

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Уральский энергетический институт  
Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке

\_\_\_\_\_ В.В. Кружаев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Рекомендована Методическим советом ФГАОУ ВО УрФУ

<b>Перечень сведений об образовательной программе</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Направленности (профили) программы</b> Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации	<b>Код ОП 14.06.01</b>
<b>Направление подготовки</b> Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии	<b>Код направления и уровня образования</b> 14.06.01
<b>Уровень образования</b> – подготовка кадров высшей квалификации	
<b>Квалификация, присваиваемая выпускнику</b> <i>Исследователь. Преподаватель - исследователь</i>	<b>Реквизиты приказа Министерства образования и науки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> Приказ Министерства образования и науки РФ № 879 от 30.07.2014 г. (с изменениями и дополнениями от 30.04.2015)
<b>ФГОС ВО</b> 14.06.01 «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии»	

**СОГЛАСОВАНО**  
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ  
КАДРОВ ВЫСШЕЙ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург, 2018

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Щеклеин Сергей Евгеньевич	Д-р техн. наук, профессор	Зав. кафедрой	Атомные станции и возобновляемые источники энергии	
2	Титов Геннадий Павлович	К. ф.-м. наук, доцент	В. н. с.	Атомные станции и возобновляемые источники энергии	

**Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

Е.В. Черепанова

**Рекомендовано Методическим советом УрФУ**

Председатель Методического совета УрФУ  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

Е.В. Вострецова

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

Е.А. Бутрина

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ «Теплофизические проблемы атомной энергетики»

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина направлена на подготовку аспирантов к научно-исследовательской деятельности, включающей исследование и расчет процессов тепломассопереноса и гидродинамики в элементах теплотехнического и тепло-технологического оборудования АЭС. В число задач также входит выработка навыков работы на современном научном уровне путем использования фундаментальных достижений данного раздела науки.

Целью дисциплины является изучение современных и классических разделов теплофизики ядерных реакторов и атомных электрических станций, обзор достижений в области ядерной энергетики и проблематики атомных станций с тем, чтобы аспиранты могли изучить основные задачи, возникающие в основаниях теории и прикладных отраслях науки.

## 1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

## 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у аспиранта следующих компетенций:

### – универсальные компетенции (УК):

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

### – общепрофессиональные компетенции (ОПК):

- способность к разработке и использованию современных методов научного исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности (ОПК-3);
- готовность к организации работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);

### – профессиональные компетенции (ПК):

- способность разрабатывать и применять физические и математические модели объектов при разработке и внедрении ядерно-физических и возобновляемых технологий (ПК-1);
- умение проводить работу по обоснованию безопасности при проектировании и эксплуатации энергетических установок (ПК-2);
- умение разрабатывать технические задания и технико-экономические обоснования на создание наукоемких изделий, а также использовать показатели качества согласно существующим национальной и международной нормативным базам (ПК-3);
- знание программного обеспечения в области разработки технологических процессов с целью обеспечения высокого качества установок на стадиях проектирования, конструирования, производства, сооружения, монтажа и эксплуатации (ПК-4);
- готовность использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах (ПК-7);
- способность интерпретировать результаты с целью составления практических рекомендаций по перспективному использованию данных научных исследований (ПК-8).

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

### **Знать:**

- гидродинамические особенности активных зон ядерных реакторов;
- особенности теплообмена активных зон ядерных реакторов;

- особенности гидродинамики и теплообмена одно и двухфазных потоков;
- связь конструктивных параметров с эффективностью и надежностью теплообменного оборудования;
- нестационарный теплообмен;
- особенности теплофизики низко-потенциальных процессов.

**Уметь:**

- составлять физические и математические модели стационарных процессов гидродинамики и теплообмена;
- составлять физические и математические модели нестационарных процессов гидродинамики и теплообмена;
- рассчитывать характеристики гидродинамических и тепловых процессов;
- рассчитывать температурные и концентрационные поля в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкций тепло-технологических установок;
- самостоятельно анализировать научные публикации.

**Демонстрировать навыки и опыт деятельности**

- по основным аналитическим и численным методам решения процессов тепломассопереноса;
- по основам расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и тепло-технологического оборудования АЭС.

**1.4.Объем дисциплины**

Очная форма обучения:

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	5
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия			
4.	Лабораторные работы			
5.	Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации	100	0,6	100
6.	Промежуточная аттестация	4	0,25	3 (4)
7.	Общий объем по учебному плану, час.	108	4,85	108
8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела	Раздел дисциплины	Содержание
Р1	Теплофизика ядерных реакторов	Гидродинамические особенности активных зон ядерных реакторов с водным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями. Особенности теплообмена активных зон ядерных реакторов с водным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями.
Р2	Теплофизика парогенераторов	Особенности гидродинамики и теплообмена одно- и двухфазных потоков в модульных и корпусных парогенераторах с водным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями. Кризисы теплообмена. Связь конструктивных параметров с эффективностью и надежностью.
Р3	Теплофизика вспомогательных систем АЭС	Нестационарный теплообмен в компенсаторах давления водоохлаждаемых реакторов. Процессы теплообмена в элементах системы регенеративного тракта АЭС. Гидродинамика и теплообмен в паросепарационных устройствах. Особенности теплофизики низкопотенциальных процессов (техническое водоснабжение, теплофикационные установки и пр.)

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

#### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины

Объем дисциплины (зач.ед.): 3

Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)		Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																							
				Всего по разделу, теме (час.)	Всего аудиторной работы (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)										Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)			Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)			
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Лекции	Практические занятия			Лабораторные работы	Всего (час.)	Лекция	Практ., семинар. занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конфер., коллоквиум (магистратура)	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностр. языке*	Перевод инояз. литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего (час.)	Контрольная работа*	Коллоквиум*	Зачет	Экзамен
				P1	Теплофизика ядерных реакторов																						
P2	Теплофизика парогенераторов	41	1	1	40	40	40																				
P3	Теплофизика вспомогательных систем АЭС	21	1	1	20	20	20																				
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	<b>104</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>108</b>	<b>4</b>		<b>104</b>	В т.ч. промежуточная аттестация																	<b>4</b>	<b>0</b>			

\*Суммарный объем в часах на мероприятие указывается в строке «Всего (час.) без учета промежуточной аттестации»

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Лабораторные работы

Не предусмотрено.

##### 4.2. Практические занятия

Не предусмотрено.

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

###### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

Не предусмотрено.

###### 4.3.2. Примерный перечень тем графических работ

Не предусмотрено.

###### 4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено.

###### 4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено.

###### 4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)

Не предусмотрено.

###### 4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ

Не предусмотрено.

###### 4.3.7. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

Не предусмотрено.

###### 4.3.8. Примерная тематика контрольных работ

Не предусмотрено.

###### 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

Не предусмотрено.

#### 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P1		*		*								
P2		*										
P3		*										

#### 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Балльно-рейтинговая система не используется.

## 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

Не используются.

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

### 8.2. Критерии оценивания результатов промежуточной аттестации при использовании независимого тестового контроля

Не используются.



### **8.3. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации**

**8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий**  
*не предусмотрено*

**8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий**  
*не предусмотрено*

**8.3.3. Примерные контрольные кейсы**  
*не предусмотрено*

**8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

1. Метод расчета коэффициентов сопротивления при поперечном обтекании трубных пучков
2. Метод расчета коэффициентов местных сопротивлений
3. Метод расчета гидравлического сопротивления шаровых засыпок
4. Распределение скорости и касательных напряжений в каналах разной формы
5. Основные характеристики двухфазных потоков
6. Истинное объемное паросодержание при течении пароводяной смеси в каналах
7. Адиабатные течения (необогреваемые каналы)
8. Диабатные течения (обогреваемые каналы)
9. Метод расчета коэффициентов теплоотдачи в каналах простой формы
10. Метод расчета коэффициентов теплоотдачи в пучках стержней (продольное обтекание)
11. Особенности теплоотдачи в пучках
12. Метод расчета поля температуры стержневого ТВЭЛа в стабилизированных (по гидродинамике и теплообмену) условиях
13. Теплоотдача шаровых ТВЭЛов
14. Свободная конвекция
15. Смешанная конвекция (совместное действие свободной и вынужденной конвекции)
16. Кипение в большом объеме
17. Пузырьковое кипение
18. Пленочное кипение
19. Кипение в каналах
20. Неустойчивость двухфазных течений
21. Метод расчета границ неустойчивости в трубах
22. Метод расчета теплоотдачи при кипении жидкостей и парожидкостных потоков
23. Теплогидравлика ТВС и активной зоны с некипящим теплоносителем
24. Теплогидравлика технологического канала и активной зоны с двухфазным теплоносителем
25. Теплотехническая надежность активной зоны
26. Парогенератор с многократной принудительной циркуляцией (МПЦ) в испарителе

**8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**  
*Не предусмотрено.*

**8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

*Не используются.*

**8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

*Не используются.*

**8.3.8. Интернет-тренажеры**

*Не используются.*

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1.Рекомендуемая литература**

#### **9.1.1.Основная литература**

1. Дерюгин В.В. Теплообмен [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Дерюгин В.В., Васильев В.Ф., Уляшева В.М.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016.— 244 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=74378>.— «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», по паролю
2. Пахомов А.Н. Основы решения задач теплообмена [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Пахомов А.Н., Гатапова Н.Ц., Пахомова Ю.В.— Электрон. текстовые данные.— Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015.— 81 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=64155>.— «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», по паролю
3. Королев, Владимир Николаевич. Теплообмен : учебное пособие / В. Н. Королев ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина .— Изд. 2-е, испр. и доп. — Екатеринбург : УрФУ, 2013 .— 250 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 216 (18 назв.) .— ISBN 978-5-321-02136-1. — 11 экз. в учебном фонде и 70 экз. 2006 года издания.
4. Техническая термодинамика. В 2 ч. Ч. 1: учебное пособие / А.В. Островская, Е.М. Толмачёв, В.С. Белоусов, С.А. Нейская. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2010. 155 с. – 44 экземпляра в учебном фонде.
- 5.Техническая термодинамика: учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 / А.В.Островская, Е.М.Толмачев, В.С.Белоусов, С.А.Нейская. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 106 с. – 60 экземпляров в учебном фонде.

#### **9.1.2.Дополнительная литература**

1. В.Н. Королёв, Е.М. Толмачёв. Техническая термодинамика / учебное пособие. Изд. 2-е. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. – 180 с. – 74 экземпляра в учебном фонде.
2. Кутателадзе, Самсон Семенович. Основы теории теплообмена .— 5-е изд., доп. — М. : Атомиздат, 1979 .— 415с. – 23 экз. в учебном фонде.
3. Лыков, Алексей Васильевич. Теплообмен : Справочник .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергия, 1978 .— 479с. – 8 экз. в учебном фонде + 8 1972 г. издания.
4. Петухов, Борис Сергеевич. Теплообмен в ядерных энергетических установках : Учеб. пособие для вузов / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев; Под ред. Б. С. Петухова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1986 .— 470 с. — допущено в качестве учебного пособия .— 1.40. – 11 экз. в учебном фонде + 3 1974 г. издания.
5. Галин, Николай Михайлович. Теплообмен (в ядерной энергетике : Учеб. пособие для вузов / Н. М. Галин, П. Л. Кириллов .— М. : Энергоатомиздат, 1987 .— 374 с. : ил. ; 22 см .— допущено в качестве учебного пособия. – 19 экз. в учебном фонде.
6. Исаченко, Виктор Павлович. Теплопередача : учеб. для телознергет. специальностей втузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел .— 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Энергоиздат, 1981 .— 417 с. : ил. ; 26 см .— Библиогр.: с. 407-411 (233 назв.) .— Алф. указ.: с. 412-413. — допущено в качестве учебника .— 1.70. – 61 экз. в учебном фонде.

#### **9.2.Методические разработки**

Не используются.

#### **9.3.Программное обеспечение**

Не используется.

#### **9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

– Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>

- ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;
- Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;
- Scopus: <http://www.scopus.com>;
- Reaxys: <http://reaxys.com>

### **9.5. Электронные образовательные ресурсы**

1. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ. Режим доступа: [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)
2. Электронный каталог зональной научной библиотеки УрФУ. Режим доступа: [lib.urfu.ru](http://lib.urfu.ru)

## **10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Лекции читаются в аудитории, оснащенной мультимедийным проектором. Для самостоятельной работы могут использоваться:

- Аналитический тренажерный комплекс ЯЭУ на быстрых нейтронах БН-800;
- Комплекс моделирования нестационарных процессов в контурах ЯЭУ с РУ ВВЭР «Корсар»;
- Тренажер оперативного моделирования аварийных ситуаций АЭС с реакторами РБМК-1000 и ВВЭР - 1000 «ТОМАС 1» и «ТОМАС 2»;
- Комплекс моделирования технологических процессов РУ типа БН «Джокер»;
- Сборно-разборная модель ЯЭУ ВВЭР-1000;
- Модель парогенерирующей установки-ПГВ 1000;
- Макет ЯЭУ ВВЭР 1000;
- Полномасштабные макеты ТВС ВВЭР-1000; технологи-ческого канала РБМК-1000;
- Поляроидные схемы ЯЭУ БН-800, БН-600, ВВЭР-1000, РБМК-1000;
- Демонстрационная модель ЯЭУ БН -600 с циклом перегрузки ядерного топлива;
- Модель главного разъема ЯЭУ ВВЭР-1000;
- Комплексы дистанционно-управляемых механизмов для диагностики, контроля металла, сварки, резки и ремонта оборудования АЭС
- и другое оборудование кафедры АСиВИЭ.