

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

---

Институт Физико-технический  
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
Кафедра Физико-энергетические установки

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Нейтронно-физический расчет реактора КЛТ-40С в торий-урановом ЯТЦ

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Сапар Асет Даулетулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	В.Н.Нестеров	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Общекультурные компетенции</b>	
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.

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

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

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

Институт Физико-технический  
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
 Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ФЭУ  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) **О.Ю. Долматов**  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0А2В	Сапар Асет Даулетулы

Тема работы:

<b>Нейтронно-физический расчет ядерного реактора КЛТ-40С в торий-урановом ЯТЦ</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2016 №1333/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>                      (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Тепловая мощность 150 [МВт]</li> <li>- Ядерное горючее (<math>\text{Th}^{232} + \text{U}^{233}</math>)O<sub>2</sub></li> <li>- Обогащение урана 18,5 %</li> <li>- Температура на входе 280 [°С]</li> <li>- Температура на выходе 317 [°С]</li> <li>- Материалы оболочек ТВЭЛов и кассет сталь Э-110</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>                      (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Провести стандартный нейтронно-физический расчет активной зоны реактора КЛТ-40С</li> <li>- Определить спектр плотности потока нейтронов путем решения системы многогрупповых уравнений диффузии итерационным способом</li> <li>- Выполнить корректировку спектра плотности потока нейтронов на критическое состояние реактора</li> <li>- Оценить длительность кампании ядерного топлива</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b>                      (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Презентация</li> <li>- Чертеж ячейки</li> </ul>

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

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры ФЭУ	В.Н.Нестеров	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А2В	Сапар Асет Даулетулы		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Сапар. Асет Даулетулы

Институт	ФТИ	Кафедра	ВММФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость расходных материалов 2. Стоимость расхода электроэнергии 3. Норматив заработной платы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Тариф на электроэнергию 2. Коэффициенты для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Отчисления во внебюджетные фонды (27,1%) 2. Расчет дополнительной заработной платы (12%)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

	<p>2. <i>Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки;</i></p> <p>3. <i>Определение интегрального показателя эффективности</i></p>
--	--

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.А.Сечина	Доцент, кандидат химических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Сапар Асет Даулетулы		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0A2B	Сапар Асет Далетулы

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

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения</i>	– вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</i>	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		16.05.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0A2B	Сапар Асет Даулетулы		16.05.2016

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Кафедра Физико-энергетические установки

Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2016	<i>Определение состава и принципа действия системы</i>	
26.05.2016	<i>Качественный анализ надёжности системы</i>	
02.06.2016	<i>Построение логического «дерева» отказов</i>	
09.06.2016	<i>Количественный анализ надёжности системы</i>	
20.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	В.Н.Нестеров	к.ф.-м.н.		16.05.2016

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 92 стр., 14 рисунков, 21 табл., 12 источников, 4 приложения, 2 чертежа.

Ключевые слова: ядерный реактор; КЛТ-40С; нейтронно-физический расчет; многогрупповой расчет; расчет выгорания; отравление; финансовый менеджмент; социальная ответственность.

Цель работы – выполнение нейтронно-физического расчета реактора КЛТ-40С в торий-урановом ЯТЦ.

В процессе исследования проводились расчеты нейтронно-физических характеристик реактора; произведен расчет финансовой составляющей работы, а также описаны факторы, влияющие на работу с реактором.

В результате были получены нейтронно-физические характеристики реактора, определен спектр плотности потока нейтронов, а также длительность кампании топлива.

Основные конструктивные, технологические и техноко-эксплуатационные характеристики: ядерный реактор – КЛТ-40С с мощностью 150 МВт, с топливом  $(\text{Th}^{232}\text{-U}^{233})\text{O}_2$  и обогащение 18,5%, в качестве конструкционного материала Э-110.

## **Определения и сокращения**

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

ВВР – водо-водяной реактор;

БН – быстрый реактор;

ТКР – температурный коэффициент реактивности;

ТЭР – температурный эффект реактивности;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

АЗ – активная зона.

## Содержание

Введение.....	14
1 Обзор литературы .....	16
1.1 Устройство и конструкция судового ядерного реактора .....	16
1.2 Паропроизводящая установка.....	16
1.3 Принципиальное устройство водо-водяного ядерного реактора.....	22
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	25
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	25
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	26
4.3 SWOT-анализ.....	28
4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	32
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	32
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	33
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	34
4.4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	37
4.4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	38
4.4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	39
4.4.4.3 Дополнительная заработная плата .....	41
4.4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	42
4.4.4.8 Формирование бюджета затрат НИП .....	44
4.4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	44
Заключение .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Список публикации студента.....	47
Список использованных источников .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **Введение**

Одним из направлений инновационного развития атомной энергетики является промышленное производство и строительство унифицированных энергоблоков малой и средней мощности (от 200 кВт до 600 МВт электрических) для производства электричества и тепла на основе технологий атомного судостроения.

На основе опыта создания и эксплуатации судовых и корабельных реакторов в АО «ОКБМ Африкантов» разработан ряд проектов реакторных установок для автономных атомных энергоисточников малой мощности в диапазоне от 6 до 100 МВт(эл): АБВ-6М, КЛТ-40С. Они предназначены для комплексного электро- и теплоснабжения (как бытового, так и промышленного) изолированных потребителей в удаленных районах, не имеющих централизованного энергоснабжения, с дорогим дальнепривозным топливом. В России это крупные населенные пункты и порты вдоль Северного Морского пути и побережья Дальнего Востока, месторождения полезных ископаемых, военные базы; за рубежом – прибрежные районы развивающихся стран. Обоснована целесообразность использования энергоисточников данного типа и для целей опреснения морской воды в регионах с дефицитом пресной воды. Наиболее готовые к реализации проекты энергоисточников малой мощности АБВ-6М и КЛТ-40С предполагают размещение атомной энергетической установки на суше и на несамоходных плавучих средствах.

Такой «плавучий энергоблок» (ПЭБ) целиком создается на судостроительном предприятии с использованием освоенной технологии строительства атомных ледоколов и кораблей ВМФ. После комплексных испытаний и сдачи заказчику ПЭБ транспортируется к месту стоянки, где подключается к береговым сетям и начинает работать. Плавучее исполнение ПЭБ сводит к минимуму объемы и стоимость капитального строительства в районе размещения атомной станции. Заказчик получает экологически чистую

электрическую и тепловую энергию, в то время как вопросы хранения радиоактивных отходов, квалифицированного обслуживания станции и снятия станции с эксплуатации после выработки технического ресурса решаются эксплуатирующей организацией с использованием существующей технологической базы атомного флота.

С целью практической демонстрации данной технологии ведутся работы по сооружению для тепло и электроснабжения г. Певек головного ПЭБ с реакторной установкой КЛТ-40С, прототипом которой является установка действующих атомных судов.

Поэтому целью работы является оценка нейтронно-физических параметров реактора КЛТ-40С, работающего на торий-урановом ЯТЦ.

Задачи:

1. провести стандартный нейтронно-физический расчет активной зоны реактора КЛТ-40С;
2. определить спектр плотности потока нейтронов путем решения системы многогрупповых уравнений диффузии итерационным способом;
3. выполнить корректировку спектра плотности потока нейтронов на критическое состояние реактора;
4. оценить длительность кампании ядерного топлива с учетом изменения нуклидного состава ядерного топлива.

## **1 Обзор литературы**

### **1.1 Устройство и конструкция судового ядерного реактора**

Обозначенная в заголовке тема рассмотрена применительно к наиболее перспективному в настоящее время направлению развития транспортной ядерной энергетики – реактору плавучих атомных станций теплоснабжения с реакторными установками типа КЛТ-40С. Прежде чем перейти к конструкции реактора, необходимо уяснить его место в системе генерации энергии. Рассмотрим подробнее системы, обеспечивающие работу реактора.

### **1.2 Паропроизводящая установка**

Паропроизводящая установка (ППУ), включающая в себя основной контур циркуляции, системы компенсации давления, очистки и расхолаживания, обеспечивает получение тепла в активной зоне реактора, передачу его среде второго контура в парогенераторах и поддержание требуемых параметров теплоносителя первого контура.

Система является следующим за оболочками твэлов барьером, ограничивающим распространение радиоактивных продуктов, обеспечивая бескризисный теплосъем с активной зоны и передачу тепла в систему расхолаживания при нарушениях, предаварийных ситуациях и авариях с не превышением пределов безопасной эксплуатации в части повреждения твэлов, температуры и давления в первом контуре. Границы первого контура реакторной установки РУ КЛТ-40С включают в себя корпусные конструкции оборудования основного контура циркуляции (главного циркуляционного контура) и гидравлически связанных с ним систем, а также теплообменные поверхности охлаждаемого оборудования первого контура.

В принципиальную схему первого контура и связанных с ним систем входят (рис. 1.2.1):

- основной контур циркуляции (главный циркуляционный контур), предназначенный для получения и переноса тепла от активной зоны реактора к парогенераторам и выработки пара требуемых параметров;
- система очистки и расхолаживания;
- система компенсации объема;
- система газоудаления;
- система подпитки;
- система третьего контура.

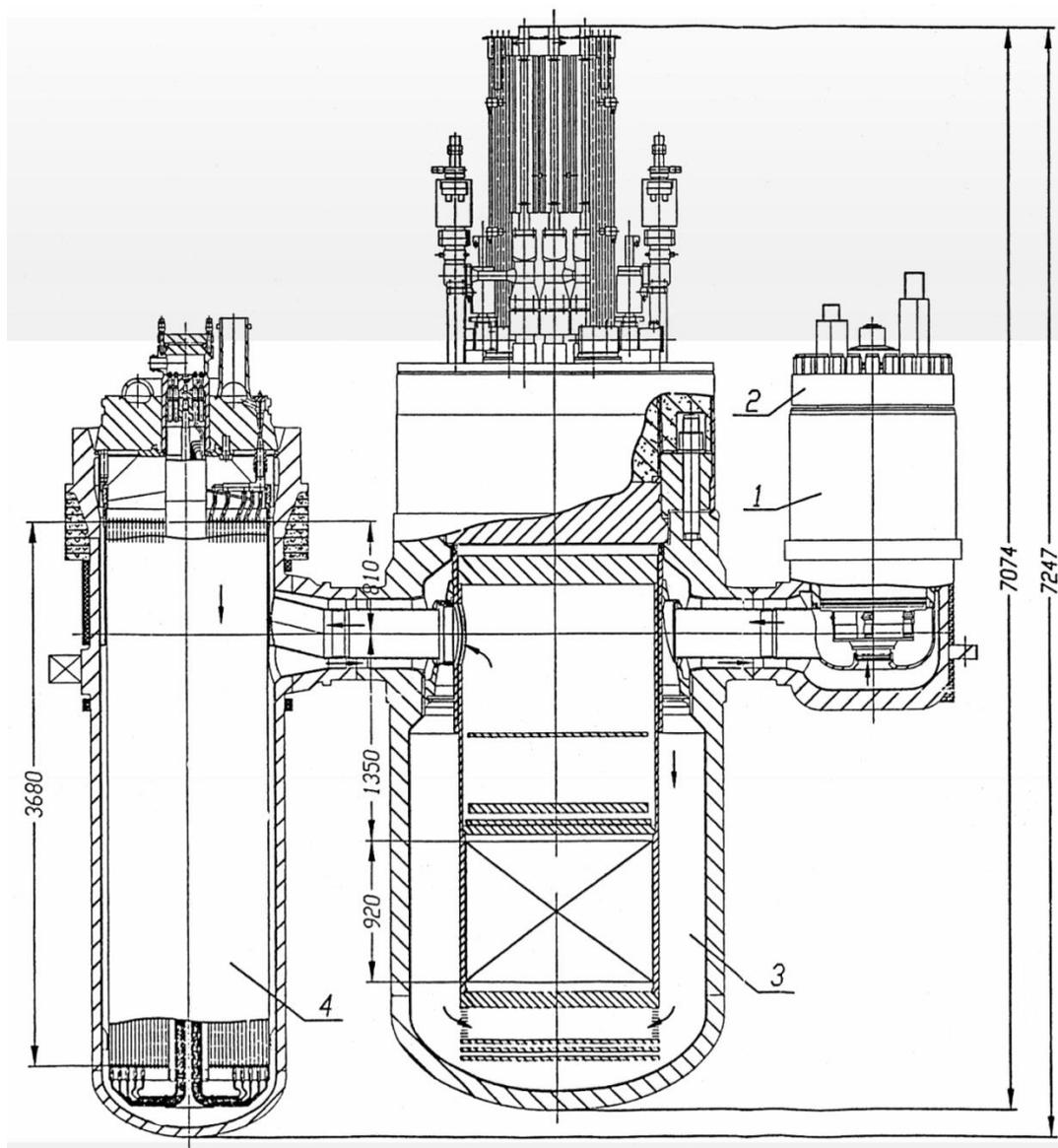


Рисунок 1.2.1 – Парогенерирующий блок (продольный разрез): 1 – гидрокамера; 2 – электронасос первого контура; 3 – реактор; 4 – парогенератор

Блочная компоновка оборудования обеспечивает компактность основного контура циркуляции и размещение его внутри защитной оболочки, а также ремонтпригодность основного оборудования и достаточный для аварийного расхолаживания уровень естественной циркуляции теплоносителя по первому контуру.

В состав основного контура циркуляции входят:

- реактор;
- четыре парогенератора;
- четыре циркуляционных насоса первого контура;
- четыре гидрокамеры;
- средства измерения.

Конструктивно парогенерирующий блок (ПГБ) состоит из взаимосвязанных сосудов высокого давления с установленными в них выемными частями основного (заменяемого) оборудования.

Электронасосы устанавливаются в гидрокамеры, крепятся при помощи фланцевого соединения и герметизируются линзовой прокладкой. Во всех главных патрубках расположены состыкованные между собой внутренние тонкостенные патрубки, образующие конструкцию «труба в трубе».

Основной циркуляционный тракт служит для переноса тепла от реактора к парогенераторам. В нем создается циркуляция теплоносителя по замкнутому контуру. От электронасоса по четырем внутренним соединительным патрубкам теплоноситель первого контура поступает в напорную камеру реактора и далее в активную зону, где нагревается, снимая тепло с твэлов. Из сливной камеры реактора по четырем внутренним соединительным патрубкам теплоноситель поступает в четыре парогенератора, где охлаждается, отдавая тепло теплоносителю второго контура для выработки пара требуемых параметров.

Из каждого парогенератора по кольцевому каналу между внутренним и наружным патрубками охлажденный теплоноситель первого контура поступает в одну из четырех камер кольцевой полости, образованной конусной обечайкой

и корпусом реактора. Камеры отделены друг от друга вертикальными разделительными перегородками и являются всасывающими полостями соответствующих электронасосов. Далее теплоноситель по четырем кольцевым каналам соединительных патрубков направляется в электронасосы, завершая циркуляцию.

Разделение кольцевой всасывающей полости внутри реактора на четыре независимые камеры обеспечивает привязку каждого электронасоса конкретно к определенному парогенератору. Для предотвращения циркуляции теплоносителя первого контура большим расходом через парогенераторы, электронасосы которых остановились или перешли на малую скорость, в направляющий аппарат каждого насоса встроены обратные клапаны, закрытие которых у остановленного электронасоса производится напором работающих электронасосов.

Для поддержания парогенераторов с остановленными электронасосами в разогретом состоянии через них за счет напора работающих электронасосов продолжается циркуляция в том же направлении небольшого количества теплоносителя первого контура сквозь специальные отверстия в разделительных перегородках между камерами реактора.

Циркуляция теплоносителя в режиме естественной циркуляции осуществляется аналогично описанной выше через открытые невозвратные клапаны остановленных ЦНПК. При этом компоновка ПГБ обеспечивает уровень естественной циркуляции, достаточный для расхолаживания реакторной установки при срабатывании аварийной защиты с номинального уровня мощности.

ПГБ установлен и закреплен на баке металло-водной защиты (МВЗ) в реакторном помещении защитной оболочки (ЗО). При этом конструктивно обеспечивается доступность для замены выработавшего ресурс заменяемого оборудования, входящего в состав ПГБ, – крышки реактора, блока выемного реактора, электронасосов, трубных систем парогенераторов, приводов

исполнительного механизма компенсирующей группы (ИМКГ) и АЗ с учетом применения технологического оборудования для их замены.

Технические характеристики основного контура циркуляции при работе на номинальном уровне мощности приведены в табл. 1.2.1.

Таблица 1.2.1 – Технические характеристики основного контура циркуляции

Элемент характеристики	Значение
Тепловая мощность, МВт	150
Давление теплоносителя, МПа	12,7
Температура теплоносителя на входе в активную зону, °С	280
Температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С	317
Расход теплоносителя, т/ч	2600
Гидравлическое сопротивление основного циркуляционного тракта, МПа	0,36
Объем теплоносителя первого контура, м <sup>3</sup>	26,45
Масса теплоносителя первого контура в рабочем состоянии, кг	20827
Расчетное давление, МПа	16,2
Расчетная температура, °С	350
Уровень естественной циркуляции, % номинальной мощности	3–5*
Масса ПГБ в сухом состоянии, т	210
Масса ПГБ в заполненном состоянии, т	234
Габариты ПГБ, мм:	
высота	7247
длина	6140
ширина	5126

\* Обеспечивается расхолаживание РУ через парогенератор при срабатывании аварийной защиты с номинального уровня мощности.

Основной контур циркуляции имеет четырехпетлевое исполнение, чем обеспечивается высокая степень резервирования основного оборудования и тем самым высокая надежность теплосъема с активной зоны реактора.

Наряду с резервированием петель циркуляции для надежного теплосъема с активной зоны предусмотрено четыре способа создания циркуляции в основном контуре: за счет работы ЦНПК на большой или малой частоте вращения (большой или малой скорости), работы электронасоса ремонтного расхолаживания, а также за счет естественной циркуляции теплоносителя.

Общая мощность равномерно распределена между четырьмя петлями. В случае отказа одной или двух петель основной контур циркуляции сохраняет работоспособность при соответственно сниженной мощности.

В случае отказа четырех ЦНПК обеспечивается расхолаживание за счет работы электронасоса расхолаживания, а также естественной циркуляции по первому контуру при подаче воды в парогенераторе.

Теплосъем с активной зоны при атмосферном давлении обеспечен за счет работы электронасоса расхолаживания, а также может производиться через парогенератор при естественной циркуляции по первому контуру.

Блочная компоновка оборудования обеспечивает компактность основного контура циркуляции, возможность его размещения внутри ЗО, ремонтпригодность основного оборудования и достаточный для аварийного расхолаживания уровень естественной циркуляции по первому контуру.

Эксплуатация ППУ обеспечивается рядом вспомогательных систем.

Система компенсации объема предназначена для создания и поддержания давления в первом контуре в необходимых пределах и компенсации температурных изменений объема теплоносителя. Основным элементом этой системы являются четыре компенсатора объема, представляющие собой баллоны высокого давления, нижняя часть которых соединена с первым контуром, а верхняя заполнена газом. Давление создается газом, находящимся в ресиверных баллонах системы газа высокого давления.

Система очистки теплоносителя предназначена для удаления из воды первого контура взвешенных и растворенных примесей во время работы ППУ. Основные причины загрязнения теплоносителя – коррозия и эрозия материалов первого контура, примеси в подпиточной воде, а также газовые и другие продукты деления ядерного топлива, попадающие в теплоноситель при нарушении герметичности оболочек твэлов. Система очистки включает в себя механические фильтры, предназначенные для удаления взвешенных частиц, и ионообменные фильтры для удаления растворенных примесей. Нормальная

работа наполнителей ионообменных фильтров (ионообменных смол) возможна при температурах не более 60 °С, поэтому обязательный элемент системы очистки – холодильник, тепло с которого снимается водой из системы охлаждения первого контура. Отбор теплоносителя в систему очистки производится от напорного патрубка реактора, а возврат – во всасывающую линию ЦНПК. Расход теплоносителя через систему очистки обеспечивается за счет перепада давления между выбранными точками первого контура или дроссельной шайбой.

Система подпитки предназначена для пополнения первого контура водой высокой чистоты.

Система охлаждения ППУ (третий контур) предназначена для отвода тепла от оборудования ППУ в целях обеспечения температурных условий для его нормальной работы. Речь идет о баке металло-водной защиты, холодильнике системы очистки теплоносителя, приводах органов системы управления и защиты (СУЗ), электродвигателях ЦНПК и т. п.

Третий контур выполняется в виде замкнутого контура, по которому циркулирует вода высокой чистоты, обеспечивающая низкую наведенную активность контура и снижение уровня коррозии.

Система воздухоудаления и дренажа предназначена для удаления воздуха при заполнении первого контура водой, дренирования контура, частичного сброса воды первого контура при его эксплуатации.

Воздух и вода из верхних точек трубопроводов и оборудования первого контура удаляются в дренажные емкости.

### **1.3 Принципиальное устройство водо-водяного ядерного реактора**

Рассмотрим устройство ВВР на примере реактора типа КЛТ-40С. Это водо-водяной реактор корпусного типа на тепловых нейтронах, предназначенный для выработки тепловой энергии за счет деления ядерного

топлива в активной зоне и передачи полученной энергии теплоносителю первого контура при работе реактора в составе реакторной установки КЛТ-40С.

Реактор и связанные с ним оборудование и системы выполняют следующие функции:

- поддержание управляемой цепной реакции деления ядерного топлива активной зоны на заданных проектными режимами уровнях мощности;
- поддержание давления и температуры теплоносителя первого контура в соответствии с проектными режимами;
- отвод тепла, выделяющегося при работе активной зоны, теплоносителем первого контура на всех проектных режимах;
- поддержание регламентированного уровня ионизирующего и теплового излучения в реакторном помещении.

Основная циркуляция теплоносителя первого контура в реакторе (рис.1.3.1) осуществляется по следующей схеме.

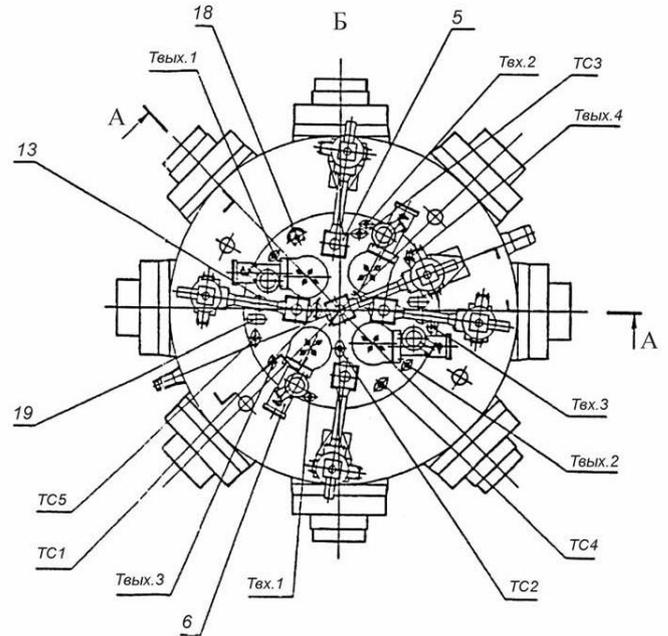
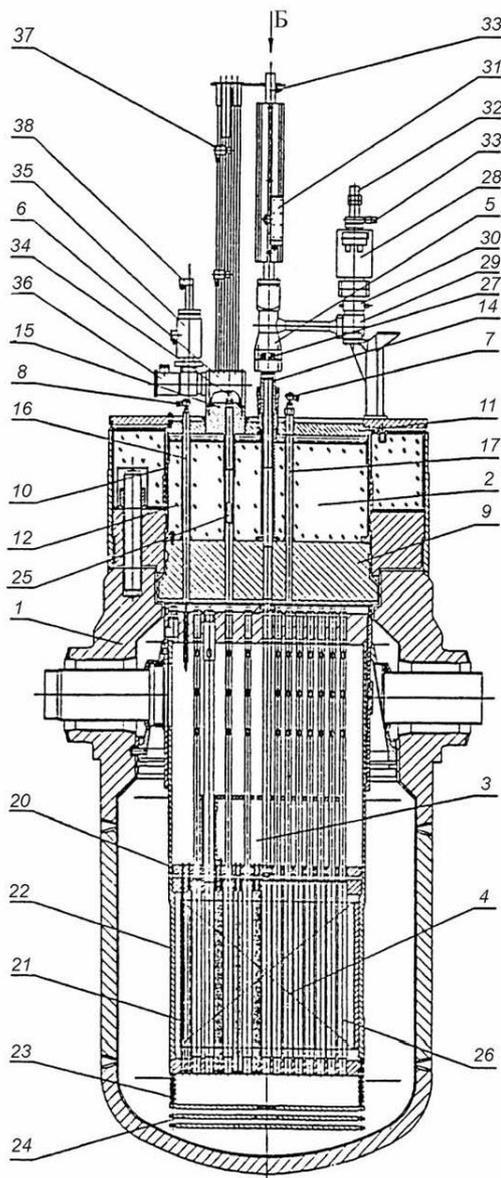


Рисунок 1.3.1 – Реактор: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – выемной блок; 4 – активная зона; 5 – привод ИМКГ; 6 – привод ИМАЗ; 7 – термопреобразователь сопротивления; 8 – термоэлектрический преобразователь; 9 – силовая плита; 10 – обечайка; 11 – верхняя плита; 12 – биологическая защита; 13 – мембранное предохранительное устройство; 14 – стойка под привод ИМКГ; 15 – стойка под привод ИМАЗ; 16 – стойка под термоэлектрический преобразователь; 17 – стойка под термопреобразователь сопротивления; 18 – стойка под клапан газоудаления; 19 – стойка под чехол для физических измерений; 20 – РОКГ; 21 – поглощающий элемент (ПЭЛ); 22 – обечайка; 23 – щелевой фильтр; 24 – донные экраны; 25 – стержни АЗ; 26 – ТВС; 27 – ходовой винт; 28 – шаговый электродвигатель; 29 – редуктор; 30 – датчик перемещения РОКГ; 31 – датчик реперных точек с конечными выключателями ИМКГ; 32 – ручной привод; 33 – клапан воздухоудаления; 34 – рейка; 35 – асинхронный двигатель; 36 – электромагнит; 37 – датчик конечных выключателей ИМАЗ; 38 – сигнализатор течи.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Очевидно что, на данный момент остро встаёт вопрос о необходимости планирования и организации научно-исследовательских работ. Заметим что, важно не только разработать ту или иную научную тему, но и провести ее анализ с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, иными словами, необходимо определить затраты на проведение научно-исследовательской работы, продолжительность работ, таким образом определив экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в настоящей научно-исследовательской работе ядерной энергетической установки (ЯЭУ).

В ходе выполнения данной работы были определены различные нейтронно-физические параметры ЯЭУ, которая предназначена для производства электроэнергии. Разработка ЯЭУ в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком госкорпорации по атомной энергетике. Примером могут служить такие госкорпорации как Росэнергоатом (Россия), Минэнерго (Беларусь), Энергоатом (Украина) и т.п.

Рынок услуг по разработке ЯЭУ можно сегментировать по множеству критериев, основными из которых являются уровень развития атомной энергетике страны и электрическая мощность установки.

		Электрическая мощность установки		
		До 440 МВт	От 440 МВт до 1000 МВт	От 1000 МВт до 1800 МВт
Уровень развития атомной энергетике	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ

Необходимость для стран с низким развитием атомной энергетики ядерных установок с малыми и средними мощностями, говорит о том, что в стране энергетика в целом может быть как на низком, так и на достаточно высоком уровне. Развитие атомной энергетики могло идти как параллельно развитию традиционной энергетики страны, так и опираясь на огромную базу развития. Аналогична ситуация для стран со средним уровнем развития атомной энергетики.

#### **4.2 Анализ конкурентных технических решений**

В ходе выполнения данной работы был рассмотрен уран-графитовый канальный реактор на тепловых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, конкурентами которого в принципе будут являться любые ЯЭУ, эксплуатирующиеся с теми же целями что и разрабатываемая, но основными из них, в том числе имеющие близкие технические решения, принимаемые для достижения поставленной цели, будут: водо-водяной корпусный энергетический реактор с водяным теплоносителем (ВВЭР) отечественной разработки, уран-графитовый канальный реактор с водяным теплоносителем (РБМК) отечественной разработки.

Наиболее подходящими для сравнения являются ЯЭУ отечественных разработок, т.к. Россия является одной из лидирующих стран по уровню развития атомной энергетики и именно отечественные разработки востребованы на российском рынке атомной энергии. Основными конкурентами для сравнения являются корпусный водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) и канальный уран-графитовый реактор с водяным теплоносителем (РБМК). Оценочная карта анализа представлена в таблице 4.1. 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{\phi}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Стоимость топлива в зависимости от обогащения по изотопу $U^{233}$ .	0,04	4	4	3	0,2	0,16	0,12
2. Стоимость замедлителя	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
3. Возможность перегрузки топлива без останова реактора	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
4. Необходимость более высокого давления теплоносителя, а следовательно оборудования для его создания	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
5. Глубина выгорания и возможность её увеличения	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
7. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
9. Надежность	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
10. Уровень шума	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
11. Безопасность	0,2	4	4	5			
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	4	4	5	0,04	0,04	0,05
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	1	4	5	0,01	0,04	0,05
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Послепродажное обслуживание	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>3,3</b>	<b>3,29</b>	<b>3,42</b>

Отметим, что цены, которые предприятия, вероятно, будут платить за поставку уранового концентрата, составляют только одну треть стоимости топлива, загруженного в ядерный реактор. Остальное – это, главным образом, стоимость обогащения.

Выше представлен анализ конкурентоспособности ЯЭУ, представленной в данной работе, среди отечественных разработок ВБЭР-300 (Б<sub>к1</sub>) и АБВ-6 (Б<sub>к2</sub>). Из анализа видно, что разрабатываемая ЯЭУ имеет довольно большое число преимуществ. Не маловажным фактом является то, что разрабатываемая установка единственная в своем роде и представительства на рынке не имеет.

### **4.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильными сторонами разрабатываемой ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности установки:

- доступность и обработанность технологии воды;
- большие удельная и объемная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических загрузок реактора;
- высокая замедляющая способность воды в сочетании со слабым рассеянием нейтронов водородом при больших энергиях, позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива;
- высокая степень внутренней устойчивости благодаря отрицательному плотностному коэффициенту реактивности.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Слабыми сторонами разрабатываемой ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности:

- большое сечение поглощения нейтронов, что приводит к использованию обогащенного топлива;
- высокое давление при энергетически приемлемых температурах;
- коррозионная активность и сильное взаимодействие с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы;
- ограничение тепловых потоков из-за кризиса теплосъема.

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

К возможностям данной ЯЭУ можно отнести:

- снижение стоимости электроэнергии;
- предоставление дополнительных рабочих мест;
- расширение производства и мощностей для обеспечения работоспособности ЯЭУ.

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.

К угрозам по отношению к ЯЭУ можно отнести:

- природные катаклизмы;
- снижение государственного финансирования развития атомной энергетики и ввода в эксплуатацию новых типов установок;
- диверсионные и террористические действия.

В таблице 4.2 представлен SWOT-анализ в виде таблицы.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. доступность и обработанность технологии воды.  С2. большие удельная и объемная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических нагрузок реактора.  С3. высокая замедляющая способность воды в сочетании со слабым рассеянием нейтронов водородом при больших энергиях, позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива.  С4. высокая степень внутренней устойчивости благодаря отрицательному плотностному коэффициенту реактивности.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. большое сечение поглощения нейтронов, что приводит к использованию обогащенного топлива.  Сл2. высокое давление при энергетически приемлемых температурах.  Сл3. коррозионная активность и сильное взаимодействие с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы.  Сл4. ограничение тепловых потоков из-за кризиса теплосъема.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1.Снижение стоимости электроэнергии.  В2.Предоставление рабочих мест.  В3.Расширение производства и мощностей для обеспечения работоспособности ЯЭУ</p>	<p>1. Увеличение мощности ЯЭУ приведет к еще более сильному снижению цен на электричество и потребует ввода дополнительных мощностей.  2. Увеличение мощности приведет к увеличению персонала ЯЭУ.</p>	<p>1.Высококвалифицированный персонал повысит качество работы ЯЭУ, безопасность.  2.Дополнительные производства для обеспечения ЯЭУ жидкометаллическим теплоносителем.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Природные катаклизмы.  У2.Снижение государственного финансирования развития атомной энергетики и ввода в эксплуатацию новых типов установок.  У3. Наличие угрозы несанкционированных действий в отношении ЯЭУ.</p>	<p>1. Возможность увеличения мощности влечет за собой привлечение действий террористического и диверсионного характеров.  2. Постоянная работа реактора и возможность увеличения мощности вызывает дополнительный интерес у государства.</p>	<p>1. Отсутствие корпуса у реактора делает его уязвимым перед природными катаклизмами.  2. Использование в качестве теплоносителя жидкого натрия, из-за высокой химической активности при взаимодействии с водой снижает интерес государства к данной ЯЭУ.</p>

Проанализировав характер НТР можно сделать вывод, о том что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями страны-партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Данная стратегия выбрана ввиду того, что предприятие, заинтересованное в ЯЭУ на российском рынке, одно (Росэнергоатом). В свою очередь, данное предприятие требует тесного взаимодействия с другими производственными компаниями.

## 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Представленная дипломная работа носит научно-исследовательский характер. Экономическая часть настоящей работы включает в себя рассмотрение комплекса предполагаемых работ, планирование которых осуществляется в следующем порядке:

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

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

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.1.

Таблица 4.4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный	1	Составление и утверждение научного задания	Бакалавр Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
Исследование и анализ предметной области	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор метода выполнения работы	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр

Продолжение таблицы 4.4.1

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Применение выбранного метода к данным	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ результатов работы	Бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения НИР	Бакалавр Руководитель
	9	Составление пояснительной записке к ВКР.	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу.	Бакалавр

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.4.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.4.2)$$

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

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

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

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4.3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4.4)$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

Таблица 4.4.2 – Временные показатели осуществления комплекса работ

№ работ	Продолжительность работ			Исполнители	$t_{pi}$ , человеко-дни	$t_{ki}$ , человеко-дни
	$t_{\min j}$ , человеко-дни	$t_{\max j}$ , человеко-дни	$t_{ожj}$ , человеко-дни			
1	1	3	2	Б, Р	1	1
2	14	18	16	Б	16	23
3	7	12	9	Б	9	13
4	3	6	4	Б, Р	2	3
5	2	5	3	Б	3	4
6	10	16	12	Б	12	17
7	5	7	6	Б	6	9
8	3	5	4	Б, Р	2	3
9	5	11	7	Б	7	10
10	4	7	5	Б	5	7

Календарный план-график выполнения работ представим в виде таблицы 4.4.3.

Таблица 4.4.3 – Календарный план-график выполнения работ

Календарный план-график выполнения работ по теме													
№ работы	Наименование работы	Исполнители	$t_{ki}$ , дни	Продолжительность выполнения работ, дни									
				Март			Апрель			Май			
				1	23	13	3	4	17	9	3	10	7
1	Составление и утверждение ТЗ	Б Р	1										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	23										
3	Анализ исходных данных	Б	13										
4	Выбор метода выполнения работы	Б Р	3										
5	Календарное планирование работ по теме	Б	4										
6	Применение выбранного метода к данным	Б	17										
7	Анализ результатов работы	Б	9										



#### 4.4.4.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.4.5)$$

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

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.4.4.

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

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

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C = \Pi_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2,7 \cdot 0,9 \cdot 900,0 = 2187 , \quad (4.4.6)$$

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

$P$  – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2187 рублей.

Таблица 4.4.4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
1. Бумага	шт.	250	0,4	100
2. Печать на листе А4	шт.	200	1,5	300
3. Карандаш	шт.	1	8	8
4. Ластик	шт.	1	12	12
5. Доступ в интернет	месяц	4	350	1400
6. Учебная литература	шт.	1	340	340
7 Электроэнергия	кВт·ч	810	2,70	2187
Итого				<b>4347</b>

#### 4.4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4.7)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.4.8)$$

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

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

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d}, \quad (4.4.9)$$

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

$F_d$  – количество рабочих дней в месяце.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_o) k_p, \quad (4.4.10)$$

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

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

$k_o$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 г.Томск.

Пример расчета заработной платы для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o)k_p = 23264,86 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 45366,48 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{T_p} = \frac{45366,48}{21} = 2160,31 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2160,31 \cdot 7 = 15122,16 \text{ руб.}$$

Таблица 4.4.5 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , дни	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	23264,86	1,3	45366,48	2160,31	7	15122,16
Бакалавр	3300	0	3300	157	96	15072
ИТОГО						30194,16

#### 4.4.4.3 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.4.11)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 4.4.6 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	Основная ЗП, руб	Дополнительная ЗП, руб
Руководитель (доцент)	15122,16	1814,66
Бакалавр	15072	1808,64
ИТОГО		3623,3

#### 4.4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.4.12)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 27,1%

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.4.7.

Таблица 4.4.7 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная ЗП, руб	Дополнительная ЗП, руб
Руководитель	15122,16	1814,66
Бакалавр	15072	1808,64
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	-
<b>ИТОГО</b>		<b>4098,1</b>

#### **4.4.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки**

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. В данном дипломном проекте таких затрат нет.

#### **4.4.4.6 Контрагентные расходы**

Контрагентные расходы включают в себя затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работа и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. Контрагентные расходы составляют 10% от основной и дополнительной заработной платы. В данном дипломном проекте таких затрат нет.

#### **4.4.4.7 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{мат}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.4.13)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл}} = 40965,56 \cdot 0,16 = 6554,49 \text{ руб.}$$

#### 4.4.4.8 Формирование бюджета затрат НИП

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.4.8.

Таблица 4.4.8 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты НТИ	4,7470
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	141,8000
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14,4607
4. Отчисления во внебюджетные фонды	39,1312
5. Накладные расходы	46,878
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>247,0169</b>

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

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

Интегральный 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.4.14)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

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

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{247\,0169}{247\,0169} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.4.15)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 6.9).

Таблица 4.4.9 — Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка
1. Безопасность	0,25	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4
3. Помехоустойчивость	0,15	3
4. Энергосбережение	0,20	4
5. Надежность	0,20	5
6. Материалоемкость	0,05	3
ИТОГО	1	24

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,05 = 4,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (6.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.4.4.10) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (4.4.17)$$

Таблица 4.4.10 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,25

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Но т.к. задача имеет довольно строгие условия, решение имеет лишь один вариант.

## Список публикации студента

1. Прец А.А., Сапар А.Д. Анализ конструктивных особенностей и эксплуатационных параметров ядерных реакторов малой мощности // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, г. Томск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. – С. 100.

2. Сапар А.Д., Прец А.А., Куликов М.Г. Оценка размножающих и воспроизводящих свойств реактора КЛТ-40С // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий, г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 46-46а.

3. Сапар А.Д., Прец А.А. Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – С. 44.

4. Сапар А.Д., Прец А.А., Куликов М.Г. Оценка флюенса повреждающих нейтронов в графите реактора РБМК-1000 // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий, г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 36-36а.

