

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

---

Институт: Энергетический

Специальность: Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Теплогидравлический расчет модернизированного реактора ВВЭР-1000</b>
УДК 621.311.25:621.039.524.001.24.(470.61)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Фролов Алексей Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Кузьмин А.В.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Сергейчик С.И.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств »

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТП	Андык В.С.	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры АТЭС	Вагнер М.А.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТЭС	Матвеев А.С.	к.т.н., доцент		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, специализация подготовки «Проектирование и эксплуатация атомных станций»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Использовать методологические основы современной картины мира для научного познания и творчества, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК- 1, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Анализировать социально-значимые процессы и явления, экономические проблемы и общественные процессы, ответственно участвовать в общественно-политической жизни, применять методы социального взаимодействия на основе принятых моральных и правовых норм	Требования ФГОС (ОК-2, 5, 9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и публично защищать результаты, владеть методами пропаганды научных достижений	Требования ФГОС (ОК-3 – 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Использовать системный подход в профессиональной деятельности, ставить цели и выбирать пути их достижения, обобщать, анализировать, критически осмысливать, систематизировать	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	<i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности, в том числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	Требования ФГОС (ОК-8; ОПК-1, ПК-7, 19), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе, многонациональном, принимать ответственность за свои решения, в том числе, нестандартные, управлять коллективом, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях	Требования ФГОС (ОК-10, 13, 14, ПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать информационные технологии для работы с информацией, управления ею и создания новой информации; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасности	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-2, 6, 13, 26, ПСК-1.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р9	Понимать значимость своей специальности, стремиться к ответственному отношению к своей трудовой деятельности, демонстрировать особые компетенции, связанные с уникальностью задач, объектов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	Использовать глубокие математические, естественнонаучные знания в профессиональной деятельности с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P11	Проводить <i>инновационные</i> научные исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-5, 9, 14, 15, 16), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-12; 17, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять <i>инновационные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности	Требования ФГОС (ПК-20, 21, 23 – 25, ПСК-1.5, 1.6, 1.8, 1.10), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P16	Анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты, проводить нейтронно-физические, теплогидравлические и прочностные расчеты оборудования АС и его элементов в стационарных и нестационарных режимах работы	Требования ФГОС (ПК-27, 28, ПСК-1.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P17	Делать оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами	Требования ФГОС (ПК-29), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P18	Применять основы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС в целом при пуске, останове, работе на мощности и переходе с одного уровня мощности на другой с соблюдением требований безопасности, выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на функционально-аналитическом тренажере	Требования ФГОС (ПК- 28, 10, 11, , ПСК-1.14, 1.15), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P19	Анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Требования ФГОС (ПК-13,14), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P21	Составлять техническую документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (пп. 2.2, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P22	Выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов ядерных энергетических установок, проводить анализ производственных затрат на обеспечение необходимого качества продукции	Требования ФГОС (ПСК-1.11), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P23	Составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем	Требования ФГОС (ПСК-1.1, 1.3, 1.7), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Требования ФГОС (ПСК-1.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Институт: Энергетический

Специальность: Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Матвеев А.С.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломной работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Фролов Алексей Александрович

Тема работы:

Теплогидравлический расчет модернизированного реактора ВВЭР-1000

Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.2016, №9734/с
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 января 2017 года
--	---------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Целью работы является выполнения теплогидравлического расчета модернизированного реактора ВВЭР-1000, сравнение полученных значений с известными. А также определения эффективной температуры топлива. В реакторе используются модернизированные ТВС-2М.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение геометрических характеристик активной зоны.</li><li>2. Определение общего расхода ТН через активную зону.</li><li>3. Определение теплогидравлических параметров по высоте канала.</li><li>4. Расчет гидравлических сопротивлений активной зоны.</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	ФЮРА.421000.002 С1 ФЮРА.693100.003 СБ Плакаты (2)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент</b>	<b>Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Амелькович Ю.А., доцент кафедры ЭБЖ</b>
<b>Автоматизация технологических процессов</b>	<b>Андык В.С., доцент кафедры АТП</b>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	22.06.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Кузьмин А.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Фролов Алексей Александрович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5012	Фролов Алексей Александрович

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АТЭС</b>
Уровень образования	Специалист	Направление/ специальность	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Эксплуатационные издержки энергоблока ВВЭР работающего по годовому топливному циклу
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	2. Расходование ресурсов согласно годовому топливному циклу
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	3. Единый социальный налог (ЕСН) 30%, ставка дисконтирования 10%

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности перехода на более длинный восемнадцатимесячный топливный цикл
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Расчет капитальных затрат нового энергоблока с удлинённым топливным циклом
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Расчет чистого приведенного дохода и чистого дисконтируемого дохода проекта энергоблока с удлинённым топливным циклом

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

--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	25.10.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Сергейчик С.И.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5012	Фролов Алексей Александрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Фролов Алексей Александрович

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/ специальность	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

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

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Необходимо рассмотреть влияние реактора ВВЭР-1000 на окружающую среду, персонал в процессе его работы. Также рассмотрим рабочее место оператора реакторного отделения.</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Федеральный закон «Об охране окружающей среде»</p>

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

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>К вредным факторам, при эксплуатации реактора, отнесем:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- микроклимат;</li> <li>- ионизирующее излучение;</li> <li>- освещение;</li> <li>- электромагнитные, электростатические поля и излучения;</li> <li>- шум.</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>К опасным факторам, при эксплуатации реактора, отнесем:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности;</li> <li>- термические опасности;</li> <li>- электрический ток;</li> <li>- пожар.</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> </ul>	<p>При работе реактора и АЭС в целом образуются следующие</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>виды вредных веществ и материалов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- газоаэрозольные выбросы;</li> <li>- жидкие сбросы;</li> <li>- твердые РАО.</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проектная авария</li> <li>2. Запроектная авария</li> <li>3. Максимальная проектная авария</li> </ol>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Специальные</li> <li>2. Организационные мероприятия</li> </ol>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.10.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Фролов Алексей Александрович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 с., 9 рис., 14 табл., 38 источников, 3 приложения, 4 листа графического материала.

Ключевые слова: реактор, расчет, ВВЭР, активная зона, АЭС.

Объектом исследования является модернизированный реактор ВВЭР-1000.

Целью работы является определение основных теплотехнических характеристик активной зоны при известном конструкционном оформлении и заданной мощности.

В процессе работы выполняется теплогидравлический расчет реактора ВВЭР-1000 четвертого блока РоАЭС, проводится оценка экономического эффекта от модернизации.

В результате исследования получены теплогидравлические характеристики активной зоны реактора и рассчитана эффективная температура топлива.

Область применения: курсовые работы, методические указания.

					ФЮРА.693100.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		12

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

АЭС – атомная электрическая станция;

ВКУ – внутрикорпусные устройства;

БЗТ – блок защитных труб;

НК – направляющий канал;

ЦТ – центральная труба;

ТН – теплоноситель;

ПЭЛ – поглощающий элемент;

РУ – реакторная установка;

ПГ - парогенератор;

РФ – Российская Федерация;

СЗЗ – санитарно-защитная зона;

ПГП – пределы годового поступления;

ДОО – допустимые среднегодовые объёмные активности;

ДУА – среднегодовые удельные активности;

РВ – радиоактивные вещества;

ВХР – водно-химический режим;

ГЦТ – главный циркуляционный трубопровод;

ИРГ – инертные радиоактивные газы;

КВ – камера выдержки;

РАО – радиоактивные отходы.



6 Система автоматического регулирования компенсатора давления первого контура реакторной установки ВВЭР-1000.....	78
6.1 Описание технологической схемы работы КД.....	78
6.2 Описание работы одноконтурной АСР.....	81
6.3 Разработка функциональной схемы АСР КД.....	83
Заключение.....	85
Список используемых источников.....	86
Приложение А.....	90
Приложение Б.....	91
Приложение В.....	92
Приложение Г.....	95
Графические материалы:	
ФЮРА.421000.002 С2 Система поддержания давления в первом контуре;	
ФЮРА.693100.003 СБ ТВС и ТВЭЛ реактора ВВЭР-1000;	
Теплогидравлические параметры	(Демонстрационный лист);
Теплогидравлические параметры	(Демонстрационный лист).

## ВВЕДЕНИЕ

В период до 2006 года на российских АЭС был выполнен значительный объем работ по модернизации и техническому перевооружению, повышению эффективности работы. Для дальнейшего повышения эффективности модернизации действующих АЭС необходимо было использовать положительный опыт мировой атомной энергетики.

Новое топливо представляет собой связь конструктивных и технических усовершенствований, проведенных с конца 90-х годов и нашедших оформление в облике тепловыделяющих сборок ТВС-2 (2М) и ТВСА, на базе которых разработаны универсальные топливные циклы, но существенно отличающихся по конструкции.

Здесь речь идет о ТВС-2 (2М), ставшей прототипом для нового проекта ТВС АЭС-2006.

Это топливо разрабатывалось не одновременно с проектом РУ, а независимо, с адаптацией к условиям уже работающих блоков с целью снижения топливной составляющей эксплуатационных затрат и сохранения топливного рынка ВВЭР за российским поставщиком.

Эта работа посвящена поверочному теплогидравлическому расчету реактора, активная зона которого набирается из таких ТВС-2М.

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является модернизированный реактор ВВЭР-1000 с удлинённым топливным столбом. Рассматривается реактор, установленный на четвёртом блоке Ростовской атомной электростанции. Будет выполнен теплогидравлический расчет данного реактора по методикам, представленным в [1] и [2], но с учетом некоторых особенностей. В расчёте будут учтены такие особенности, как протечки теплоносителя мимо активной зоны, изменения расхода и скоростей теплоносителя из-за наличия направляющих каналов, инженерные коэффициенты запаса, изменение параметров топлива при нагреве. Все теплогидравлические параметры определяются для твэла со средней нагрузкой и максимально нагруженного твэла. Расчет производится для тринадцати точек по высоте активной зоны с координатами  $z = -1,85; 1,54; -1,24; -0,94; -0,64; -0,34; 0,00; 0,34; 0,64; 0,94; 1,24; 1,54; 1,85$ .

Задачей теплового расчета реактора является определение основных теплотехнических характеристик активной зоны при известном конструкционном оформлении и заданной мощности.

Основная цель расчета – установить распределение тепловых потоков и температур по активной зоне, найти максимальные температуры топлива и оболочки твэла для сравнения их с допустимыми значениями, определение эффективной температуры топлива, расчет запаса до кризиса теплообмена, определение гидравлических сопротивлений в активной зоне по ходу движения теплоносителя.

Все необходимые параметры для расчета указаны в таблице 1.

											Лист
											17
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.693100.001.ПЗ						

Таблица 1 - Исходные данные для расчета

Наименование, единицы измерения	Обозначение	Значение
Активная зона и ТВС		
Номинальная тепловая мощность реактора, МВт	$Q_m$	3120
Топливо	Спеченный $UO_2$	
Количество ТВС в активной зоне, шт	$N_{твс}$	163
Количество твэлов и твэгов в ТВС, шт	$N_{твэл}$	312
Эквивалентное проходное сечение пучка твэлов ТВС, $m^2$	$f_{экв}$	0,0254
Длина топлива в холодном состоянии, мм	$L_{тх}$	3680
Длина топлива в горячем состоянии, мм	$L_{тг}$	3700
Наружный диаметр оболочки твэла, мм	$d_{об}^{нар}$	9,1
Наружный диаметр ПЭЛ, мм	$d_{пэл}^{нар}$	8,2
Наружный/внутренний диаметры НК и ЦТ, мм	$d_{нк}^{нар} / d_{нк}^{вн}$	13/11
Шаг между твэлами, мм	$s_{твэл}$	12,75
Внутренний диаметр оболочки твэла, мм	$d_{об}^{вн}$	7,73
Наружный диаметр таблетки, мм	$d_c^{нар}$	7,57
Диаметр центрального отверстия таблетки, мм	$d_0$	1,2
Количество НК, шт	$N_{нк}$	18
Количество ЦТ, шт	$N_{цт}$	1
Количество дистанционирующих решеток, шт	$N_{др}$	15
Размер под ключ, мм	$h_{кл}$	235,1
Параметры теплоносителя		
Теплоноситель	Некипящая вода	
Среднее давление теплоносителя, МПа	$\bar{P}$	15,7
Температура теплоносителя на входе в а.з., °C	$T_{вх}$	290
Температура теплоносителя на выходе из а.з., °C	$T_{вых}$	320
Расход теплоносителя через реактор, $m^3 / ч$	$G_{тн}$	87000

Примечание: исходные данные взяты из [3].

## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью этого раздела является определение экономического эффекта от повышения мощности энергоблока с реактором типа ВВЭР-1000. Увеличение тепловой мощности происходит с 3000 до 3120 МВт, вследствие установки в активную зону новых модернизированных ТВС-2М.

Расчет экономического эффекта от применения новых ТВС основан на получении дополнительной мощности реактора, из-за чего увеличивается выработка электрической энергии.

Увеличение мощности турбины производится за счет увеличения расхода пара в голову турбоустановки при различных программах регулирования ПГ, работающего на сверхноминальной тепловой мощности и паропроизводительности. Как известно из [16], лучший способ увеличения мощности и пропуска пара в турбоустановку, по росту КПД, является с ростом давления перед первой ступенью ЦВД, а по условиям допустимости со стороны ПГ и активной зоны – с уменьшением давления перед первой ступенью.

### 4.1 Планирование капиталовложений в модернизацию энергоблока

По имеющимся данным для одного энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 общие капитальные вложения (на примере 4-го блока РоАЭС) составляют:

$$K_{\text{от}}(1 \text{ бл.}) = 1186,6 \text{ млн.руб.} [12];$$

Удельные капиталовложения в блок АЭС:

$$K_{\text{уд}}^{1100} = \frac{1186,6 \cdot 10^6}{1100 \cdot 10^3} = 1078 \text{ руб / кВт.}$$

## 4.2 Определение годового расхода ядерного горючего

Годовой расход ядерного горючего определится как [11]:

$$B_{год} = \frac{Q_p \cdot 365 \cdot K_y}{\bar{B}};$$

где  $Q_p$  - тепловая мощность реактора;

$$K_y = \frac{h_y}{8760} - \text{коэффициент использования установленной мощности}$$

АЭС;

$h_y$  - число часов использования установленной мощности (для АЭС принимается равным 6000-7000 часов/год);

$\bar{B}$  - средняя глубина выгорания ядерного горючего (для АЭС с ВВЭР-1000 принимается равным 50000  $MВт \cdot сут / т$ ).

На номинальном режиме 100%:

$$B_{год}^{100\%} = \frac{3000 \cdot 365 \cdot \frac{6500}{8670}}{50000} = 16,4 \text{ т.}$$

Знаем, что дополнительно будет вырабатываться 120 МВт тепловой энергии и 70 МВт электрической.

Найдем новое значение глубины выгорания:

$$B = B_0 - K \cdot (N_{нов} - 1)^C = 50000 - 11 \cdot (70 - 1)^{1,32} = 47060 \text{ } MВт \cdot сут / т$$

где  $B_0$  - начальная глубина выгорания;

$K = 11$  - эмпирические константы;

$C = 1,32$  - эмпирические константы;

$N_{нов} = 70 \text{ } MВт$  - дополнительная выработка электроэнергии.

На режиме повышенной мощности 104%:

$$B_{год}^{104\%} = \frac{3120 \cdot 365 \cdot \frac{6500}{8670}}{47060} = 18,1 \text{ т.}$$

					ФЮРА.693100.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48

Теперь определяем разность расходов горючего в двух режимах:

$$\Delta B_{\text{год}} = B_{\text{год}}^{104\%} - B_{\text{год}}^{100\%} = 18,1 - 16,4 = 1,7 \text{ т.}$$

Очевидно, что при увеличении мощности увеличивается и расход топлива.

### 4.3 Расчет годовых издержек на топливо

Большинство АЭС в настоящее время работают по разомкнутому топливному циклу. В этом случае издержки определяются по формуле [11]:

$$I_m = \bar{I}_m \cdot \Delta B_{\text{год}};$$

где  $\bar{I}_m$  - удельные издержки на топливо.

Удельные издержки на ядерное топливо определяются по формуле [11]:

$$\begin{aligned} \bar{I}_m &= (\bar{I}_{\text{исх.ур}} + \bar{I}_{\text{об}} + \bar{I}_{\text{изг}} + \bar{I}_{\text{тр}} + \bar{I}_{\text{выд}}) \cdot 64 = (8 + 700 + 100 + 3 + 25) \cdot 64 = \\ &= 53500 \text{ руб / кг} \end{aligned}$$

где  $\bar{I}_{\text{исх.ур}} = 8$  - удельная стоимость исходного продукта (природного урана), дол/кг [13];

$\bar{I}_{\text{об}} = 700$  - удельная стоимость обогащенного урана, дол/кг [13];

$\bar{I}_{\text{изг}} = 100$  - удельная стоимость изготовления ТВС, включая стоимость конструкционных материалов, дол/кг [13];

$\bar{I}_{\text{тр}} = 3$  - удельная стоимость транспортировки ТВС к АЭС, дол/кг [13];

$\bar{I}_{\text{выд}} = 25$  - удельная стоимость выдержки отработанного топлива в бассейне выдержки не менее 5 лет, дол/кг [13].

64 – курс доллара на ноябрь 2016 г.

Найдем годовые издержки на топливо:

$$I_m = \bar{I}_m \cdot \Delta B_{год} = 53500 \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 92,2 \text{ млн.руб.}$$

#### 4.4 Определение издержек на заработную плату

Годовой фонд зарплаты производственного персонала станции  $I_{ЗП}$  рассчитывается на основе выражения:

$$I_{ЗП} = I_{ЗП}^{ДОП} + I_{ЗП}^{ОСН} + ЕСН,$$

где  $I_{ЗП}^{ОСН}$  – основной годовой фонд заработной платы производственного персонала АЭС;  $I_{ЗП}^{ДОП}$  – фонд дополнительной заработной платы;  $ЕСН$  – единый социальный налог.

$$I_{ЗП}^{ОСН} = K_{П} \cdot \bar{\Phi}_{ЗП} \cdot 12,$$

где  $K_{П}$  – количество промышленно производственного персонала, для энергоблока АЭС электрической мощностью 1000 МВт, составляет  $K_{П} = 400 \text{ чел.}$  [12];  $\bar{\Phi}_{ЗП}$  – средняя заработная плата на Ростовской АЭС.

$$\bar{\Phi}_{ЗП} = \Phi_{ЗП}^{14} \cdot i^{15} \cdot i^{16},$$

где  $\Phi_{ЗП}^{14}$  – средняя заработная плата на РоАЭС в 2014г.,  $\Phi_{ЗП}^{14} = 70290 \text{ руб.}$ ,  $i^{15}, i^{16}$  – уровень инфляции в 2015 и 2016 годах.

$$\bar{\Phi}_{ЗП} = 70290 \cdot 1,129 \cdot 1,0496 = 83290 \text{ руб.},$$

$$I_{ЗП}^{ОСН} = 400 \cdot 83290 \cdot 12 = 3,998 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Из фонда дополнительной заработной платы осуществляется оплата очередных отпусков и другие выплаты, не связанные с рабочим временем. Фонд дополнительной заработной платы обычно определяется в процентах (8-10%) от фонда основной заработной платы:

$$I_{ЗП}^{ДОП} = 0,09 \cdot I_{ЗП}^{ОСН} = 0,09 \cdot 3,998 \cdot 10^8 = 3,598 \cdot 10^7 \text{ руб.}$$

Полный фонд заработной платы, включающий в себя  $I_{ЗП}^{ОСН}$  и  $I_{ЗП}^{ДОП}$  является объектом налогообложения единым социальным налогом (ЕСН), ставка которого составляет 30%. Он включает в себя 22% отчислений в Пенсионный фонд, 5,1% - в Фонд обязательного медицинского страхования и 2,9% в Фонд социального страхования.

$$ЕСН = 0,3 \cdot (I_{ЗП}^{ОСН} + I_{ЗП}^{ДОП}) = 0,3 \cdot (3,998 \cdot 10^8 + 3,598 \cdot 10^7) = 1,3 \cdot 10^8 \text{ руб.},$$

$$I_{ЗП} = 3,998 \cdot 10^8 + 3,598 \cdot 10^7 + 1,3 \cdot 10^8 = 5,665 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

#### 4.5 Оценка прибыли и рентабельности проекта

Стоимость 1 МВт·ч согласно тарифам на оптовом рынке электроэнергии и мощности в Ростовской области на ноябрь 2016 года составляет  $T=1742,34$  руб.[15].

Дополнительная годовая выработка электроэнергии:

$$\mathcal{E}_{год}^{дон} = \Delta N_y \cdot h_y;$$

$$\mathcal{E}_{год}^{дон} = 70 \cdot 10^6 \cdot 6500 = 455 \text{ ГВт} \cdot \text{ч}$$

Дополнительная балансовая прибыль:

$$Pr_{\delta} = \mathcal{E}_{год}^{дон} \cdot T;$$

$$Pr_{\delta} = 455 \cdot 10^3 \cdot 1742,34 = 792,8 \text{ млн.руб.}$$

Сумма налога на прибыль, уплачиваемая электростанцией [11]:

$$H_{np} = 0,2 \cdot Pr_{\delta};$$

$$H_{np} = 0,2 \cdot Pr_{\delta} = 0,2 \cdot 792,8 = 158,6 \text{ млн.руб.}$$

Расчетная прибыль, остающаяся в распоряжении электростанции, после уплаты налога на прибыль [11]:

$$Pr_{\zeta} = Pr_{\delta} - H_{np};$$

$$Pr_{\zeta} = 792,8 - 158,6 = 634,2 \text{ млн.руб.}$$

## 4.6 Оценка экономической эффективности инвестиций

Рассчитанные выше плановые показатели не позволяют инвестору принять окончательное решение о целесообразности инвестирования средств.

В качестве критериев экономической эффективности инвестиций наибольшее распространение получили чистый дисконтированный доход, индекс рентабельности проекта, срок окупаемости и внутренняя норма доходности проекта.

### Чистый приведенный доход (ЧПД)

Данный критерий опирается на два положения:

- 1) лучший проект обеспечивает большее значение дохода;
- 2) разновременные затраты (доходы) имеют неодинаковую стоимость для инвестора.

В соответствии с этим критерием лучшим проектом будет тот, который обеспечивает большие значения ЧПД:

$$\text{ЧПД} = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+r)^t};$$

где  $D_t = Pr_t + A_t - K_t$  - чистый доход в t-ом году существования проекта;

$Pr_t, A_t, K_t$  - прибыль, амортизация и капиталовложения в t-ом году;

$r$  - ставка дисконтирования;

$T = T_{\text{мод}} + T_{\text{экс}}$  - время модернизации и эксплуатации объекта.

Значение ЧПД должно быть положительно, что означает, что в результате реализации проекта будет получен доход с учетом фактора временного обесценивания денег.

Фактор обесценивания денежных средств с течением времени:

$$r = r_{\text{б}} + r_{\text{риск}} = 7 + 8 = 15 \%$$

где  $r_{\text{б}}$  - доходность государственных долговых обязательств РФ, которая определяет минимальный уровень доходности по безрисковому инвестированию средств;

$r_{\text{риск}}$  - премия за риск, зависящая от отраслевой особенности реализуемого проекта, а также склонности инвесторов к риску в разных условиях рыночной конъюнктуры.

$$\text{ЧПД} = \sum_{t=2}^{31} \frac{505}{(1+0,15)^t} - \sum_{t=1}^1 \frac{1186,6}{(1+0,15)^t} = 1891 \text{ млн.руб.}$$

#### Индекс рентабельности проекта (PI)

В соответствии с этим критерием лучший проект обеспечивает максимальное значение индекса рентабельности проекта.

Индекс рентабельности инвестиционного привлекательного проекта должен быть больше единицы:

$$PI = \frac{\sum_{t=2}^{31} \frac{Pr_u}{(1+r)^t}}{\frac{K_p}{(1+r)^t}} = \frac{\sum_{t=2}^{31} \frac{634,2}{(1+0,15)^t}}{\frac{1186,6}{(1+0,15)^t}} = 3,65$$

#### Срок окупаемости инвестиций

Срок окупаемости проекта находится путем решения следующего уравнения:

$$\text{ЧПД} = \sum_{t=2}^{31} \frac{505}{(1+0,15)^t} - \sum_{t=1}^1 \frac{1186,6}{(1+0,15)^t} = 0$$

Представим график зависимости ЧПД от времени.

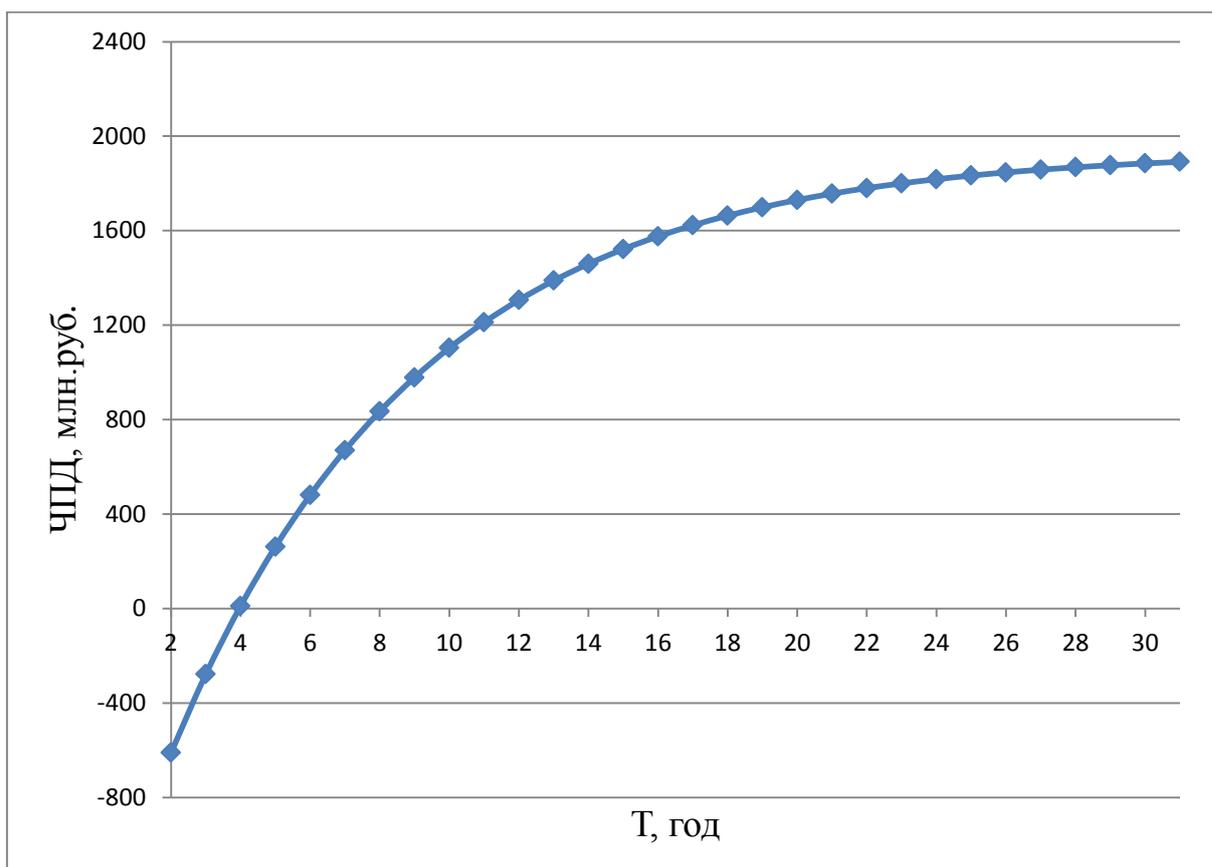


Рисунок 7 – Зависимость чистого приведенного дохода от времени  
С учетом фактора времени  $T_{ок} = 4$  года.

В случаях, когда срок инвестирования средств в реализуемый проект относительно небольшой (несколько лет), а величина денежных поступлений по годам меняется незначительно, срок окупаемости инвестиций можно определить без учета фактора времени:

$$T_{ок} = \frac{K_p}{Pr_q} = \frac{1186,6}{634,2} = 1,9 \text{ лет}$$

Таблица 6 – Техничко-экономические показатели АЭС

	Значения
Установленная электрическая Мощность	1070 МВт
Годовая выработка электроэнергии	455 ГВт·ч
Капиталовложения в модернизацию энергоблока	1186,6 млн.руб.
Топливные годовые издержки на дополнительную мощность	92,2 млн.руб.
Годовые издержки на заработную плату	566,5 млн.руб.
Дополнительная балансовая прибыль	792,8 млн.руб.
Налог на прибыль	158,6 млн.руб.
Чистая прибыль	634,2 млн.руб.
Чистый приведенный доход проекта	1891 млн.руб.
Индекс рентабельности проекта	3,65
Срок окупаемости	4 года