

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

Институт: Электронного обучения
Специальность: 140404 Атомные электрические станции и установки
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТВЭЛАХ РЕАКТОРА БН-600 В ПРОЦЕССЕ КАМПАНИИ ТОПЛИВА

УДК 621.311.25:621.039.577.002.5(470.54)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6301	Деев Михаил Андреевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры автоматизации технологических процессов	В.С. Андык	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций	М.А.Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт: Энергетический
Специальность: 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
А.С. Матвеев

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломной работы
(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-6101	Дееву Михаилу Андреевичу

Тема работы:

Анализ распределения температуры в твэлах реактора БН-600 в процессе кампании топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.2016 №9734/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

20 января 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Отчет по преддипломной практике. Научно-исследовательские работы ИРМ. Материалы статей, диссертаций, учебная и научно-техническая литература, посвященная реакторным материалам РБН.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	1. Описание методики расчёта 2. Особенности конструкций тепловыделяющих элементов ТВС БН-600 3. Получение исходных данных для математического моделирования 4. Расчёт распределения температур на начало кампании 5. Расчёт изменения температур на конец кампании
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Автоматизация технологических процессов	Андык В.С, доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.06.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Кузьмин А.В.	к.т.н.		22.06.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Деев Михаил Андреевич		22.06.2016

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-6101	Дееву Михаилу Андреевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140404 Атомные электрические станции и установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Расчет технико-экономических показателей	
2. Расчет себестоимости вырабатываемой продукции ИР	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.10.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Сергейчик С.И.	к.т.н.		15.10.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Деев Михаил Андреевич		15.10.2016

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-6101	Деев Михаил Андреевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140404 Атомные электрические станции и установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Основным рабочим местом ведущего инженера по управлению реактором выбрать блочный пункт управления реактором БН-600. В соответствии с местом работы ВИУР привести описание вредных и опасных факторов непосредственно воздействующих на работника атомной отрасли как в зоне свободного доступа, так и в зоне контролируемого доступа. Отметить воздействие АЭС на окружающую среду с учетом располагающегося рядом с энергоблоком БН-600 Белоярского водохранилища.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).

Представить описание рабочего места ВИУР. Необходимо отметить следующие факторы, действующие на инженера в производственных условиях: ионизирующее излучение, микроклиматические условия, шум и вибрация, производственное освещение. Указать источники их возникновения, воздействие на организм человека, последствия данного воздействия, а также способы и мероприятия по защите от этих вредных факторов.

В качестве основных опасных факторов, действующих на ВИУР в производственных условиях, выделить: пожаровзрывобезопасность, электробезопасность, а также механическая и термическая опасность. Перечислить источники их возникновения и способы защиты от них.

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны

Указать воздействие АЭС на окружающую среду вокруг предприятия с

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		5

– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	<i>учетом тех мероприятий, которые действуют на станции и нормативных документов, регламентирующих это воздействие. Указать способы дальнейшего снижения воздействия АЭС на ОС.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	<i>В качестве ЧС рассмотреть аварию на энергоблоке БН-600, связанную с разгерметизацией тепловыделяющего элемента. Указать возможные последствия данной аварии, мероприятия по их устранению, а также превентивные меры по недопущению возникновения данной ЧС на АЭС.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>Рассмотреть правовой и организационный вопрос обеспечения безопасности, связанный с разделением главного корпуса АЭС на ЗСД и ЗКД, в соответствии с которым представить нормативные требования к каждой из зон.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Деев Михаил Андреевич		

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 с., 14 рис., 8 таблиц, 28 источников, 3 прил.

Ключевые слова: активная зона, зона воспроизводства, твэл, ТВС, распределение температур.

Объектом исследования является расчётные методы определения температурного распределения в твэле реактора БН-600.

Целью работы является определение температурного распределения в твэлах различного обогащения (твэлы ЗВО, ЗСО, ЗМО) реактора БН-600 в различные периоды кампании, его сравнение, исследование изменения.

В процессе исследования проводился итерационный расчёт таспределения температур в различных твэлах реактора БН-600

В результате исследования были рассчитаны распределения температур в трёх твэлах реактора БН-600 (ТВЭЛ ЗВО, ЗСО и ЗМО) на начало и конец кампании.

Область применения: реакторы на быстрых нейтронах.

Экономическая значимость: на данном этапе не представляется возможным оценить экономическую эффективность.

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ЗБО – зона большого обогащения.

ЗМО – зона малого обогащения;

ЗСО – зона среднего обогащения;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка;

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА.....	15
2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТВС РЕАКТОРА БН-600.....	20
3. СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЁТА.....	25
4. ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА	28
5. РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР НА НАЧАЛО КАМПАНИИ.....	29
6. РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР НА КОНЕЦ КАМПАНИИ.....	36
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	43
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	53
9. АВТОМАТИКА И КИП.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Распределение температуры по сечению ТВЭЛ, определение максимальной температуры топлива являются одной из важнейших задач при эксплуатации ТВС (особенно экспериментальных), что возможно осуществлять только расчетными методами. Следует также отметить, что безопасность эксплуатации ЯЭУ определяется и запасом до температуры плавления топливной композиции ТВЭЛ ТВС.

Иные факторы в значительной степени влияющие на работоспособность оболочек ТВЭЛ ТВС и их ресурс, такие как распределение агрессивных продуктов деления топлива (I, Te, Cs) в зазоре топливо-оболочка, состояние газового зазора, способствующие коррозированию оболочки со стороны топлива во многом определяется температурными условиями эксплуатации элементов ТВЭЛ ТВС.

Для определения температуры топлива необходимо уметь рассчитывать подогрев теплоносителя, а также коэффициенты теплоотдачи от теплоносителя к оболочке (α), теплопроводности оболочки ($\lambda_{об}$), теплопередачи через зазор топливо-оболочка (α_3) и теплопроводности топлива ($\lambda_т$) для каждого ТВЭЛ в произвольном сечении по высоте активной части ТВС. Наибольшую неопределенность имеет величина коэффициента теплопередачи через газовый зазор в ТВЭЛ. Эта неопределенность связана с существенным технологическим допуском на размеры топливных втулок, а также на величину внутреннего диаметра оболочки ТВЭЛ, возможным перекосом этих втулок при наборе топливного столба и т.д.

Другим источником неопределенности коэффициента теплопередачи через газовый зазор является сложный характер процессов газовыделения из топлива и перераспределения газообразных продуктов деления под воздействием облучения, а также радиационного формоизменения топлива и оболочки. Все это значительно затрудняет оценку величины α_3 расчетным путем.

					ФЮРА.693100.001 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		