

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Утверждено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Моделирование теплогидравлических процессов ЯЭУ

---

*название дисциплины*

для направления подготовки

**14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

---

*код и название направления подготовки*

образовательная программа

**Ядерные реакторы и энергетические установки**

---

Форма обучения: заочная

**г. Обнинск 2023 г.**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины – дать представление о теплогидравлических процессах в оборудовании АЭС.

Задачи изучения дисциплины:

- разобрать общие понятия в теплогидравлических процессах
- дать представление о подходах и инженерных оценках при расчете активных зон реакторов
- дать представление о подходах и инженерных оценках при расчете оборудования ЯЭУ

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений и относится к профессиональному модулю (дисциплина по выбору); изучается на 2 курсе в (во) установочную, зимнюю и летнюю сессии.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: физика ядерных реакторов; ядерный топливный цикл.

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: производственная практика: преддипломная практика; производственная практика: технологическая (проектно- технологическая) практика.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ОП магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<i>Код компетенций</i>	<i>Наименование компетенции</i>	<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i>
ПК-4	Способен использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии и алгоритмы	З-ПК-4 знать основы компьютерных и информационных технологий. У-ПК-4 уметь обобщать и анализировать информацию. В-ПК-4 владеть информацией по перспективам развития атомной энергетики.

## 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

В рамках освоения ОП магистратуры программа воспитания не реализуется.

## 5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Вид работы	Количество часов на вид работы по семестрам:				
	2 курс, установ. сессия	2 курс, зимняя сессия	2 курс, летняя сессия		Всего
Контактная работа обучающихся с преподавателем					
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>18</b>	<b>18</b>			<b>36</b>
В том числе:					
<i>лекции</i>	6	6			12
<i>практические занятия</i>	6	6			12
<i>лабораторные занятия</i>	6	6			12
<b>Промежуточная аттестация</b>					
В том числе:					
<i>зачет</i>		4			4
<i>зачет с оценкой</i>					
<i>экзамен</i>			4		4
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	18	50	32		100
<b>Всего (часы):</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>36</b>		<b>144</b>
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>		<b>4</b>

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

### 6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Виды учебной работы				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1-16	Инженерные расчеты и проектирование ЯУ					
1-2	Введение.	0,5	0,5			2
3-5	Задачи теплогидравлического расчета активной зоны реактора	0,5	0,5			2
5-8	Расчет температур твэла и теплоносителя в изолированных ячейках и каналах активной зоны.	0,5	0,5	2		2
8-9	Поканальные методы теплогидравлического расчета ТВС и бескассетных активных зон.	1	1			2
10-11	Теплогидравлический расчет активной зоны в стационарных режимах работы реактора.	0,5	0,5	2		2
12	Методы расчета теплогидравлики ТВС и активных зон, основанные на многомерных моделях сплошной среды.	1	1			2
13-14	Теплогидравлика активных зон с однофазными теплоносителями в нестационарных режимах.	0,5	0,5	2		2
15	Методы теплогидравлического расчета активных зон с кипящим	0,5	0,5			2

	теплоносителем.					
16	Теплогидравлическая надежность активных зон реакторов.	1	1			2
<b>Итого за 2 курс, установ. сессия:</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>		<b>18</b>
1-16	Применение ПК Ansys для теплогидравлических расчетов оборудования ЯЭУ	1	1	1		8
1-2	Введение	0,5	0,5	1		8
2-4	Программный комплекс Ansys. Применение для расчетов теплогидравлики оборудования ЯЭУ. Построение геометрии. Связь с САПР.	1	1	1		9
4-8	Метод конечных элементов. Метод конечных объемов	1,5	1,5	1		9
8-12	Задание граничных условий, зависимостей и решатель программы	1	1	1		8
12-16	Анализ полученных результатов.	1	1	1		8
<b>Итого за 2 курс, зимняя сессия:</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>		<b>50</b>
<b>Итого за 2 курс, летняя сессия:</b>						<b>32</b>
<b>Всего:</b>		<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>		<b>100</b>

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная контактная работа, СРО – самостоятельная работа.

## 6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
<b>1-16</b>	<b>1. Инженерные расчеты и проектирование ЯУ</b>	
1-2	Введение.	Ядерный реактор как теплообменная система. Основные типы реакторов. Классификация реакторов по используемым теплоносителям и способам теплоотвода. Особенности теплогидравлики реакторов типа ВВЭР, РБМК, БН, ВТГР.
3-5	Задачи теплогидравлического расчета активной зоны реактора	Тепловыделение в активной зоне и в других элементах реактора. Энергонапряженность активной зоны реактора. Нейтронная мощность и остаточное тепловыделение. Роль гидродинамических процессов в теплопереносе в активной зоне. Структурные элементы гидравлического тракта реактора: элементарная гидравлическая ячейка, канал активной зоны, ТВС, канал СУЗ, активная зона и т.д.
5-8	Расчет температур твэла и теплоносителя в изолированных ячейках и каналах активной зоны.	Выделение элементарной изолированной ячейки и изолированного канала активной зоны. Подогрев теплоносителя в канале. Определяющие температуры оболочки и топлива твэла. Гидравлическое

		сопротивление канала. Скорость и расход теплоносителя в канале. Влияние неравномерности тепловыделения по длине канала на температуры ТВЭЛ и теплоносителя.
8-9	Поканальные методы теплогидравлического расчета ТВС и бескассетных активных зон.	Представление ТВС гидравлической сетью каналов. Расчет распределения расхода по каналам ТВС. Характеристики температурной и гидравлической неравномерностей в ТВС. Среднесмешанная температура теплоносителя на выходе ТВС и ее связь с максимальными температурами. Гидравлическое профилирование ТВС. Учет межканального теплогидравлического взаимодействия при расчете температур теплоносителя. Методы решения уравнений, описывающих распределения температур теплоносителя в ТВС с учетом межканального взаимодействия.
10-11	Теплогидравлический расчет активной зоны в стационарных режимах работы реактора.	Распределение расхода теплоносителя по тепловыделяющим сборкам активной зоны, каналам СУЗ, байпасам. Гидравлическая и температурная неравномерность в активной зоне. Гидравлическое профилирование активной зоны.
12	Методы расчета теплогидравлики ТВС и активных зон, основанные на многомерных моделях сплошной среды.	Интегральная формулировка законов сохранения массы, энергии и количества движения. Использование интегральных законов сохранения для представления ТВЭльных сборок эквивалентными пористыми средами с распределенными источниками тепловыделения. Система дифференциальных уравнений модели пористой среды и методы ее численного решения.
13-14	Теплогидравлика активных зон с однофазными теплоносителями в нестационарных режимах.	Расчет динамики расхода теплоносителя и температур ТВЭЛ в переходных режимах. Динамика расхода теплоносителя и температур в аварийных режимах и режимах расхолаживания. Расчет естественной циркуляции теплоносителя в активной зоне и теплообменных петлях. Связь нестационарных теплогидравлических процессов с нейтронной мощностью через температурные коэффициенты реактивности.
15	Методы теплогидравлического расчета активных зон с кипящим теплоносителем.	Особенности теплогидравлики двухфазного теплоносителя в каналах с кипением. Методы инженерного расчета каналов с кипением теплоносителя. Гидродинамическая неустойчивость парогенерирующих каналов с кипением. Расчет дросселирования парогенерирующих каналов с целью подавления пульсаций расхода. Критический тепловой поток, коэффициент запаса до

		кризиса.
16	Теплогидравлическая надежность активных зон реакторов.	Понятие теплотехнической надежности активной зоны. Роль отклонений теплотехнических параметров и их влияние на теплотехническую надежность. Детерминистский и вероятностно-статистический подходы к анализу теплотехнической надежности. Линейная дисперсионная методика расчета статистических добавок к определяющим теплотехническим параметрам активной зоны.

*Практические/семинарские занятия*

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
<b>1-16</b>	<b>Инженерные расчеты и проектирование ЯУ</b>	
	Введение.	Методика расчета температур твэла и теплоносителя в изолированном канале активной зоны с однофазным теплоносителем для стационарных жимов работы реактора.
	Поканальные методы теплогидравлического расчета ТВС и бескассетных активных зон.	Методика расчета стационарных распределений температур твэлов и распределения расхода теплоносителя в ТВС с использованием методики изолированных каналов.
	Теплогидравлический расчет активной зоны в стационарных режимах работы реактора.	Методика расчета распределений температур твэлов в ТВС с использованием поканальной методики, учитывающей межканальное взаимодействие.
<b>1-16</b>	<b>Применение ПК Ansys для теплогидравлических расчетов оборудования ЯЭУ</b>	
	Введение	Применение математического моделирования в задачах вычислительной теплогидравлики
	Программный комплекс Ansys. Применение для расчетов теплогидравлики оборудования ЯЭУ. Построение геометрии. Связь с САПР.	Знакомство с возможностями программного комплекса. Применение отдельных модулей среды Workbench ПК Ansys. Связь модуля Desing modeler с ПК САПР.
	Метод конечных элементов. Метод конечных объемов	Применение метода конечных элементов и конечных объемов. Различие методов. Модули среды Workbench ПК Ansys применяющие данные методы.
	Задание граничных условий, зависимостей и решатель программы	Модуль Setap, создание новых материалов их свойств, взаимосвязь свойств материалов от параметров среды, функции и зависимости.
	Анализ полученных результатов.	Инструменты анализа результатов

*Лабораторные занятия*

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
--------	--	------------

1-16	Введение	Применение математического моделирования в задачах вычислительной теплогидравлики
1-16	Программный комплекс Ansys. Применение для расчетов теплогидравлики оборудования ЯЭУ. Построение геометрии. Связь с САПР.	Знакомство с интерфейсом ПК Ansys. Построение геометрии. Импорт и экспорт геометрии.
1-16	Метод конечных элементов. Метод конечных объемов	Построение расчетной сетки. Дополнительные функции, применяемые при построении расчетной сетки.
1-16	Задание граничных условий, зависимостей и решатель программы	Модуль Setap, создание новых доменов и граничных условий к ним. Автоматическое задание контактов между средами.
15-16	Анализ полученных результатов.	Инструменты анализа результатов

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Раздаточный материал справочных таблиц.
2. Статьи в периодических изданиях: «Атомная энергия», «Известия вузов. Ядерная энергетика».
3. Гераскин, Н.И. Курсовое проектирование ядерно-энергетических установок [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для вузов / Н. И. Гераскин, В. И. Наумов. - Москва: МИФИ, 2008. [http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Geraskin\\_Naumov\\_Kursovoe\\_proektirovanie\\_yaderno-energeticheskikh\\_2008.pdf](http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Geraskin_Naumov_Kursovoe_proektirovanie_yaderno-energeticheskikh_2008.pdf).
4. Ansys help.

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

### 8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущая аттестация, 2 курс, установ. сессия</b>			
1.1.	Введение.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.2.	Задачи теплогидравлического расчета активной зоны реактора	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.3.	Расчет температур твэла и теплоносителя в изолированных ячейках и каналах активной зоны.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.4.	Поканальные методы теплогидравлического расчета ТВС и бескасетных активных зон.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.5.	Теплогидравлический расчет активной зоны в стационарных режимах работы реактора.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.6.	Методы расчета	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа,

	теплогидравлики ТВС и активных зон, основанные на многомерных моделях сплошной среды.		коллоквиум
1.7.	Теплогидравлика активных зон с однофазными теплоносителями в нестационарных режимах.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.8.	Методы теплогидравлического расчета активных зон с кипящим теплоносителем.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
1.9.	Теплогидравлическая надежность активных зон реакторов.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа, коллоквиум
<b>Промежуточная аттестация, 2 курс, установ. сессия</b>			
	Зачет	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Вопросы к зачету
<b>Текущая аттестация, 2 курс, зимняя сессия</b>			
3.1	Введение	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Лабораторная работа.
3.2	Программный комплекс Ansys. Применение для расчетов теплогидравлики оборудования ЯЭУ. Построение геометрии. Связь с САПР.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Лабораторная работа.
3.3	Метод конечных элементов. Метод конечных объемов.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Лабораторная работа.
3.4	Задание граничных условий, зависимостей и решатель программы.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Лабораторная работа.
3.5	Анализ полученных результатов.	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Лабораторная работа.
<b>Промежуточная аттестация, 2 курс, зимняя сессия</b>			
	Зачет с оценкой	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Вопросы к зачету

## **8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций**

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

## **8.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и

оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
  - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
  - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.
- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
Контрольная работа	8	18	30
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
Коллоквиум	15	18	30
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>-</b>	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Зачет	-		
<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

#### 8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоения учебной дисциплины
<b>90-100</b>	5- «отлично»/ «зачтено»	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с

			практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	4 - «хорошо»/ «зачтено»	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
75-84		C	
70--74		D	
65-69	3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»	D	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64		E	
0-59	2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная учебная литература:

1. Эксплуатационные режимы АЭС: учебное пособие / Р.П. Баклушин. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2012, - 532 с., ил. . 250 экз.
2. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 456 с.
3. Н.Б. Варгафтик. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Издательство Наука. Москва- 1972 г.- 721 с.

### б) дополнительная учебная литература:

1. В.М. Зорин Атомные электростанции: учебное пособие / В.М. Зорин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 672 с.: ил. - 250 экз.
2. Коробейников В.В., Клинов Д.А. Введение в нейтронно-физический расчет ядерных реакторов: Учебное пособие по курсу "Нейтронно-физический расчет ядерных реакторов". - Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2011. - 188с. 117 экземпляров.
3. Савандер, В. И. Физическая теория ядерных реакторов: учебное пособие / В. И. Савандер, М. А. Увакин. — Москва: НИЯУ МИФИ, [б. г.]. — Часть 2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы — 2013. — 152 с. — ISBN 978-5-

4. Ansys help.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<http://ibooks.ru/>  
<http://e.lanbook.com/>  
<http://www.biblio-online.ru/>  
<http://kuperbook.biblioclub.ru>  
<http://www.studentlibrary.ru>  
<http://library.mephi.ru>

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Планомерная организация последовательности различных видов аудиторных занятий (лекций и практических занятий) в сочетании с внеаудиторной работой студента. При изложении разделов (тем) указание на связь с учебным материалом других дисциплин учебного плана, а также практическими приложениями к технологии жидкометаллических теплоносителей. Систематические индивидуальные консультации. Стимулирование использования в процессе обучения компьютерной техники и информационных технологий.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практические занятия	При подготовки к практическим занятиям повторить основные понятия по темам лекционных занятий задания. Решая поставленные задания, предварительно понять, какой теоретический материал нужно изучить. При возникновении трудностей с решением или пониманием сформулировать и задать вопросы преподавателю
Лабораторные занятия	При подготовке к лабораторным работам следует ознакомиться с методическими руководствами по работе с изучаемыми программными комплексами. Важно внимательно ознакомиться с функционалом и возможностями данных комплексов. При защите лабораторных работ важно детально разбираться в теоретических аспектах ПК.
Доклад	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Ознакомиться со структурой и оформлением доклада.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по

	выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Коллоквиум	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и др.
Индивидуальное домашнее задание	При выполнении индивидуальных заданий необходимо сначала прочитать теорию и изучить примеры по каждой теме. Решая конкретную задачу, предварительно следует понять, что требуется от Вас в данном случае, какой теоретический материал нужно использовать, наметить общую схему решения. Если Вы решали задачу «по образцу» рассмотренного на аудиторном занятии или в методическом пособии примера, то желательно после этого обдумать процесс решения и попробовать решить аналогичную задачу самостоятельно.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, перечень ресурсов сети интернет. Дополнительно к изучению конспектов лекций необходимо пользоваться учебниками по ядерным технологиям. Вместо «заучивания» материала важно добиться понимания изучаемых тем дисциплины. При подготовке к зачету нужно освоить теорию: разобрать определения всех понятий, рассмотреть примеры и самостоятельно решить несколько типовых задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо комментировать свои действия и не забывать о содержательной интерпретации.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, задачи практических занятий, рекомендуемую литературу и интернет источники. Вместо «заучивания» материала важно добиться понимания изучаемой дисциплины.

## **12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- 1) Создание и управление классами,
- 2) Создание курсов,
- 3) Организация записи учащихся на курс,
- 4) Предоставление доступа к учебным материалам для учащихся,
- 5) Публикация заданий для учеников,
- 6) Оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения,
- 7) Организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

### **12.1. Перечень информационных технологий**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций и практических занятий с использованием слайд-презентаций;
- использование текстового редактора Microsoft Word;
- использование табличного редактора Microsoft Excel.

### **12.2. Перечень программного обеспечения**

Программа Ansys (CFX)

### **12.3. Перечень информационных справочных систем**

Не требуется

## **13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Учебная аудитория для лекционных и практических занятий оборудована 20 посадочным местом. Аудитория оборудована мультимедийным оборудованием. Доска.

## **14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ**

### **14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Применяемые на лекционных занятиях

- Технология концентрированного обучения (лекция-беседа, привлечение внимания студентов к наиболее важным вопросам темы, содержание и темп изложения учебного материала определяется с учетом особенностей студентов)
- Технология активного обучения (визуальная лекция с разбором конкретных ситуаций)

Применяемые на практических занятиях

- Технология активного обучения (визуальный семинар с разбором конкретных задач).
- Технология интерактивного обучения (мозговой штурм: группа получает задание, далее предполагается высказывать как можно большее количество вариантов решения, затем из общего числа высказанных идей отбираются наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике).

### **14.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)**

Темы для самостоятельного изучения.

1. Задачи теплогидравлического расчета активной зоны реактора.
2. Расчет температуры твэла и теплоносителя в изолированных ячейках и каналах активной зоны.
3. Поканальные методы теплогидравлического расчета ТВС и бескасетных активных зон.
4. Методы расчета теплогидравлики ТВС и активных зон. Основание на мно-гомерных моделях сплошной среды.
5. Теплотехническая надежность активных зон реакторов.

6. Теплогидравлика активных зон с однофазными теплоносителями в нестационарных режимах.
7. Методика расчета распределений температур твэлов в ТВС с использованием поканальной методики.
8. Расчет распределения расхода теплоносителя по кассетам (ТВС) активной зоны на основе методики параллельных каналов.
9. Учет межканального теплового взаимодействия при расчете температур в ТВС по методике параллельных каналов.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Использование теоремы Гаусса-Остроградского для преобразования поверхностных интегралов в объемные.
2. Формулы для вычисления полной производной по времени от интеграла по движущемуся (субстанциональному) объему.
3. Замкнутые механические модели движения и энергии сплошной среды.
4. Конечно-разностная аппроксимация дифференциального уравнения энергии. Эффекты численной теплопроводности.
5. Конечно-разностная аппроксимация дифференциальных уравнений движения.
6. Численный метод Патанкара решения уравнений движения.

#### **14.3. Краткий терминологический словарь**

АС – атомная станция

БН – быстрый натриевый реактор

ВВЭР – водо-водной энергетический реактор

РБМК – реактор большой мощности канальный

РУ – реакторная установка

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

### **15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

**Для лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а так же, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий. Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.)

С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры

(наушники)). В таком случае обучающийся предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете может быть увеличено.

Для **лиц с нарушением зрения** допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а так же использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литера-туры и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

**Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата** не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия обучающийся может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия обучающийся должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем обучающийся в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

**Программу составил (а) (и):**

\_\_\_\_\_ Зевякин А.С., ст. преподаватель ИЯФиТ

**Рецензент (ы):**

\_\_\_\_\_ Данилов П.А., ст. преподаватель ЯФиТ(О)