования	Университет
3.2. Сроки проекта:	4 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	17.03.2017
3.2.2. Дата завершения проекта	
3.3. Прочие ограничения и допущения*	

3.4 Планирование управления научно – техническим проектом

3.4.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения

целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя иерархическую структуру работ.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 21 представлена иерархическая структура по выпускной квалификационной работе.



Рисунок 21 – Иерархическая структура по ВКР

3.4.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, их даты и результаты. Эта информация представлена на таблице 20.

Таблица 20 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2017	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение техни-	3.02.2017	Задание на выполнение

	ческого задания		исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2017	
4	Подбор и изучение материалов по теме	10.02.2017	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2017	План работ
6	Изучение возможностей расчётной модели	13.02.2017	Отчёт
7	Освоение методики расчёта на практике	14.02.2017	Отчёт
8	Проведение расчётов	15.02.2017-30.03.2017	Отчёт
9	Анализ полученных данных	28.03.2017	Отчёт
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2017	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	14.02.2017-25.04.2017	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2017	
13	Подготовка к защите	27.04.2017-25.05.2017	

3.4.3 План проекта

В рамках планирования выпускной квалификационной работы построен календарный график работы (таблица 21).

Таблица 21 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2017	3.02.2017	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2017	5.02.2017	Руководитель

Продолжение таблицы 21

3	Выбор направления исследований	5	5.02.2017	10.02.2017	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2017	12.02.2017	Студент

5	Календарное планирование работ	1	12.02.2017	13.02.2017	Руководитель, студент
6	Изучение возможностей расчётной модели	1	13.02.2017	14.02.2017	Студент
7	Освоение методики расчёта на практике	1	14.02.2017	14.02.2017	Студент
8	Проведение расчётов	45	15.02.2017	30.03.2017	Студент
9	Анализ полученных данных	2	28.03.2017	30.03.2017	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2017	30.03.2017	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2017	25.04.2017	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2017	27.04.2017	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	29	27.04.2017	25.05.2017	Студент

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблице 22 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 22 – Календарный план – график проведения ВКР по теме

Ко д	Вид работ	Испол- нители	кол, дн.	Продолжительность выполнения работ			
				март	апрель	май	июнь

ра- бо- ты (из ИС Р)				1 7	20	31	1	2	10	1	2	15	10	1 7
1	Разработка ТЗ на ВКР	рук	17											
1.1	Составление технического задания	рук	5											
2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	рук, магистр	3			 								
2.2	Сбор и изучение литературы	магистр	23											
3.1	Разработка методики экспериментальных исследований	рук, магистр	7						 					
3.2	Проведение экспериментальных исследований	Рук магистр	14											
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	Рук, магистр	5								 			
4.2	Составление и оформление ПЗ.	магистр	10											
4.3	Подготовка к защите.	Рук, магистр	17										 	

Руководитель - (белый квадрат)

Магистрант - (черный квадрат)

3.4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Таблица 23 – Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	4698
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИР	30925
4. Отчисления на социальные нужды	5480
5. Накладные расходы	2375
Итого себестоимость НИР, $C_{\text{нир}}$, руб	43478

Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

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

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15 – 25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 3.3.1.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 960 = 2784,$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2784 рубля.

Таблица 24 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	–	480 кВт·ч	5,8	2784
Бумага	SvetoCopy	110	0,90	99
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Pilot BPS-GP	1	50	50
Доступ в интернет	–	4 месяца	400	1600
Всего за материалы				2898
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье C_m				4698

Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Для руководителя:

$$C_{зп} = 11902 + 6367,22 = 18269 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб} \quad (5)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 25);

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

Значит,

для руководителя: $З_{очн} = 1487,765 \cdot 8 = 11902$ рублей

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = (З_{м} * М) / F_{д} \quad (6)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2500 руб.);

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года, при отпуске в 48 раб. дней $М=0,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (таблица 26). Тогда, для руководителя:

$$З_{очн} = \frac{34190 \cdot 10,4}{239} = 1487,765 \text{ рублей.}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 25.

Таблица 25 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	56	104
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	56	48
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	239	199

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_{м} = З_{б} * \kappa_{р} \quad (7)$$

где $З_{б}$ – базовый оклад, руб.;

$\kappa_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Зарплата доцента составляет 26300 руб., согласно «Положению об оплате труда» ТПУ.

Для руководителя: $З_{м} = 26300 * 1,3 = 34190$ руб.

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	к _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _{раб} раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	1487,765	8	11902
Дипломник		1,3	2275	118,89	160	19023
Итого З _{осн}						30925

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (8)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,1$);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя: $З_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 63672,25 = 6367,22$ рублей

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (9)$$

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

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (11902 + 6367) = 5480 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий,

сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 12-16 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,13 \cdot (11902 + 6367) = 2375 \text{ руб.}$$

3.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (12)$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент i – го варианта параметра;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	4
3. Помехоустойчивость	0,2	4	4	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4	3
5. Надежность	0,2	5	4	4
6. Материалоемкость	0,2	4	3	3
ИТОГО	1	26	23	21

$$I_{\text{тп}} = 0,1*5+0,1*4+0,2*4+0,2*4+0,2*5+0,2*4=4,3$$

$$\text{Аналог 1} = 0,1*4+0,1*4+0,2*4+0,2*4+0,2*4+0,2*3 = 3,9$$

$$\text{Аналог 2} = 0,1*4+0,1*4+0,2*3+0,2*3+0,2*4+0,2*3 = 3,5.$$

Таким образом, по результатам расчетов получили, что для выполнения НИР требуется два человека: научный руководитель и дипломник. Проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования.

Список публикаций

1. *И.Н. Андреев, Ю.Б. Чертков*, Исследование нейтронно-физических параметров активной зоны реактора ИВГ.1М – XII международная научная конференция «Энергия – 2017»
2. *И.Н. Андреев, Ю.Б. Чертков*, «Исследование возможности использования низкообогащенного керметного топлива в реакторе ИВГ.1М» – Сборник материалов I Международной научно практической конференции «Наука и современность 2017»
3. *И.Н. Андреев, Ю.Б. Чертков*, «Research of the possibility of use of the low-enriched cermet fuel in the IVG.1M reactor» – Сборник материалов XXXIX Международной научно-практической конференции "Приоритетные научные направления: от теории к практике"