

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
Разработка аналитической программы данных системы внутриреакторного контроля

УДК 621.311.25:621.039.5:004.42:004.492

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Кузнецова М.Е.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Беденко С. В.	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН 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 ФТИ	Долматов О.Ю.	К.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

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 радиозоологии, 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 (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ФЭУ

_____ Долматов О.Ю.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Кузнецова М.Е.

Тема работы:

Разработка аналитической программы данных системы внутриреакторного контроля

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

– Данные СВРК;

– Протокол пусконаладочных работ (испытаний) на оборудовании (системы) энергоблока №3 Ростовской АЭС.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Проведение аналитического обзора материалов по тематике НИР; – Ознакомление с методикой проведения динамических испытаний; – Анализ данных СВРК полученных в результате испытаний; – Разработка аналитической программы данных СВРК; – Тестирование и апробация разработанной программы.
Перечень графического материала	– Презентация – 19 слайдов.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Литературный обзор, разработка аналитической программы данных СВРК	Беденко С. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Беденко С. В.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Кузнецова М.Е.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Кузнецова М.Е.

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/Ядерные реакторы и энергетические установки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – календарный план-график реализации проекта.
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный план проекта
5. Бюджет проекта
6. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Кузнецова М.Е.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Кузнецова М.Е.

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаробезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	– 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:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Кузнецова М. Е.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 126 с., 24 рис., 17 табл., 33 источников, 3 прил.

Ключевые слова: Водо-водяной ядерный реактор; системы контроля ядерного реактора; система внутрореакторного контроля; пуско-наладочные работы; динамические испытания; анализ данных СВРК; финансовый менеджмент; социальная ответственность.

Объектом исследования являются: данные СВРК, полученные в ходе проведения динамических испытаний на энергоблоке №3 Ростовской АЭС.

Цель работы – провести предварительную обработку данных и на основании изученных документов, инструкций, гостов и прочей документации разработать приложение, позволяющее оптимизировать работу сотрудников «Ростоватомтехэнерго» участка физических и динамических испытаний при выполнении анализа данных системы внутрореакторного контроля, полученных в результате испытаний.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературы по теме работы, ознакомление с методикой проведения динамических испытаний, в частности отключение одного ГЦН из четырех работающих на энергоблоке №3 Ростовской АЭС, анализ данных СВРК, полученных в результате испытаний, разработка программы для оптимизации затрачиваемого время на обработку и анализ данных СВРК, полученных в ходе проведения динамических испытаний, тестирование и апробация программы. Произведен расчет стоимости выполнения ВКР, оценена ресурсоэффективность работы; соблюдены все требования по охране труда при выполнении данной работы.

В результате исследования получена аналитическая программа данных СВРК, позволяющая значительно сократить время, затрачиваемое на обработку и анализ данных и минимизировать трудовые затраты при работе с большим количеством однообразных данных.

Степень внедрения: высокая, программа может использоваться в настоящее время при проведении дальнейших испытаний.

Область применения: атомная промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

Обозначения и сокращения

- АЗ – аварийная защита;
- АРМ – автоматический регулятор мощности;
- АСР – автоматическая система регулирования;
- АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;
- АЭС – атомная электростанция;
- БЗТ – блок защитных труб;
- БРУ-А – быстродействующее редуцирующее устройство со сбросом пара в атмосферу;
- БРУ-К – быстродействующее редуцирующее устройство со сбросом пара в конденсатор;
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;
- ВКУ – внутрикорпусные устройства;
- ГЦН – главный циркуляционный насос;
- ГЦТ – главный циркуляционный трубопровод;
- Д – деаэратор;
- ДН – дренажный насос;
- ДПЗ – детектор прямой зарядки;
- ЗМ – задатчик мощности;
- К – конденсатор;
- КД – компенсатор давления;
- КН – конденсатный насос;
- МПО – математическое и программное обеспечение;
- ОД – охладители дренажа;
- П – регенеративный подогреватель;
- ПГ – парогенератор;
- ПН – питательный насос;
- ПП – пароперегреватель;

ПЭ – подогреватель эжекторов;
Пэл – поглощающие элементы;
Р – расширитель продувки парогенератора;
РМ – регулятор мощности;
РОМ – разгрузка и ограничение мощности;
С – сепаратор;
САОЗ – система аварийного охлаждения зоны;
СВРК – система внутриреакторного контроля;
СКУД – система контроля, управления и диагностики;
СН – сетевой насос;
СП – сетевой подогреватель;
СУЗ – система управления и защиты;
ТВС – тепловыделяющая сборка;
Твэл – тепловыделяющий элемент;
ТП – трубопривод питательного насоса.

Оглавление

Введение	13
1 Водо-водяной ядерный реактор	16
1.1 Первый контур унифицированного реактора ВВЭР-1000	22
1.2 Второй контур унифицированного реактора ВВЭР-1000	28
1.3 Системы контроля ядерного реактора	31
1.4 Внутриреакторный контроль ядерного реактора	34
2 Практическая часть	39
2.1 Динамические испытания	39
2.2 Отключение одного ГЦН из четырех работающих	39
2.3 Результаты испытания	42
2.4 Анализ результатов испытания. Выводы.	43
3 Аналитическая программа для анализа данных СВРК	45
3.1 Разработка программного обеспечения	45
3.2 Руководство пользователя	48
3.3 Руководство программиста	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	55
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	56
4.1.2 SWOT-анализ	58
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом	60
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта	60
4.2.2 Контрольные события проекта	61
4.2.3 План проекта.....	61
4.3 Бюджет научного исследования	64
4.3.1 Расчёт материальных затрат	65
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	66
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	68
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	69

4.3.5 Накладные расходы	69
4.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта	70
4.4 Организационная структура проекта	70
4.5 Матрица ответственности	71
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
5 Социальная ответственность	77
5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	78
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	79
5.2.1 Организационные мероприятия	79
5.2.2 Технические мероприятия	80
5.2.3 Условия безопасной работы	82
5.3 Электробезопасность	84
5.4 Пожарная и взрывная безопасность	86
Заключение	88
Список публикаций	89
Список литературы	90
Приложение А	93
Приложение Б	95
Приложение В	104

Введение

В современном мире сложно представить себе дом без всевозможных электрических приборов. Семью, которая не имеет хотя бы один автомобиль. Но у каждого блага есть своя цена. Рост промышленности, увеличение количества транспорта и употребляемой электроэнергии приводит к потреблению в возрастающих масштабах органического топлива: нефти, природного газа и угля. При существующих темпах его потребления разведанных запасов хватит не более чем на несколько столетий, поэтому необходимо искать альтернативные источники экологически чистой электроэнергии.

Наиболее рациональным способом обеспечения возрастающих потребностей в энергии может стать преобразование ядерной энергии в электричество. По этому сегодня трудно назвать страну, которая не имеет, либо не стремится иметь источник тепловой, либо электрической энергии, получаемой на атомных электрических станциях. Атомная энергетика стала одной из важных отраслей экономики во многих странах мира. С каждым годом в мире увеличиваются темпы ввода усовершенствованных и новых энергоблоков [1].

Пусконаладочные работы – это главный венец процесса строительства атомной станции. Начинаются пусконаладочные работы с функционального опробования оборудования, и заканчивается пуском реактора. Пусконаладка демонстрирует не только работоспособность атомной станции, но и ее безопасность. В настоящее время крупнейшей организацией по проведению пусконаладочных работ в России является ОАО «Атомтехэнерго», входящая в концерн «Росатом».

ОАО «Атомтехэнерго» – инжиниринговое предприятие, специализирующееся на:

– техническом руководстве, вводе в эксплуатацию, выполнении комплексных работ по вводу в эксплуатацию, пусконаладочных работ и

испытаний новых энергоблоков атомной станции, а также разработке организационной, технической и нормативной документации по вводу в эксплуатацию атомную электростанцию;

- выполнении комплекса работ по технической поддержке эксплуатации действующих энергоблоков, включая реконструкцию, модернизацию и продление ресурса;

- участии в разработке проектов станции, в том числе проекты автоматизированной системы управления технологическим процессом;

- обследовании технического состояния оборудования энергоблоков атомной электростанции, находящихся в «замороженном» состоянии или на стадии их достройки;

- предоставлении наладочных, инжиниринговых, экспертных и консалтинговых услуг в области атомной и тепловой энергетики.

Цель работы: провести предварительную обработку данных и на основании изученных документов, инструкций, гостов и прочей документации разработать приложение, позволяющее оптимизировать работу сотрудников «Ростоватомтехэнерго» участка физических и динамических испытаний при выполнении анализа данных системы внутриреакторного контроля, полученных в результате испытаний.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести аналитический обзор материалов по теме работы.

- Ознакомиться с методикой проведения динамических испытаний, в частности отключение одного главного циркуляционного насоса из четырех работающих на энергоблоке №3 Ростовской атомной электростанции.

- Проанализировать данные системы внутриреакторного контроля, получаемые в результате испытаний.

- Провести математическую обработку данных, полученных в ходе проведения динамических испытаний.

- Разработать программу для оптимизации затрачиваемого времени на обработку и анализ данных системы внутриреакторного контроля, полученных в ходе проведения динамических испытаний.
- Провести тестирование и апробацию программы.
- Определить ресурсоэффективность проекта.
- Проанализировать выявленные опасные и вредные факторы производственной среды.

Научная новизна: Разработанная программа является новым подходом для проведения анализа огромного количества однообразных данных системы внутриреакторного контроля, полученных в ходе проведения динамических испытаний.

Практическая значимость: Разработанная программа может быть использована для оптимизации работы сотрудников «Ростоватомтехэнерго» участка физических и динамических испытаний при выполнении анализа данных системы внутриреакторного контроля, полученных в результате испытаний.

1 Водо-водяной ядерный реактор

Ведущее место в структуре ядерной энергетики сегодня занимают атомные электростанции (АЭС) с легководными реакторами на тепловых нейтронах. Отличительной особенностью данных реакторов является использование толстостенного цилиндрического корпуса для размещения активной зоны, которая охлаждается водой высокого давления. Реактор в составе двухконтурного энергоблока АЭС имеет тепловую мощность 3000 МВт и позволяет вырабатывать электрическую мощность 1000 МВт (1 ГВт) [2].

Активная зона водо-водяных реакторов (ВВЭР) собирается из достаточно плотно упакованных тепловыделяющих сборок (ТВС), имеющих шестигранную форму, в которых размещается ядерное топливо. Расстояние между ТВС достигает 2–3 мм и создается только для того, чтобы устанавливать или вынимать их во время перегрузки. ТВС реактора ВВЭР-1000 состоит из 331 стержня. Сборки ВВЭР-1000 являются бесчехловыми, что позволяет теплоносителю перемешиваться в поперечном сечении активной зоны.

Таблица 1 – Основные конструкционные характеристики активной зоны реактора ВВЭР-1000

Эквивалентный диаметр, мм		3120
Высота, мм		3550
Объем, м ³		27
Отношение площади замедлителя к площади топлива в поперечном сечении активной зоны		2
Шаг между топливными сборками, мм		241
Рабочее давление, МПа		16
Температура теплоносителя, °С	на входе в реактор	289
	на выходе из реактора	320

Продолжение таблицы 1

Расход теплоносителя через реактор, кг/с		19000
Гидравлическое сопротивление активной зоны, МПа		0,18
Гидравлическое сопротивление реактора, МПа		0,4
Температура теплоносителя на выходе из максимально нагруженной сборки, °С		310
Загрузка реактора топливом, кг		75000
Обогащение топлива, %		4,4 – 3,3
Скорость теплоносителя, м/с	в патрубке реактора (вход/выход)	9,8/11
	в активной зоне (средняя)	5,5
Среднее время работы между перегрузками топлива, с		25,2*10 ⁶
Средняя удельная энергонапряженность объема активной зоны, кВт/л		111
Число механизмов регулирования		109

Активная зона реактора состоит из кассет, которые устанавливаются в опорные стаканы шахты реактора, в соответствии с картограммой загрузки (Рисунок 1). Для предотвращения всплытия ТВС и уменьшения вибрации с помощью БЗТ выполняется поджатие крышкой реактора подпружиненной головки ТВС. Позиционирование ТВС в плане обеспечивается с помощью посадки концевых деталей ТВС в плите блока защитных труб (БЗТ) и в днище шахты внутрикорпусных устройств (ВКУ).

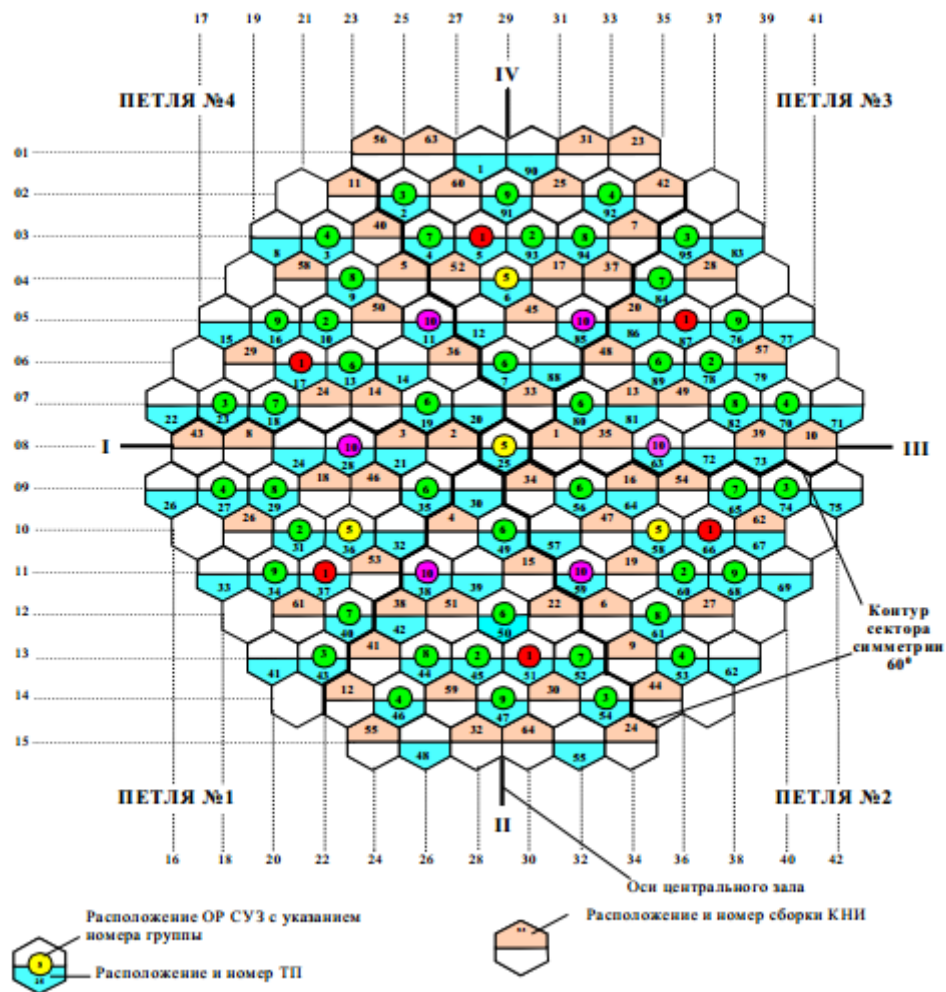


Рисунок 1 –Картограмма активной зоны реактора ВВЭР-1000

ТВС в своем составе имеет пучок ТВЭЛОВ, головки и хвостовик.

Головки ТВС (Рисунок 2) состоят из хвостовика (неподвижная часть), привариваемого к каналам и подвижной части обечайки, которая соединяется с помощью трех несущих винтов с неподвижной частью.

На обечайке, с наружной стороны располагаются две шпонки (ширина – 22 мм, длина – 100 мм, высота – 16,2 мм), которые предназначены для ориентации ТВС в активной зоне реактора и для выполнения захвата и транспортировки ТВС. Для снижения динамических нагрузок на траверсу и Пэлы, которые возникают при сбросе кластера, на головка ТВС имеет центральный подпружиненный шток.

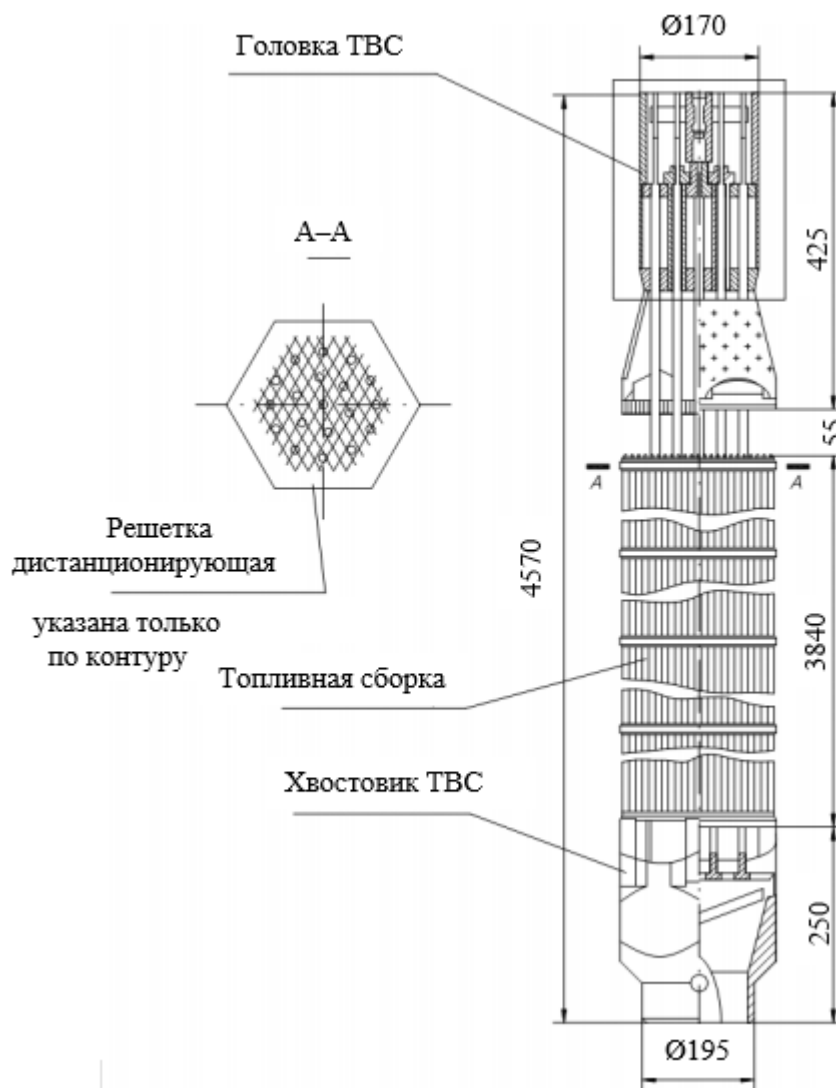


Рисунок 2 – Тепловыделяющая сборка

Твэлы (Рисунок 3) – гладко-стержневого типа, имеют цилиндрическую форму, располагаются в ТВС и соединяются дистанционирующими решетками, закрепляются на нижней несущей решетке. Твэлы располагаются по треугольной разбивке. Дистанционирующие решетки крепятся в втулке на месте центральной ячейки решетки. Закрепляются решетки в прорези к центральной трубе с помощью обжатия центральных втулок.

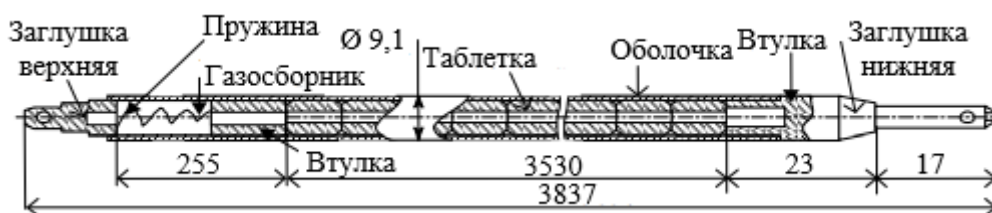


Рисунок 3 – Тепловыделяющий элемент

Оболочка твэла составляет $9,1 \text{ мм}_{-0,05 \text{ мм}}^{+0,08 \text{ мм}}$, внутренний диаметр равен $7,72+0,07 \text{ мм}$, длина твэла 3837 мм. Материалом оболочки и концевых деталей является сплав циркония с 1% ниобия (сплав Э110) [3].

В системе регулирования и поглощения избыточной реактивности в реакторах ВВЭР-1000 применяется кластерное регулирование. Каждая ТВС состоит из 312 твэлов и 18 пэлов (поглощающих стержней). Применение кластеров создает целый ряд преимуществ при рассмотрении обеспечения большей равномерности энерговыделения в активной зоне и улучшения температурного режима системы управления и защиты (СУЗ). Помимо механической системы регулирования так же применяется «борное жидкостное регулирование» – регулирование путем борирования воды [4].

Перегрузка топлива водо-водяных реакторов производится после полного отключения нагрузки и остановки реактора. Перегрузка реакторов этого типа на ходу в принципе трудноосуществима по ряду причин. Сложной технической задачей является обеспечение надежной герметичности шлюзов, через которые можно было бы производить перегрузку топлива из активной зоны, находящейся в корпусе высокого давления. Чрезвычайно затруднено и размещение шлюзов, так как водо-водяные реакторы весьма компактны, а верхняя крышка практически полностью занята приводами СУЗ. ТВС имеют значительные размеры, и извлечение одной из них заметно скажется на реактивности. Наконец, извлекаемые отработавшие ТВС должны непрерывно замещаться свежими, чтобы не допустить образования больших объемов воды на месте извлекаемой ТВС. Все это чрезвычайно затрудняет перегрузку топлива на ходу и вынуждает производить ее только после выключения реактора [5].

Поскольку блок на время перегрузки отключается полностью, перегрузка водо-водяных реакторов производится сравнительно редко, обычно один раз в год, с заменой только 1/3 отработавших ресурс ТВС, а остальные после их перестановки для выравнивания энерговыделения по

сечению активной зоны продолжают работать. Таким образом, кампания, время, за которое ядерное топливо в активной зоне полностью заменяется, составляет 3 года. При этом свежее топливо при каждой очередной частичной перегрузке загружается на периферию активной зоны, а в центральной области размещается вперемежку частично выгоревшее топливо, простоявшее соответственно 1 и 2 года.

Водо-водяные реакторы относятся к сравнительно высоконапряженным аппаратам (глубина выгорания в них достигает 3% и более), а перегрузка ядерного топлива в них производится редко, поэтому требуется большое количество компенсирующих средств, необходимых для подавления избыточной реактивности после каждой частичной перегрузки активной зоны. Надо учесть также, что эти реакторы весьма компактны и для размещения подвижных поглощающих органов, которые выполняют функции тонкого регулирования, компенсации избыточной реактивности и быстрого аварийного выключения, место весьма ограничено. Кроме того, большое количество подвижных поглощающих сборок может привести к заметным перекосам распределения энерговыделения по высоте активной зоны. Поэтому компенсация медленных изменений реактивности, связанных с выгоранием топлива, осуществляется борным регулированием, не искажающим распределение энерговыделения по объему активной зоны. Подвижными поглощающими сборками компенсируется температурный эффект. При разогреве реактора от холодного до горячего состояния они практически полностью выводятся из активной зоны [6].

Свою популярность водо-водяные реактора получили благодаря ряду причин. В первую очередь это применения воды в качестве теплоносителя и замедлителя, поскольку свойства воды хорошо изучены, благодаря распространению ее применения во многих отраслях, в том числе и в энергетике. Вода обладает наибольшей замедляющей способностью, по сравнению с альтернативными доступными веществами. Так же вода обладает высоким удельным тепловыделением на единицу объема активной зоны, что

позволяет эффективно применять воду в качестве теплоносителя и создавать реактора более компактного размера. При повышении температуры воды, коэффициент реактивности падает, что придает водо-водяным реакторам высокую устойчивость и саморегулируемость. Кроме того, использование воды облегчает возможность доступа к оборудованию первого контура и облегчает биологическую защиту.

Помимо существующих преимуществ данного типа реакторов существуют и некоторые сложности, в первую очередь связанные с высоким поглощением нейтронов, что определяет использование только обогащённого урана, что в свою очередь влечет за собой низкий коэффициент воспроизводства. Значительное замедление нейтронов водой приводит к неравномерному энерговыделению. Так же вода обладает относительно низкой температурой кипения и поэтому для получения приемлемой температуры воды для энергетического цикла, необходимо использовать высокое давление. Вода обладает высокой коррозионной активностью [4].

1.1 Первый контур унифицированного реактора ВВЭР-1000

Первый контур, по определению ОПБ-88, – это контур (вместе с системой компенсации давления), по которому теплоноситель под рабочим давлением циркулирует через активную зону [7].

Первый контур выполняет передачу тепла, выработанного в активной зоне реактора. Из активной зоны реактора нагретый теплоноситель направляется по 4-ем циркуляционным петлям в парогенератор (ПГ) (по «горячим ниткам»), где происходит передача тепла теплоносителю второго контура. Теплоносителем водо-водяного ядерного реактора является вода, которая помимо этого является также замедлителем нейтронов и включает в свой состав растворенную борную кислоту, которая используется для жидкостного регулирования реактивности ядерного реактора.

Из ПГ вода с помощью главного циркуляционного насоса (ГЦН) возвращается по «холодным ниткам» в реактор. С одной из «горячих» ниток соединяется компенсатор давления, который используется для стабильного поддержания давления и выполнения функции компенсации динамики объема теплоносителя при его разогреве или расхолаживании.

Для предотвращения кипения теплоносителя при параметрах, предусмотренных проектом, в первом контуре поддерживается высокое давление около 160 кгс/см². Первый контур благодаря замкнутости и герметичности является третьим барьером из четырех, который препятствует проникновению осколков деления во внешнюю окружающую среду. Другими тремя барьерами, преграждающими распространению осколков деления в окружающую среду, являются:

- топливная матрица;
- оболочка твэла;
- герметичное ограждение локализующих систем безопасности.

Первый контур является важнейшим барьером безопасности, так как его отказ влечет за собой не только потерю одного из барьеров, но и создает неблагоприятные условия работы для оставшихся барьеров: твэлов и системы локализации. По этой причине первый контур обязан быть устойчивым к разным воздействиям в условиях аварийных ситуаций и аварий [7].

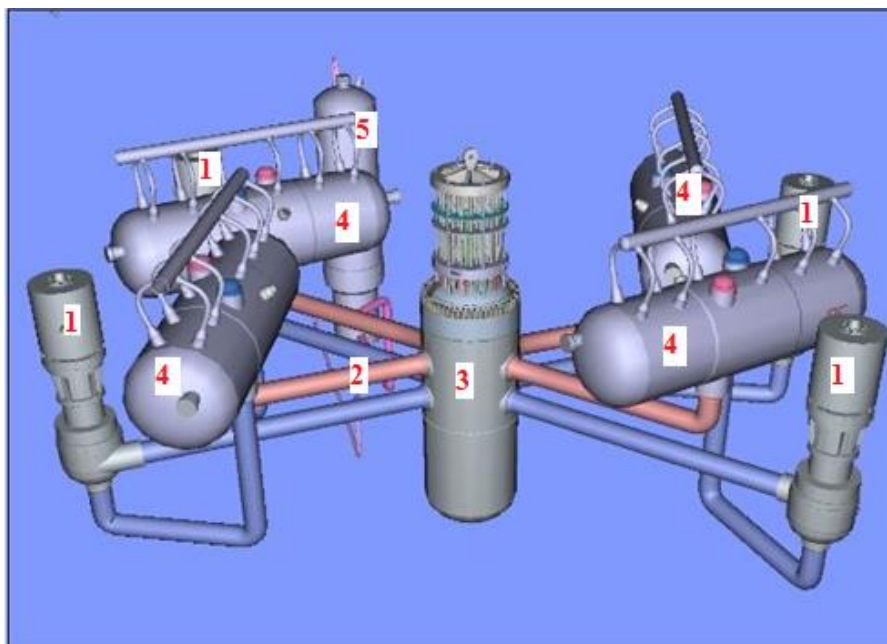


Рисунок 4 – Первый контур унифицированного реактора ВВЭР-1000:

1 – ГЦН, 2 – ГЦТ, 3 – реактор, 4 – ПГ, 5 – КД [7]

Основные компоненты, входящие в состав первого контура унифицированного ядерного реактора (Рисунок 4):

а) Водяно-водяной реактор ВВЭР-1000 на тепловых нейтронах представляющий из себя сосуд в форме цилиндра, который состоит из корпуса и съемного верхнего блока с крышкой (Рисунок 5). В корпусе помещены активная зона реактора, которая состоит из тепловыделяющих сборок и внутрикорпусные устройства. Роль ядерного горючего выполняет слабообогащенная двуокись урана [7].

В качестве теплоносителя и замедлителя в ядерном реакторе выступает обессоленная вода с борной кислотой, с изменяемой в процессе эксплуатации концентрацией. Реактор специализирован для выработки тепловой энергии в структуре реакторной установки АЭС.

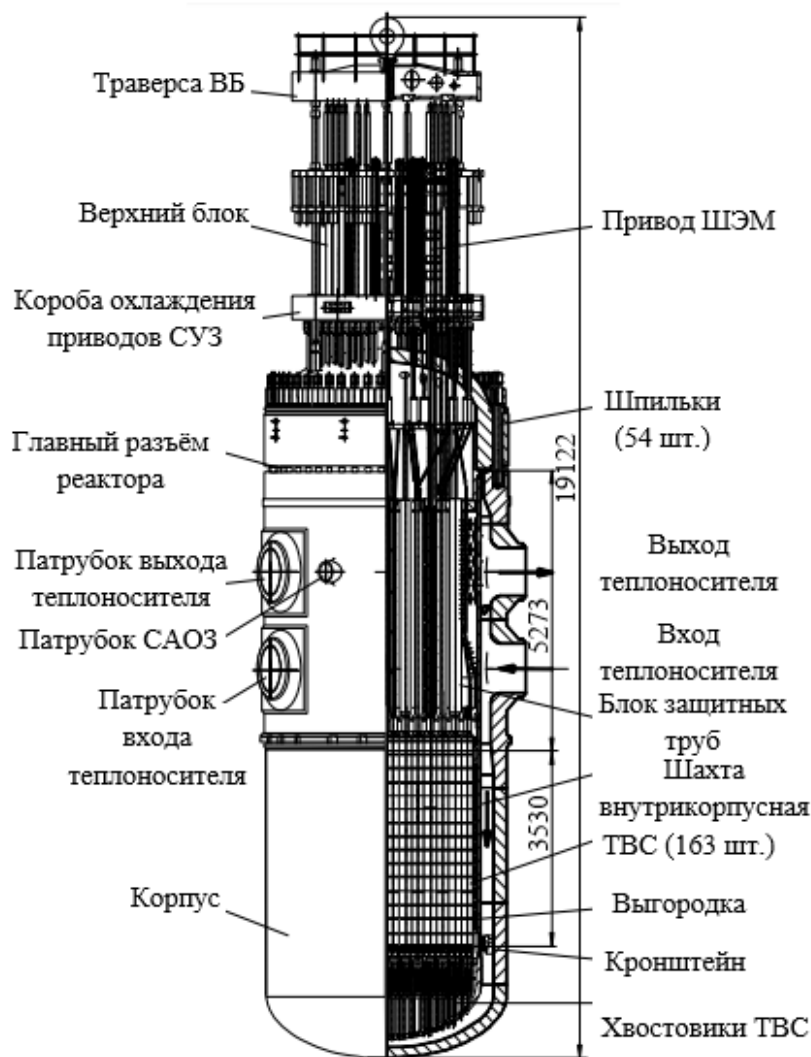


Рисунок 5 – Ядерный реактор ВВЭР-1000

б) Четыре циркуляционных петли, в каждую из которых входят:

– Главный циркуляционный трубопровод (ГЦТ) – служат соединением оборудования 1-ого контура. Располагаются попарно, в противоположных сторонах от реактора. ГЦТ реактора ВВЭР-1000 изготавливается из конструкционной стали 10ГН2МФА в виде бесшовных труб и колен с плакированной внутренней поверхностью (плакировка сталь 08Х19Н10Г2Б). Сталь 10ГН2МФА применяется в термообработанном состоянии. Термообработка состоит из основной термообработки (закалка с отпуском или нормализация с отпуском) и дополнительных технологических отпусков в процессе изготовления [8].

Размеры трубопровода Ду850: наружный диаметр 990 мм, внутренний диаметр 850 мм, толщина стенки 70 мм [9].

– Главные циркуляционные насосы (ГЦН) – производят принудительную циркуляцию воды первого контура реакторной установки. Принудительная циркуляция создается работой насоса, подающего воду в реактор, которого нагретая вода возвращается с охлаждением в ПГ. В дальнейшем вода с помощью насоса снова подается в реактор.

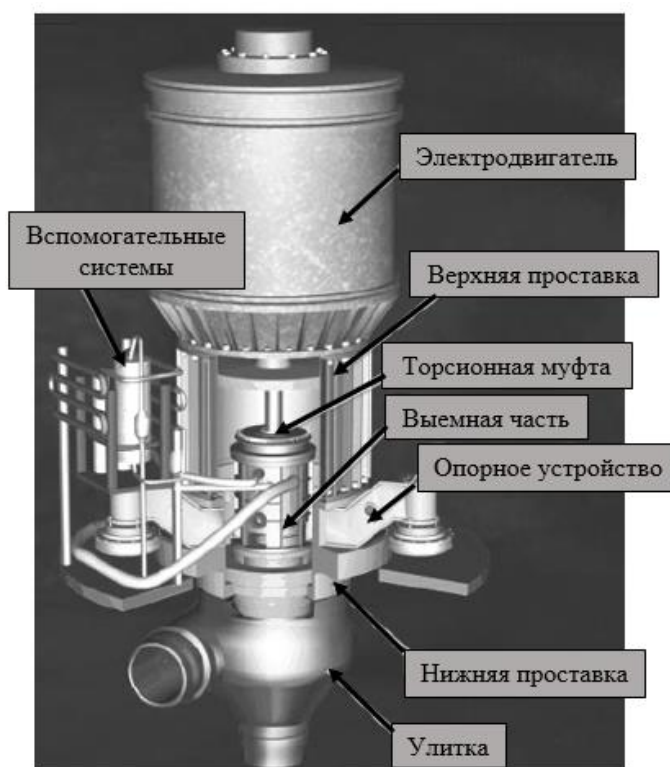


Рисунок 6 – Типовая структурная схема ГЦН

ГЦН-195М – это вертикальный центробежный одноступенчатый насос с гидростатическим уплотнением вала, консольным рабочим колесом, осевым подводом воды и выносным трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором [6];

Главной отличительной чертой насосов данного вида – наличие механического уплотнения вращающегося вала, обеспечивающее значительные преимущества в насосах с большой подачей по сравнению с герметичными. Все насосы этого типа – выполнены вертикально и имеют герметичный эллиптический силовой корпус («улитку»). На рисунке 3 представлена типовая структурная схема ГЦН в виде комплекса, включающего в себя типовые узлы которые присутствуют во всех

конструкциях данного типа: приводной электродвигатель, подшипниковые опоры с системой смазки, уплотнение вращающегося вала с системой питания и охлаждения, проточную часть [10].

– Парогенератор (ПГ) – применяется для передачи энергии производящейся в активной зоне реактора, во 2-ой контур. Теплоноситель первого контура проходит через ПГ и нагревает теплоноситель второго контура. Вода второго контура преобразуется в пар и поступает в турбину через сборные паропроводы.

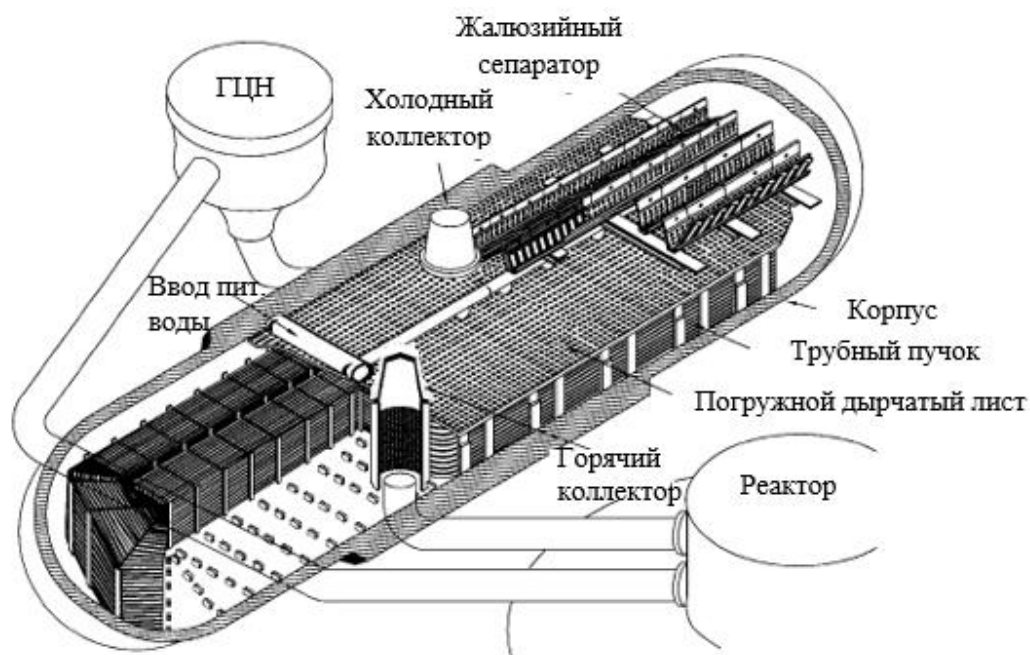


Рисунок 7 – Конструкционная схема ПГВ-1000М

Конструктивно парогенератор типа ПГВ-1000М для АЭС с ВВЭР представляет собой однокорпусный двухконтурный теплообменный аппарат горизонтального расположения с погруженным трубным пучком. Парогенератор состоит из корпуса, входного и выходного коллекторов, U-образного трубного пучка поверхности теплообмена, раздающего коллектора питательной воды, встроенного сепарационного устройства, пароотводящей системы, системы продувок и дренажа. Цилиндрическая часть разделена на три обечайки, средняя из которых имеет увеличенную толщину, так как ослаблена проходящими через неё цилиндрическими вертикальными

коллекторами. Коллекторы служат для подвода и отвода теплоносителя первого контура АЭС [11].

в) Система компенсации давления теплоносителя. Компенсатор давления (КД) – обеспечивает поддержание давления в 1-ом контуре. В КД вода закипает и образует «паровую подушку». Для того чтобы повысить давление в 1-ом контуре вода в КД нагревается с помощью электронагревателей, а для того чтобы понизить давление, впрыскивается вода из «холодной нитки» в паровое пространство из-за чего происходит конденсация части пара и снижение давления.

г) Пассивная часть системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ), состоящая из емкостей САОЗ, трубопроводов связи емкостей САОЗ с реактором и арматуры на этих трубопроводах. Система разработана для аварийного охлаждения активной зоны реактора при разрывах трубопроводов реакторной установки.

д) Система аварийного газоудаления разработана для очистки первого контура от парогазовой смеси при возникновении аварийной ситуации, сопряженной с оголением активной зоны реактора и формированием пароциркониевой реакции и реализована как защитная система безопасности. В состав системы входят трубопроводы с арматурой, соединяющие пространство под крышкой реактора, паровое пространство КД, коллекторы первого контура парогенераторов с барботером [6,12].

1.2 Второй контур унифицированного реактора ВВЭР-1000

Парогенератор является связующим звеном между первым и вторым контурами (Рисунок 8). Конструктивно парогенератор представляет собой трубчатый испаритель естественной циркуляции с механической сушкой пара. Пар из ПГ поступает в паротурбинную установку, которая приводит в движение турбогенератор. Турбогенератор вырабатывает электроэнергию.

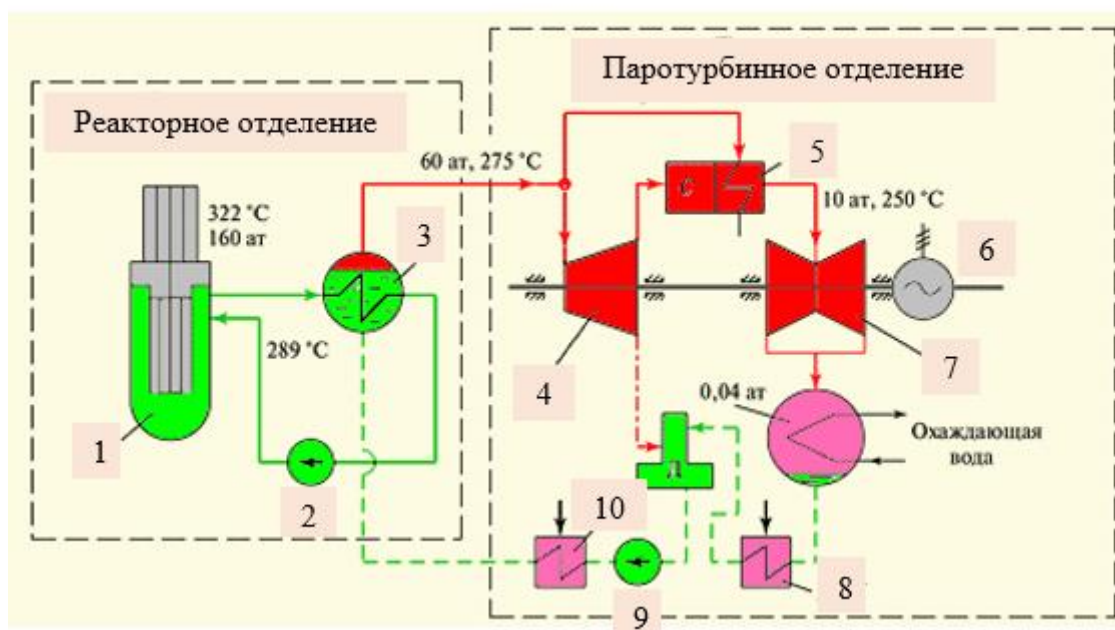


Рисунок 8 – Технологическая схема реактора ВВЭР-1000: 1 – Ядерный реактор; 2 – ГЦН; 3 – ПГ; 4 – цилиндр высокого давления; 5 – пароперегреватель; 6 – электрический генератор; 7 – цилиндр низкого давления; 8 – подогреватель низкого давления; 9 – питательный насос; 10 – подогреватель высокого давления.

В составе реактора ВВЭР-1000 могут применяться 4 принципиальных тепловых схемы второго контура, которые отличаются друг от друга типом применяемой турбоустановки (Рисунок 9): К-500-60/1500, К-1000-60/1500-1, К-1000-60/1500-2 или К-1000-60/3000.

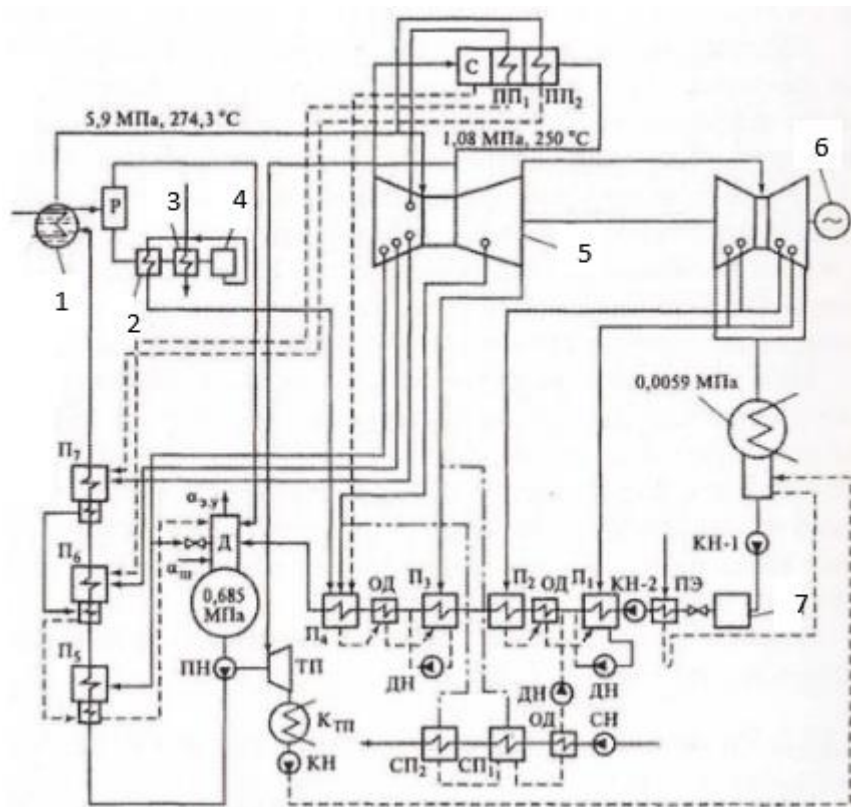


Рисунок 9 – Принципиальная тепловая схема второго контура с турбоустановкой К-500-60/1500: 1 – ПГ; 2 – теплообменник; 3 – доохладитель; 4 – ионообменный фильтр; 5 – турбина; 6 – электрический генератор; 7 – блочная обессоливающая система.

Паровая турбина применяется для механического привода электрогенераторов. Главный путь производства электрической энергии на современных АЭС – использование электрогенераторов машинного типа с механическим приводом от паровой турбины. Кинетическая энергия потока пара преобразуется из тепловой энергии пара в период его расширения в проточной части турбины. Произведенная энергия применяется в турбине электрогенератора для вращения ротора. Параметры поступающего на турбину пара напрямую зависят от параметров теплоносителя, который охлаждает активную зону ядерного реактора.

С помощью технических возможностей изготовления мощных корпусов было определено максимально возможное давление теплоносителя (16 МПа) для двухконтурной АЭС с реактором ВВЭР-1000.

Отличительные черты паровых турбин АЭС с реакторами ВВЭР обоснованы их работой на насыщенном паре с относительно малым теплоперепадом. Этот факт приводит к большим расходам пара, и основная часть ступеней турбины работает на влажном паре. Влажность пара, в период расширения насыщенного пара в турбине, безостановочно возрастает до значений, при которых в проточной части турбины происходит эрозионный износ. По этой причине в термодинамический цикл для АЭС с водой в качестве теплоносителя включают промежуточную сепарацию. Принцип сепарации пара заключается в отводе в специальный сепаратор пара, который после головного цилиндра турбины достиг максимально допустимых значений влажности. В сепараторе пар осушается при постоянном давлении (температуре). Крупные паровые турбины конструктивно разделяются на части высокого (ЧВД), среднего (ЧСД) и низкого (ЧНД) давлений, имеющих отличное число параллельных потоков и выхлопов. ЧВД и ЧСД объединены общим корпусом турбины, то есть изготавливаются в виде одного цилиндра среднего давления (ЦСД), а ЧНД турбины, как правило, производится из некоторого числа цилиндров низкого давления (ЦНД) каждый из которых произведен двухпоточным [13].

На большинстве АЭС одновременно с внешней сепарацией используется еще и промежуточный перегрев. Для промежуточного перегрева, как правило, применяется пар, который отбирается из ЦВД, или свежий пар. При перегреве свежего пара снижается термический КПД цикла. Преимуществом использования влияния такого пароперегревателя является только существенное уменьшение потерь влажности в предшествующих ступенях, увеличении внутреннего относительного КПД и надежности турбины. Как правило, паровой перегрев применяют при условии невозможности достижения допустимого уровня влажности пара в конце расширения сепарацией.

Пар после преодоления ЦСД и сепаратора-перегревателя поступает параллельно на все ЦНД.

На АЭС имеет место быть регенеративный подогрев питательной воды, который имеет следующие отличительные черты:

- подогрев питательной воды в области насыщенного пара за счет отбираемого пара является термодинамически более выгодным, чем в зоне перегрева;
- благодаря отбору влажного пара появляется возможность выводить влагу, которая сконцентрирована у периферии рабочих колес, из проточной части с минимальными потерями, что так же увеличивает КПД и надежность последующих ступеней турбины;
- из-за меньшей энтальпии отбираемого пара увеличивается его доля и, следовательно, уменьшается доля пара, поступающего в конденсатор, что, в свою очередь, приводит к разгрузке ступеней низкого давления. Все это увеличивает во влажно паровых турбинных установках эффективность системы регенеративного подогрева питательной воды и выгоду от повышения ее температуры [14].

1.3 Системы контроля ядерного реактора

Система контроля ядерного реактора – совокупность средств технического, программного, информационного, метрологического и организационного обеспечения контроля параметров, характеристик и (или) состояния ядерного реактора, предназначенная для выполнения заданных функций.

Система контроля ядерного реактора, предназначенная для контроля физической мощности и скорости изменения физической мощности ядерного реактора по плотности потока нейтронов [15].

Получение информации об относительном распределении нейтронного потока по объему активной зоны; относительном распределении температуры над активной зоной; температуре в контролируемых точках на трубопроводах и оборудовании первого контура; состоянии технологического оборудования

первого контура осуществляется системой контроля, управления и диагностики (СКУД).

Если рассматривать ядерный реактор в качестве объекта управления, то он является неустойчивым элементом системы. При эксплуатации в нормальном режиме самопроизвольно происходят колебания мощности, нарастающие при нехватки управления по амплитуде и могут вызвать срабатывание аварийной защиты и привести к останову реактора. Эти колебания являются, так называемыми ксеноновыми колебаниями, которые вызваны неустойчивым контуром внутренней обратной связи реактора по отравлению продуктами деления. Так как ксеноновые колебания обладают малой частотой (1–2 колебания в сутки) то, их можно скомпенсировать с помощью ручного перемещения поглощающих стержней, при этом серьезно не загружая операторов управления. Но при движении управляющих стержней сверху-вниз активной зоны создается неравномерное распределение потока нейтронов. В нижней части активной зоны нейтронный поток увеличивается по отношению к верхней части, происходит распределение называемое «бутылка». Известно, что плотность потока нейтронов прямо пропорциональна амплитуде ксеноновых колебаний, из чего следует, что амплитуда ксеноновых колебаний в верхней части реактора меньше, чем в нижней, что приводит к неустойчивому распределению нейтронного поля по объему реактора.

Реактор ВВЭР-1000 имеет такой размер активной зоны, что радиальные ксеноновые колебания успешно купируются утечкой и поэтому для данного типа реакторов можно говорить только о подавлении аксиальном неравномерном распределении. При увеличении удельной энергонапряженности в реакторах этого типа увеличивается экономичность их работы, но также происходит нестабильное аксиальное распределение потока и опасность кризиса теплосъема в самых напряженных участках активной зоны [16].

Регулирование мощности происходит за счет воздействия на реактивность механической и борной систем. Механическая система регулирования реактивности включает в себя 61 рабочий орган (РО) СУЗ, каждый из которых состоит из 18 поглощающих нейтроны элементов (ПЭЛ) одной ТВС. Рабочие органы СУЗ для удобства регулирования объединены в группы и распределены по сечению активной зоны соответствующим образом. Передвижение механических органов регулирования производится со скоростью 0,05 м/с линейным шаговым двигателем. В водо-водяных реакторах с густой топливной решеткой обычно применяют либо подвижные поглощающие кассеты той же конфигурации, что и топливные сборки, либо так называемое кластерное регулирование, при котором в отдельных топливных кассетах вместо части твэлов установлены поглощающие стержни. К стержням обычно прикрепляют вытеснители, вытесняющие воду из той части активной зоны, в которой не находится стержень-поглотитель. Назначение вытеснителей не допустить резкого локального повышения плотности потока нейтронов в этих зонах. При поглощении нейтронов стержнями происходит выделение теплоты. Для ее отвода организуют специальное охлаждение стержней и механизмов их привода.

Составными частями СУЗ являются система регулирования мощности, система компенсации реактивности, аварийная защита реактора, а также пусковая система. Командным органом автоматической системы регулирования (АСР) мощности реактора является регулятор мощности (РМ), сравнивающий ее заданное и фактическое значения. Первое из них устанавливается задатчиком мощности (ЗМ).

Борная система воздействует на реактивность активной зоны путем изменения концентрации в теплоносителе борной кислоты (бор имеет высокое значение сечения поглощения нейтронов) [17,18].

1.4 Внутрореакторный контроль ядерного реактора

Главное предназначение системы внутрореакторного контроля (СВРК) – гарантирование безопасного и экономичного использования реактора в энергетическом диапазоне по средствам сбора, обработки и предъявления информации оператору о состоянии активной зоны и первого контура. Следовательно, система работает в информационном режиме, она выдает оператору информацию для безопасного ведения технологического процесса со стороны выполнения разрешенных пределов работы реакторной установки. Наряду с этим оператор достаточно точно в наглядном виде, оперативно и достоверно предъявляется информация об общей тепловой мощности реактора, распределении энерговыделения по объему активной зоны, температуре и подогреве теплоносителя в I контуре и т.д. Помимо этого, система собирает информацию о выгорании топлива и регистрирует последовательность событий при возникновении аварии.

Обобщенная структура системы ВРК представлена на рисунке 10. Датчики производят преобразование первичных физических параметров (температура, плотность нейтронного потока, расход, давление и т.д.) в электрические сигналы, поступающие по линиям связи в информационно-измерительную аппаратуру. Здесь происходит измерение, предварительная обработка и вывод информации к оператору и в ЭВМ. Последняя производит расчеты теплотехнических и ядерно-физических параметров, которые характеризуют работу активной зоны реактора и реакторной установки в целом, и преподносит их оператору. Работа информационно-измерительной аппаратуры и ЭВМ производится согласно с совокупностью алгоритмов и программ, образующих математическое и программное обеспечение (МПО) системы.

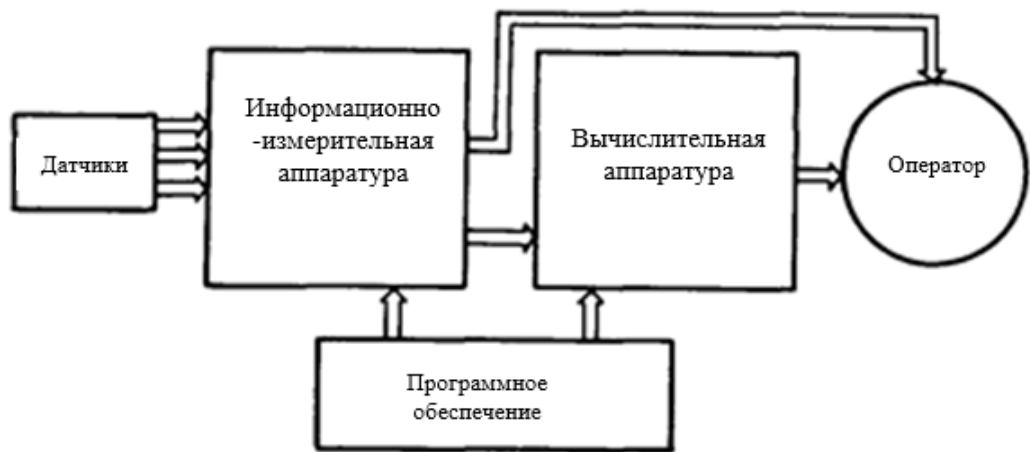


Рисунок 10 – Обобщенная структура системы ВРК

МПО совокупно с соответствующими аппаратными средствами информационно-измерительной аппаратуры и ЭВМ производит следующие выходные функции системы:

- контроль главных параметров реактора (проверка нахождения их в пределах заданных уставок) и сигнализация, если происходит выход за эти пределы;
- предоставление оператору сводной информации о работе реакторной установки;
- фиксация информации для создания протоколов и сводок;
- сохранение (архивизация) данных для записи истории работы реактора.

Важнейшими функциями системы при эксплуатации являются контроль работоспособности и диагностика неисправностей. Данные функции производятся за счет аппаратных и программных средств.

Во внутрикорпусной полости водо-водяного реактора располагаются датчики температуры и контроля энерговыделения. Вопреки тяжелым условиям работы (высокая температура, давление, интенсивное γ - и нейтронное излучение) датчики должны иметь достаточно высокие метрологические и надежность характеристики, обладать небольшими размерами и конструктивно сопрягаться с внутрикорпусными агрегатами.

а) Датчики контроля энерговыделения – применяются для фиксирования распределения энерговыделения по объему активной зоны. В системе ВРК применяются детекторы прямой зарядки (ДПЗ) с эмиттером из родия.

В состав ДПЗ входит эмиттер, коллектор и изолятор, находящийся между эмиттером и коллектором. При облучении нейтронами эмиттер излучает электроны, которые через изолятор попадают на коллектор и образуют во внешней цепи электрический ток. По кабелю выходной сигнал ДПЗ выводится за пределы корпуса реактора. В применяемых на реакторах ВВЭР детекторах типа ДПЗ-1М [19,20] эмиттер представляет собой родиевую проволочку диаметром 0,5 и длиной 200 мм. Изолятор изготовлен из кварцевой трубки, коллектор из нержавеющей трубки диаметром 1,3 мм. В качестве линии связи используется двухжильный кабель типа КТМС с изоляцией из окиси магния.

Выходной сигнал ДПЗ пропорционален плотности нейтронного потока в месте его расположения, который в свою очередь связан с энерговыделением в ближайших твэлах.

Восстановление поля энерговыделения по сигналам ДПЗ осуществляется на основе коэффициентов пропорциональности, зависящих от многих факторов, в том числе от обогащения топлива и его выгорания, концентрации борной кислоты, температуры теплоносителя и т.д. Значения этих коэффициентов находят расчетным путем [21]. При нахождении коэффициентов учитывают также и выгорание материала эмиттера ДПЗ.

б) Датчики контроля температуры. В системе ВРК используются термодатчики двух типов – термопары (ТП) и термосопротивления (ТС) (СП-01, ТСП-06, ТСП-04).

Принцип работы ТС основывается на свойстве чувствительного элемента (ЧЭ) в зависимости от изменения температуры изменять свое электрическое сопротивление. ТС состоит из: измерительная вставка (сенсор); ЧЭ из платины (ТСП) или меди (ТСМ); защитная арматура или кабель RTD

(оболочка из нержавеющей стали); корпус (из алюминия, нержавеющей стали).

По сравнению с ТС, ТП обладают следующими преимуществами [22, 23]: большая надежность работы и метрологические характеристики более стабильны при облучении. ТП не требуют внешнего источника питания, просты по конструкции и технологичны при изготовлении. В то же время ТП обладают и рядом существенных недостатков: меньшая по сравнению с ТС точность измерения и меньший выходной электрический сигнал; необходимость компенсации температуры холодного спая ТП, что увеличивает погрешность измерения.

В связи с этим в системе ВРК ТП используют для работы в тяжелых условиях внутри корпуса реактора для массовых измерений температуры теплоносителя на выходе из топливных кассет, а также температуры теплоносителя в общем объеме. ТС применяют для проведения точных измерений в менее тяжелых условиях. Например, по ТС, установленным на холодных и горячих нитках циркуляционных петель, осуществляют калибровку всех ТП первого контура.

Если в системах термоконтроля первых реакторов типа ВВЭР использовались ТП градуировки хромель-копель, то в системах ВРК серийных реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 использовались ТП градуировки хромель-алюмель, градуировочная характеристика которых меньше зависит от дозы радиационного облучения, несмотря на то, что эти ТП обладают вдвое меньшей чувствительностью.

Работа ТП основана на термоэлектрическом эффекте, т.е. возникновении термо-ЭДС в замкнутой цепи из двух разнородных проводников при наличии разности температур между холодным и горячим спаями проводника. При измерении температуры с помощью ТП ее горячий спай помещают в точку измерения, а в разрыв холодного спая включают измерительный прибор. Поскольку термо-ЭДС зависит от разности температур холодного и горячего спаев, для получения абсолютного значения

температуры необходимо внести поправку на температуру холодного спая (так называемая компенсация температуры холодного спая).

ТП системы ВРК изготавливают из термопарного кабеля КТМС, представляющего собой хромелевый и алюмелевый провода, помещенные в оболочку с порошком окиси магния. Со стороны горячего спая провода сваривают друг с другом и с оболочкой (ТП типа К). Со стороны холодного спая кабель заделывают специальным герметиком, чтобы обеспечить герметичность ТП в целом [24].

в) Датчики давления (ДД) (ТЖИУ406-ДД-М100-АС, ТЖИУ406-ДИ-М100-АС). Существуют для непрерывного фиксирования и преобразования значений измеряемого параметра: абсолютного давления, избыточного давления, избыточного давления-разрежения, разрежения нейтральных к нержавеющей сталям и сплавам титана, жидких, газообразных сред и пара в унифицированные выходные токовые сигналы и цифровые сигналы.

Принцип работы ДД основан на применении тензорезистивного эффекта (изменение электрического сопротивления полупроводника, в результате его деформации). Существуют два различных типа тензорезистивных модулей: кремний на кремнии (КНК) или кремний на сапфире (КНС). При воздействии давления на тензомодули происходит деформация тензорезисторов, которая вызывает изменение их сопротивлений. Данное изменение преобразуется в цифровой код в электронном блоке датчика, который функционально связан с измеряемым давлением. Микропроцессор электронного блока корректирует цифровой код, компенсируя нелинейность передаточной функции тензомодуля и ее температурную зависимость. Скорректированный цифровой код передается на устройство, формирующее унифицированный аналоговый и/или цифровой выходной сигнал. Для визуализации результатов измерения датчики имеют жидкокристаллический цифровой дисплей. В состав датчиков входит блок фильтра помех (блок грозозащиты), предназначенный для защиты датчиков от электромагнитных помех большой энергии и радиочастотных помех.

2 Практическая часть

2.1 Динамические испытания

Динамические испытания – это испытания по проверке динамических режимов работы энергоблока, определяющим фактором которых является быстрый перевод энергоблока с одного уровня мощности на другой, связанный с отключением оборудования или воздействием извне.

Цель динамических испытаний:

- проверка фактических динамических характеристик оборудования реакторной установки энергоблока на соответствие проекту;
- проверка алгоритма работы оборудования первого контура, систем управления и безопасности на соответствие проекту;
- комплексная проверка динамической устойчивости, совместной работы основного и вспомогательного оборудования энергоблока при переходе энергоблока на новый уровень мощности;
- определение величины отклонений параметров первого и второго контуров от номинальных значений в переходном процессе.

Для выполнения испытания была составлена Программа и Методика Испытания РУ при отключении одного ГЦН из четырех работающих Энергоблок №3 Ростовской АЭС (ядерно-опасная работа) ПМ.3.ОПЭ.РЦ/2033-н.

2.2 Отключение одного ГЦН из четырех работающих

Причиной отключения ГЦН могут явиться механические или электрические повреждения самих ГЦН, их вспомогательных систем, нарушения в цепях управления и системах измерения параметров, а также действия персонала, вызванные необходимостью аварийного останова ГЦН.

Персонал обязан контролировать разгрузку реактора с помощью разгрузки и ограничения мощности (РОМ) до допустимого уровня мощности и обеспечить стабилизацию параметров на новом уровне мощности.

Целью ядерно-опасных работ по программе является:

- проверка соответствия проекту совместной работы основного и вспомогательного оборудования блока при переходе блока на новый уровень мощности, вызванном отключением одного из четырех работающих ГЦН;
- подтверждение надежного теплоотвода от активной зоны реактора при отключении ГЦН;
- отработка безопасного и динамически устойчивого прохождения переходного режима при отключениях одного из четырех работающих ГЦН;
- получение данных для корректировки и настройки регуляторов энергоблока;
- получение данных для корректировки (при необходимости) коэффициентов, применяемых в расчете выбега ГЦН;
- получение данных для корректировки (при необходимости) проектной и эксплуатационной документации;
- получение фактических данных об изменении параметров блока в исследуемых переходных динамических режимах;
- подтверждение работоспособности автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) в объеме, обеспечивающем проведение динамических испытаний.

Исходное состояние основных систем и оборудования энергоблока соответствует состоянию РУ «работа на мощности 50% $N_{\text{ном.}}$, 75% $N_{\text{ном.}}$, 100% $N_{\text{ном.}}$ » с полным числом работающих петель и условиям безопасной эксплуатации РУ.

Перед проведением испытаний проверить значение уставки системы РОМ по мощности реактора для четырех работающих ГЦН.

По команде руководителя испытаний отключить один ГЦН из четырех работающих. При этом РОМ должен с помощью регулирующей группы

снизить мощность реактора в соответствии с проектом. В этом состоянии «холодный» теплоноситель из 3-х петель поступает в отключённую петлю (с отключённым ГЦН) через напорную камеру реактора. После этого «холодный» теплоноситель попадает в ПГ и дополнительно охлаждается. После ПГ он течёт в сборную камеру реактора. Там он перемешивается с теплоносителем основного потока и распределяется по 3 рабочим петлям в разных пропорциях [25].

По результатам испытания необходимо определить время работы РОМ.

Критериями успешности испытания данного режима являются:

- отсутствие отказов в работе устройств нормальной эксплуатации, предупредительных защит, технологических блокировок;
- несрабатывание быстрого разгрузочного устройства в конденсатор/ атмосферу (БРУ-К, БРУ-А);
- переход автоматического регулятора мощности (АРМ) в режим «Н» после отключения РОМ;
- в переходном динамическом процессе определены величины отклонений параметров первого и второго контуров от номинальных значений для осваиваемого уровня мощности;
- подтверждено отсутствие увеличения активности первого контура;
- скорость снижения частоты вращения ГЦН не более определенной проектом;
- не были достигнуты уставки срабатывания аварийной защиты (АЗ);
- после отключения одного ГЦН из четырех работающих мощность РУ стабилизировалась на уровне в соответствии с требованиями проекта;
- оперативный персонал не вмешивался в работу автоматических систем регулирования и защит.

2.3 Результаты испытания

В процессе проведения испытаний по Программе с помощью СВРК регистрируются различные параметры, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень параметров, регистрируемых в архиве СВРК

№	Наименование параметра, единица измерения	Идентификатор параметра
1	2	3
1	Мощность реактора по параметрам теплоносителя первого контура;	30YAR00FU001 XQ01
2	Мощность петли 1 первого контура	30YAR10FU001 XQ01 30YAR20FU001 XQ01 30YAR30FU001 XQ01 30YAR40FU001 XQ01
3	Мощность петли, рассчитанная по параметрам питательной воды в ПГ-1÷4	30RLR10FU001 XQ01 30RLR20FU001 XQ01 30RLR30FU001 XQ01 30RLR40FU001 XQ01 30RLR00FU001 XQ01 30RLR00FU001 XQ02
4	Мощность реактора, рассчитанная по параметрам питательной воды на линиях ПВД	30RLR00FU002 XQ01

Данные СВРК представлены txt файлами с разделителями типа « | », и построчным расположением информации (Рисунок 11).

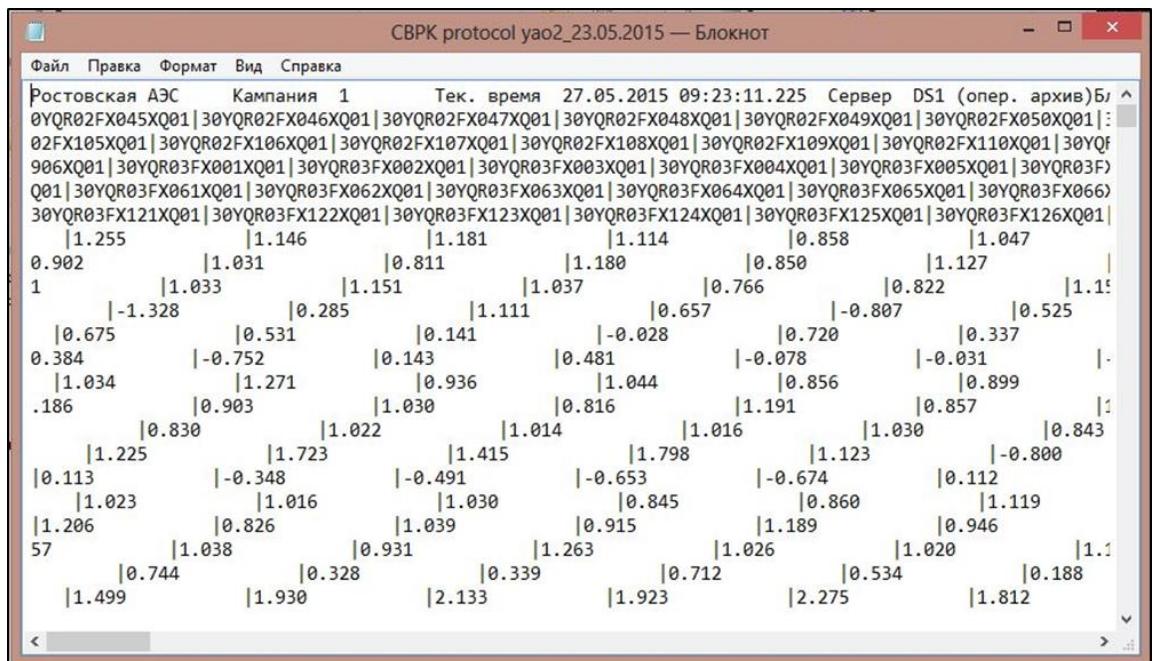


Рисунок 11 – Пример представления данных СВРК

После завершения испытания производится анализ полученных из СВРК данных.

2.4 Анализ результатов испытания. Выводы.

Для проведения анализа результатов испытания по отключению одного ГЦН из четырех работающих необходимо импортировать данные полученные системой ВРК из текстового файла в файл формата Excel. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- а) создать новый файл электронной таблицы Excel;
- б) перейти на вкладку данные;
- в) получение внешних данных «из текста»;
- г) выбрать текстовый файл снятых с СВРК данных;
- д) указать формат данных: с разделителями, формат файла Кириллица (Windows), нажать кнопку далее;
- е) символом разделителя является: выбрать другой: ввести «|» без кавычек (Shift+\ на английской раскладке) и нажать на кнопку готово;

ж) в открывшемся окне выбрать место вставки данных желательно «=Лист1!\$A\$1» ячейка A1 на первом листе книги;

з) сохранить, закрыть.

Затем необходимо построить графики в программе Excel, осуществить подпись графиков, осей и легенды. С помощью инструментов форматирования необходимо установить шрифт подписей, размер шрифта, цвет подписей. С помощью «линии тренда» провести аппроксимацию графиков, для того, чтобы убрать лишние рефлекссы. Затем провести анализ на возрастание/убывание полученных значений с помощью построенных графиков и осуществить описание полученных результатов (Рисунок 12).

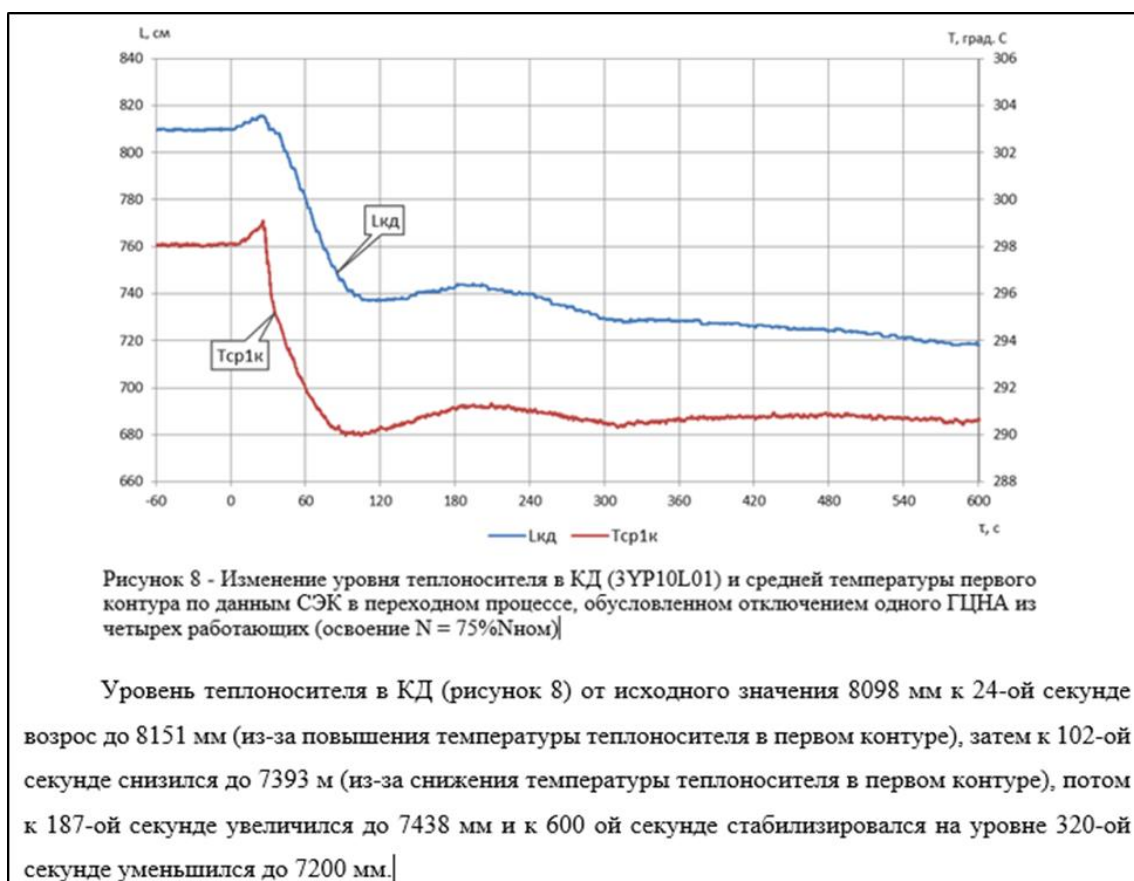


Рисунок 12 – Пример оформления протокола испытаний

После проведения анализа данных составляется протокол пусконаладочных работ (испытаний) на оборудовании (системе).

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований [27, 28].

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д. [29].

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;

– оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

– определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе проведена разработка приложения для анализа данных СВРК, полученных в ходе проведения динамических испытаний. Разработка приложения проводилась с помощью программного комплекса Mathworks Matlab версии R2013a.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является приложение, разработанное с помощью программного комплекса Mathworks Matlab, которое позволяет значительно сократить затрачиваемое на обработку и анализ данных СВРК, полученных в ходе проведения динамических испытаний.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные научные отрасли, в частности организации, которые занимаются пуско-наладочными работами.

Сегментировать рынок услуг можно по размеру компаний, которые могут использовать данные расчеты. Результаты сегментирования представлены на рисунке 21.

		Расчетная оценка дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ	
		Атомная промышленность	Научная отрасль
Размер компании	Крупные		
	Средние		

Рисунок 21 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию проведенных расчетов

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

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 оценивать сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть методы анализа полученных данных СВРК с помощью программы Microsoft Excel и Origin.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 3. 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3 – 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. Скорость расчета	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
2. Требования к ПЭВМ	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,2
3. Надежность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
4. Погрешность расчетов	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Обратная связь с разработчиком ПО	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
6. Обновление ПО	0,01	2	4	4	0,02	0,04	0,04
7. Простота использования	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
2. Стоимость разработки	0,1	5	1	1	0,5	0,1	0,1
3. Финансирование разработанного метода	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
Итого	1				4,47	3,02	3,11

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что использованный в данной магистерской диссертации разработанное приложение для анализа данных СВРК, является наиболее оптимальным для использования в практических целях. Конкурентные методы анализа данных с помощью пакетов программ является экономическим невыгодным и не может учитывать всех факторов таких как погрешность расчета.

4.1.2 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. 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.

Слабые стороны – 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.

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.

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.

В таблице 4 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	+	+	+	+	+
B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 5.

Таблица 5 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: C1. Научная новизна. C2. Повышенная точность анализа. C3. Наличие параметров редактирования графиков. C4. Наличие актуальных данных по данным СВРК. C5. Значительное сокращение время анализа данных.	Слабые стороны проекта: Сл1. Наличие зависимости от версии Matlab.
Возможности: B1. Использование программы для атомной промышленности и научной отрасли. B2. Возможность анализа различных данных. B3. Актуальность темы для публикации в научных журналах. B4. Возможность введения дополнений в программу. B5. Дополнительный спрос на результаты анализа.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Научная новизна, и, как следствие, публикации в цитируемых научных журналах. 2. Получение анализа данных СВРК, полученных в ходе проведения динамических испытаний.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Требование наличия обширных знаний по написанию кода в программе Matlab.
Угрозы: У1. Создание новой более совершенной программы. У2. Природные катаклизмы. У3. Снижение государственного финансирования.	«Сильные стороны и угрозы»: 1. возможность усовершенствования программы для конкурентоспособности.	«Слабые стороны и угрозы»: 1. зависимость от версии Matlab в следствии не возможно создать усовершенствования.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества методики анализа данных с помощью разработанной программы значительно преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР), представленная на рисунке 22, представляет детализацию укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

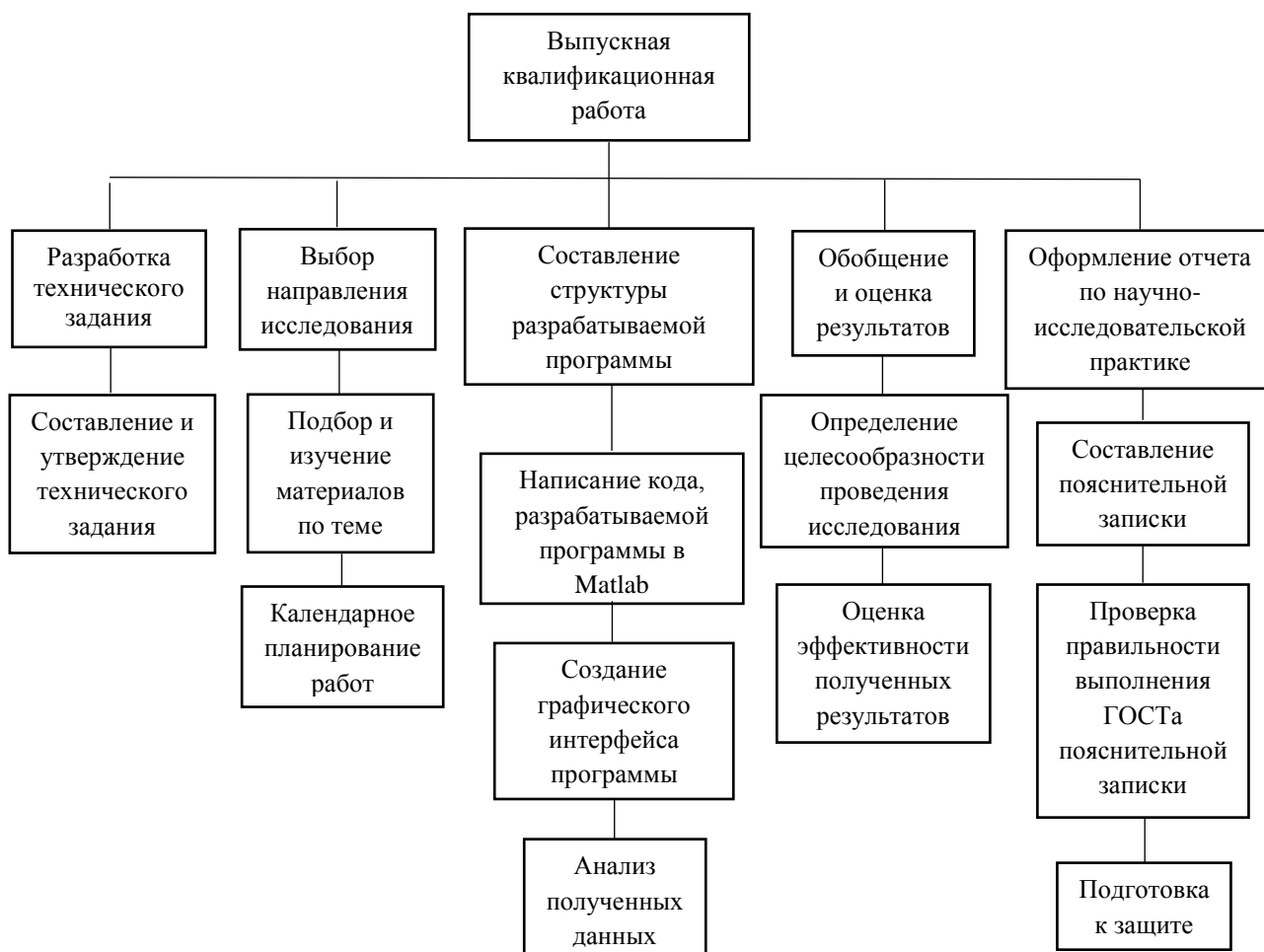


Рисунок 22 – Иерархическая структура работ

4.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания	2.02.2017	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2017	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2017	
4	Подбор и изучение материалов по теме	7.02.2017	Отчёт
5	Календарное планирование работ	6.03.2017	План
6	Разработка приложения для анализа данных СВРК	7.03.2017	Отчёт
7	Анализ полученных данных	10.04.2017	Отчёт
8	Обобщение и оценка результатов	11.04.2017	Отчёт
9	Составление пояснительной записки	12.04.2017	Пояснительная записка
10	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	15.05.2017	Пояснительная записка
11	Подготовка к защите	16.05.2017	

4.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	1	2.02.2017	3.02.2017	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2017	5.02.2017	Руководитель
3	Выбор направления исследований	2	5.02.2017	7.02.2017	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	27	7.02.2017	6.03.2017	Студент
5	Календарное планирование работ	1	6.03.2017	7.03.2017	Руководитель, студент
6	Разработка приложения для анализа данных СВРК	34	7.03.2017	10.04.2017	Студент
7	Анализ полученных данных	1	10.04.2017	11.04.2017	Студент
8	Обобщение и оценка результатов	1	11.04.2017	12.04.2017	Студент
9	Составление пояснительной записки	33	12.04.2017	15.05.2017	Студент
10	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	15.05.2017	16.05.2017	Студент
11	Подготовка к защите	9	16.05.2017	27.05.2017	Студент



В таблице 8 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ ра бо т	Вид работ	Исполни тели	Т _к , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			Ию нь
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Разработка технического задания	Руководитель	1	▨												
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	▨												
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	2	▨												
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	27		■											
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1				▨									
6	Разработка приложения для анализа данных СВРК	Студент	34				■									
7	Анализ полученных данных	Студент	1													
8	Обобщение и оценка результатов	Студент	1													

Продолжение таблицы 8

№ ра бо т	Вид работ	Исполни тели	Т _к , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Ию нь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
9	Составление пояснительной записки	Студент	33														
10	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	10														
11	Подготовка к защите	9	11														

 – Руководитель  – Студент

4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [30]. 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.

4.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (2)$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

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

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров, оплаты доступа в интернет, электроэнергия при работе на ПЭВМ. Расчёт электроэнергии проведен по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 960 = 2784, \quad (3)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2784 рубля.

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	Ballet	500	0,45	224
Печать на листе А4	–	250	2	500
Ручка	ВІС	1	10	10
Доступ в интернет	–	3 месяца	350	1050
Всего за материалы				2834
Транспортно-заготовительные расходы				0
Электроэнергия				2784
Итого по статье С _м				5618

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

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

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d, \quad (6)$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В таблице 10 представлен баланс рабочего времени.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	56	48
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	199

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2275 руб/месяц. Среднедневная стипендия составляет:

$$З_{\text{дн}} = (2275 \cdot 11,2) / 199 = 128 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$З_{\text{осн студ}} = 128 \cdot 72 = 9218,9 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

– оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

– иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент, кандидат физико-математических наук. Оклад составляет 23264 рубля.

Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя в месяц:

$$Z_{\text{осн м.}} = 23264 \cdot 1,3 = 30243,2 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (30243,2 \cdot 10,4) / 243 = 1294,4 \text{ руб / день.}$$

$$Z_{\text{осн рук}} = 1294,4 \cdot 5 = 6472 \text{ руб.}$$

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (7)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

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

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	6472	9218,9
Дополнительная зарплата	970,8	–
Зарплата исполнителя	7442,8	9218,9
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	16661,7	

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (8)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 7442,8 = 2232,8 \text{ руб.}$$

4.3.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

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

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы.

Примем $k_{\text{накл}} = 12\text{--}16\%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 16661,7 = 2665,9 \text{ руб.}$$

4.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, которая является нижним пределом затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	5618
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	15691
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	970,8
4. Отчисления во внебюджетные фонды	2232,8
5. Накладные расходы	2665,9
Бюджет затрат исследования	27178,5

4.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 23.



Рисунок 23 – Организационная структура научного проекта

4.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И

Продолжение таблицы 13

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Разработка программы для анализа данных СВРК					И
Анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);

– согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

4.6 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 ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.6). 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:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (10)$$

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

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в 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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{27178,5}{27178,5} = 1;$$

Для аналогов (с использованием ПО, которое стоит 13045 руб. и 17394 руб.) соответственно:

$$I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{40224,2}{27178,5} = 1,48; \quad I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{44572,8}{27178,5} = 1,64;$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (11)$$

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.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сокращение время анализа данных	0,4	5	3	2
2. Наличие параметров редактирования графиков	0,2	5	2	2
3. Наличие актуальных данных СВРК	0,25	5	5	5
4. Повышенная точность анализа	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	5	3,25	3

- Сокращение времени анализа данных – сильная сторона проекта, способствует росту производительности труда пользователя;
- Наличие параметров редактирования графиков – сильная сторона проекта, повышает удобство в эксплуатации проекта, соответствует требованиям потребителей;
- Наличие актуальных данных СВРК – сильная сторона проекта, позволяет проводить анализ с повышенной точностью;
- Повышенная точность анализа – сильная сторона проекта, использование анализа для повышения точности исследования.

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,3;$$

$$\text{Аналог 2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 2,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаi}}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; \quad (12)$$

$$I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}}; \quad (13)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{1} = 5; \quad I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{3,3}{1,48} = 2,2;$$

$$I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фина2}}^{a2}} = \frac{2,9}{1,64} = 1,77.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}}. \quad (14)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,48	1,64	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,3	2,9	5
3	Интегральный показатель эффективности	2,9	1,77	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,27	2,82	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Список публикаций

- 1 Кузнецова М. Е., Беденко С. В. Разработка аналитической программы данных СВРК / VII Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ – 2016 г. – 159 с;
- 2 Кузнецова М. Е., Беденко С. В., Кнышев В.В., Веселов М.С. Разработка аналитической программы данных СВРК / XIV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа: сборник аннотаций – Москва: Курчатовский университет – 2016 г. – 28-29 с;
- 3 Кузнецова М.Е., Беденко С.В., Веселов М.С. Разработка программы для анализа данных СВРК / XII международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия 2017»: материалы конференции – Иваново: ФГБОУ ВО ИГЭУ им. Ленина – 2017 г. – 120с;
- 4 Кузнецова М. Е., Кнышев В. В., Мендоса О. Топливо для ВГТРУ малой мощности / VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине»: сборник тезисов докладов – Томск: Изд-во ТПУ – 2016 г. – 42-43 с;
- 5 Савасичев К. А., Кузнецова М.Е. и др. Численное моделирование радиационных полей в урановом производстве / VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов – Томск : Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ – 2015 г. –126 с.