

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИКИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ВОДЯНЫМ И  
ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП	
2	3	108	0	30	0		42	0	Э
Итого	3	108	0	30	0	16	42	0	

## АННОТАЦИЯ

Рассматриваются общие вопросы моделирования процессов тепломассообмена в контурах РУ с водяным и жидкометаллическим теплоносителем на примере канального приближения: постановка задачи, численные алгоритмы. Предусматривается обучение основам работы с кодом HYDRA-IBRAE/LM/E1.0.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является подготовка студентов к решению задач, связанных с моделированием теплогидравлических процессов в ядерных энергетических установках с жидкометаллическим и водяным теплоносителем. Изучается ряд вопросов, составляющих базу для анализа процессов тепломассообмена, протекающих в контурах реакторных установок. Среди задач курса:

- Изучение основных принципов и соотношений теории теплообмена и теории пограничного слоя, критериев и условия подобия физических величин;
- Ознакомление с основными подходами к моделированию нестационарных теплогидравлических процессов.
- Обучение основам работы с кодом HYDRA-IBRAE/LM/E1.0.
- Формирование способности у студентов применять полученные знания к решению практических задач.
- Обучение студентов умениям применять полученные знания в производственной и научной деятельности, приобретение навыков работы с научной, справочной и электронной литературой, применению современных компьютерных технологий при подготовке домашних заданий.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная программа соответствует требованиям образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению 14.04.02 - Ядерные физика и технологии, «Профессиональный модуль».

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЦ-1 [1] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую	3-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы У-УКЦ-1 [1] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности

коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий
---	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
	инновационный		
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	ПК-6.2 [1] - Способен выбирать критерии безопасной работы и применять методы обоснования безопасности для количественных оценок эффективности функционирования и обоснования безопасности объектов использования атомной энергии.  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-6.2[1] - Знать основные теплогидравлические и нейтронно-физические процессы, протекающие в быстрых реакторах; основные принципы и критерии обеспечения безопасности ядерных энергетических установок и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; У-ПК-6.2[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач связанных с проектированием и эксплуатацией быстрых реакторов и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; В-ПК-6.2[1] - Владеть методами инженерных расчетов обоснования радиационной безопасности.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных	ПК-6.3 [1] - Способен к самостоятельному решению вопросов, связанных с разработкой и применением	3-ПК-6.3[1] - Знать структуру и основные положения нормативно-правовых и нормативно-технических

<p>энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.</p>	<p>реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.</p>	<p>современных методов измерений и контроля параметров напряженно-деформированного состояния материалов и элементов конструкций ядерных энергетических установок.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>документов Российской Федерации, определяющих требования к выбору конструкционных материалов и оценке их работоспособности при различных условиях эксплуатации в составе ядерных установок и других объектов использования атомной энергии.; У-ПК-6.3[1] - Уметь объяснить границы применимости основных конструкционных материалов при различных видах внешних воздействий.; В-ПК-6.3[1] - Владеть методами анализа результатов диагностики и контроля сварных соединений для принятия решения о их работоспособности.</p>
<p>Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.</p>	<p>Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-</p>	<p>ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.;</p>

	технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.		В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов.
		ПК-9 [1] - Способен эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок, выполнять технико-экономические расчеты  <i>Основание:</i>	
		ПК-11 [1] - Способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам  <i>Основание:</i>	

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Основные понятия и определения теории	1-8	0/15/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-13,

	теплообмена. Стационарное и нестационарное уравнение теплопроводности. Уравнения Навье- Стокса. Основы теории подобия, критерии подобия, уравнения подобия.						У- ПК- 13, В- ПК- 13, 3-ПК- 6.2, У- ПК- 6.2, В- ПК- 6.2, 3- УКЦ- 1, У- УКЦ- 1, В- УКЦ- 1, 3-ПК- 11, У- ПК- 11, В- ПК- 11, 3-ПК- 6.3, У- ПК- 6.3, В- ПК- 6.3, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9
2	Вынужденная конвекция при ламинарном и турбулентном режиме течения в трубах.	9-15	0/15/0	КИ-15 (25)	25	КИ-15	3-ПК- 13, У- ПК- 13, В- ПК-

							13, 3-ПК- 6.2, У- ПК- 6.2, В- ПК- 6.2, 3- УКЦ- 1, У- УКЦ- 1, В- УКЦ- 1, 3-ПК- 11, У- ПК- 11, В- ПК- 11, 3-ПК- 6.3, У- ПК- 6.3, В- ПК- 6.3, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		0/30/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 13, У- ПК- 13, В- ПК- 13, 3-ПК- 6.2, У-

							ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.	Лаб.,
-------	---------------------------	-------	----------	-------

и		час.	, час.	час.
	<i>2 Семестр</i>	0	30	0
1-8	<b>Основные понятия и определения теории теплообмена. Стационарное и нестационарное уравнение теплопроводности. Уравнения Навье-Стокса. Основы теории подобия, критерии подобия, уравнения подобия.</b>	0	15	0
1 - 8	<b>Основные понятия и определения теории теплообмена. Стационарное и нестационарное уравнение теплопроводности. Уравнения Навье-Стокса. Основы теории подобия, критерии подобия, уравнения подобия.</b> Основные положения теории теплообмена. Температурное поле, градиент температуры. Закон Фурье. Теплопроводность веществ. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности в прямоугольной системе координат. Условия однозначности. Запись дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрической и сферической системе координат. Стационарное уравнение теплопроводности. Теплопроводность тел простой формы. Нестационарное уравнение теплопроводности. Численные методы решения нестационарного уравнения теплопроводности. Метод разделения переменных. Температурные поля различных тел (шара, пластины, бесконечно длинного цилиндра). Уравнения Навье-Стокса. Дифференциальные уравнения теории конвективного теплообмена. Условия однозначности. Основные положения и определения теории подобия. Условия подобия физических величин. Критерии подобия, уравнения подобия. Метод анализа размерностей. Числа Нуссельта, Био, Фурье, Пекле, Прандтля, Галилея, Архимеда.	Всего аудиторных часов		
		0	15	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Вынужденная конвекция при ламинарном и турбулентном режиме течения в трубах.</b>	0	15	0
9 - 15	<b>Вынужденная конвекция при ламинарном и турбулентном режиме течения в трубах.</b> Вынужденная конвекция при ламинарном и турбулентном режиме течения в трубах. Основы теории пограничного слоя. Дифференциальные уравнения динамического и теплового пограничных слоев. Теплообмен при естественной конвекции в большом объеме. Основная система уравнений кода HYDRA-IBRAE/LM/E1.0. Основные предположения и приближения. Уравнение сохранения массы, энергии и количества движения. Замыкающие соотношения кода HYDRA-IBRAE/LM/E1.0. Карты режимов течения. Замыкающие соотношения для расчета трения о стенку, межфазного трения, теплообмена со стенкой и межфазного теплообмена. Моделирование задач с помощью кода HYDRA-IBRAE/LM/E1.0 по теплообмену. Моделирование твэла в канале. Расчет температуры теплоносителя в канале при	Всего аудиторных часов		
		0	15	0
		Онлайн		
		0	0	0

	обогреве со стороны стенке. Задачи с использованием объектов «Теплопроводящая структура» и «Активная зона».			
--	---	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия проводятся в интерактивных классах. Особое внимание студентов обращается на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса используются тестовые технологии, то есть специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала, а также выполнение двух домашних заданий.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>	<b>Аттестационное мероприятие (КП 1)</b>
ПК-11	З-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-13	З-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6.2	З-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6.3	З-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-15

	В-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-9	3-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-1	3-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-15

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, 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»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, 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»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, 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			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ Л 69 Примеры и задачи по тепломассообмену : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Ц 68 Теория и прикладные задачи тепломассопереноса : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Д 36 Тепломассообмен : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 С74 Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике Т.2 Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы, Москва: ИздАТ, 2013
2. 621.039 С74 Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике Т.3 Теплогидравлические процессы при переходных и нестандартных режимах. Тяжелые аварии. Защитная оболочка. Коды, их возможности, неопределенности, Москва: ИздАТ, 2014
3. 621.039 Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : учеб. пособие для вузов, Б. С. Петухов [et al.], М.: МЭИ, 2003
4. 621.039 С74 Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике Т.1 Теплогидравлические процессы в ЯЭУ, П. Л. Кириллов [и др.], Москва: ИздАТ, 2010
5. 621.039 К43 Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов, П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская, Москва: ИздАТ, 2008
6. 532 К43 Гидродинамические расчеты : справочное учебное пособие , П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, Москва: ИздАТ, 2009

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечения не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Цель методических рекомендаций для студента – оптимизация процесса изучения данной дисциплины.

Материалы учебно-методического комплекса выдаются в электронном виде. Эти материалы не являются дословным изложением лекций и семинаров, а лишь их кратким содержанием. Они должны активно использоваться при подготовке к написанию тестов и экзамену.

Следует помнить, что в тестовые и экзаменационные вопросы не входит материал, который не был прочитан на лекциях или обсужден на семинарах. Тем не менее, для целей эффективного использования полученных знаний рекомендуется ознакомиться с интернет – ресурсами и литературой. В рекомендованной литературе, особенно выдаваемой в электронном виде, изучаемые вопросы рассматриваются более глубоко, их изучение повышает квалификацию студента.

Задачи домашнего задания аналогичны рассматриваемым на семинарских занятиях, поэтому рекомендуется выполнять их последовательно по мере изучения материала на занятиях.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Дисциплина посвящена подготовке студентов к решению инженерных задач расчета перспективных ядерных энергетических установок на основе строгих научных методов. При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Знания, полученные студентами при изучении различных дисциплин, применяются к решению задач характерных для ядерных энергетических установок.

Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в интерактивных классах. Сложные и многочисленные расчеты не должны затенять сути излагаемых методов, поэтому рекомендуется широко использовать системы символьной математики.

Особое внимание студентов следует обратить на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. В конце изучения курса рекомендуется выдать студентам использованные презентации в электронном виде.

Для закрепления теоретического материала дисциплина содержит большое количество задач для самостоятельного решения и проверки знаний.

Автор(ы):

Мосунова Настасья Александровна

Рецензент(ы):

Лаврухин А.А.

