

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ

Долматов О.Ю.

«25» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2020 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Направление подготовки/ специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Nuclear Science and Technology		
Специализация	Nuclear Power Engineering (Ядерные реакторы и энергетические установки)		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	1	семестр	1
Трудоемкость в кредитах (за- четных единицах)	4		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) ра- бота, ч	Лекции	24	
	Практические занятия	24	
	Лабораторные занятия	0	
	ВСЕГО	48	
Самостоятельная работа, ч		96	
ИТОГО, ч		144	

Вид промежуточной
аттестации

Зачет

Обеспечивающее
подразделение

ОЯТЦ ИЯТШ

Зав. кафедрой-руководитель
ОЯТЦ на правах кафедры
Руководитель ООП
Преподаватель

А.Г. Горюнов

В.В. Верхотурова

А.Г. Коротких

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.4 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	И.УК(У)-4.2	Составляет академические и (или) профессиональные тексты на иностранном языке (английском)	УК(У)-4.2В1	Владет навыками монологического высказывания на иностранном языке (английском) по профилю своей специальности, аргументировано излагая свою позицию и используя вспомогательные средства (таблицы, графики, диаграммы и т.п.)
				УК(У)-4.2У1	Умеет составлять и представлять техническую и научную информацию, используемую в профессиональной деятельности, в виде презентации
		И.УК(У)-4.3	Организует обсуждение результатов исследовательской и проектной деятельности на различных публичных мероприятиях на иностранном языке (английском), выбирая подходящий формат	УК(У)-4.3В1	Владет полученными знаниями по иностранному языку (английскому) на достаточном уровне в своей будущей профессиональной деятельности
				УК(У)-4.3У1	Умеет воспринимать на слух аутентичные аудио- и видео материалы, связанные с направлением подготовки
				УК(У)-4.3З1	Знает основы структурирования доклада и подготовки презентаций на иностранном языке (английском), принятых в международной среде
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	И.ОПК(У)-1.1	Планирует, организует и проводит научно-исследовательские работы с представлением полученных результатов	ОПК(У)-1.1В1	Владет систематическими знаниями по направлению будущей профессиональной деятельности
				ОПК(У)-1.1У1	Умеет составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов
				ОПК(У)-1.1З1	Знает цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	И.ОПК(У)-2.1	Выполняет, производит оценку и представляет результаты выполненной работы, руководствуясь современными методами исследования	ОПК(У)-2.1В2	Владет методикой расчета в исследовании процесса теплообмена в энергетическом оборудовании и опытом представления результатов выполненных задач.
				ОПК(У)-2.1У2	Умеет осуществлять выбор основных уравнений расчета и представлять результаты выполненной работы
				ОПК(У)-2.1З2	Знает основные уравнения гидродинамики и теплообмена, этапы проведения теоретического исследования, оценивания и представления результатов выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять	И.ОПК	Оформляет результаты	ОПК(У)-3.1В1	Владет навыками оформ-

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
	результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	(У)-3.1	научно-исследовательской деятельности с применением систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ		ления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
				ОПК(У)-3.1У1	Умеет оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
ПК(У)-4	Способен создавать теоретические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды	И.ПК(У)-4.1	Использует методы и средства для создания теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды	ПК(У)-4.1В9	Владет навыками математического моделирования процесса теплообмена в энергетических установках
				ПК(У)-4.1У9	Умеет выбирать основные уравнения, граничные и начальные условия теплообмена и использовать современные подходы в теплогидравлическом расчете энергетических установок
				ПК(У)-4.138	Знает основные процессы энерговыделения, энергетические характеристики и схемы охлаждения активной зоны, процессы теплообмена при работе ядерных энергетических установок
ПК(У)-6	Способен оценивать перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах, связанных с разработкой технологий получения новых видов топлива и конструкционных материалов, способов обращения с радиоактивными отходами	И.ПК(У)-6.1	Анализирует перспективы разработки технологии получения новых видов ядерного топлива для энергетических и исследовательских реакторов, существующих и перспективных реакторов АЭС, технологии обращения с радиоактивными отходами	ПК(У)-6.1В1	Владет навыками анализа для оценки результатов поиска информации, связанной с конструкциями ядерных энергетических установок и тепловыделяющих элементов
				ПК(У)-6.1У1	Умеет осуществлять поиск информации по конструкциям и использованию ядерных энергетических установок с использованием международных и Российских баз данных научного цитирования
				ПК(У)-6.131	Знает перспективы развития ядерной энергетики и особенности конструкций, принципы работы проектируемых ядерных энергоустановок
ПК(У)-9	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники, методов расчета и проведения исследования	И.ПК(У)-9.1	Проводит критический анализ работы существующих ядерных установок и использует данные анализа при проектировании перспективных ядерных установок, технологий и оборудования	ПК(У)-9.1В2	Владет навыками теплового расчета тепловыделяющих элементов, конструкционных материалов и активной зоны ядерных энергетических установок
				ПК(У)-9.1У2	Умеет выполнять сравнительный анализ эффективности работы ядерных энергетических установок и теплогидравлический расчет в проектировании энергооборудования
				ПК(У)-9.132	Знает технические характеристики, принцип работы и особенности конструкций,

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					теплоносителей существующих и перспективных ядерных энергетических установок и тепловыделяющих сборок
				ПК(У)-9.133	Знает назначение, устройство и принцип работы основных систем и оборудования АЭС
		И.ПК(У)-9.2	Использует современные численные методы и профессиональные расчетные пакеты прикладных программ при проектировании перспективных ядерных установок, технологий и оборудования	ПК(У)-9.233	Знает современные методы теплового расчета энергооборудования и существующие прикладные компьютерные программы расчетов

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части вариативного профессионального междисциплинарного модуля Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине			Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование		
РД 1	Владеть навыками составления и оформления текстовых отчетов, презентаций, публикаций на иностранном языке с целью представления результатов исследования, научно-технической информации на семинарских и практических занятиях, конференциях.		И.УК(У)-4.2, И.УК(У)-4.3, И.ОПК(У)-3.1
РД 2	Составлять план работы, формулировать цели и задачи исследования, выполнять теплогидравлические расчеты ядерных энергетических установок, теплообменного оборудования с применением современных методов, программ расчета и источников информации, проводить анализ результатов выполненной работы.		И.ОПК(У)-1.1, И.ОПК(У)-2.1, И.ПК(У)-4.1, И.ПК(У)-9.1, И.ПК(У)-9.2
РД 3	Осуществлять поиск и проводить анализ информации, связанной с конструкциями и опыта эксплуатации ядерных энергетических установок, тепловыделяющих элементов, конструкционных материалов с применением баз данных научного цитирования.		И.ПК(У)-6.1

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Тепловыделение в ядерном реакторе	РД1, РД2, РД3	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Самостоятельная работа	8
Раздел 2. Теплопроводность в ядерном реакторе	РД1, РД2, РД3	Лекции	8
		Практические занятия	8
		Самостоятельная работа	16
Раздел 3. Конвективный теплообмен в ядерном реакторе	РД1, РД2, РД3	Лекции	10
		Практические занятия	10
		Самостоятельная работа	20
Раздел 4. Теплообмен излучением в газоохлаждаемом ядерном реакторе	РД1, РД2, РД3	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Самостоятельная работа	4

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Тепловыделение в ядерном реакторе

Основные виды ядерных реакторов. Процессы, ответственные за тепловыделение в активной зоне ядерного реактора. Распределение тепловыделения в реакторе.

Темы лекционных занятий:

1. Ядерные реакторы. Процессы, ответственные за тепловыделение в активной зоне.
2. Распределение тепловыделения в ядерном реакторе.

Темы практических занятий:

1. Конструкции и характеристики ядерных реакторов.
2. Расчет количества тепла, образующегося в активной зоне ядерного реактора.

Раздел 2. Теплопроводность в ядерном реакторе

Тепловой поток. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме в основных конструкциях ядерного реактора. Теплопроводность при наличии внутренних источников тепла в ТВЭЛ. Перенос тепла в обрешеченной поверхности. Нестационарные процессы теплопроводности при охлаждении (нагревании) тел.

Темы лекционных занятий:

3. Кондуктивный тепловой поток. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
4. Теплопроводность при стационарном режиме в основных элементах конструкции ядерного реактора.
5. Теплопроводность при наличии внутренних источников тепла в ТВЭЛ.
6. Нестационарные процессы теплопроводности при охлаждении (нагревании) тел.

Темы практических занятий:

3. Расчет теплового потока и распределения температуры в телах различной формы.
4. Расчет теплового потока на поверхности конструкций ядерного реактора.
5. Расчет теплового потока и распределения температуры в тепловыделяющем элементе.
6. Расчет тепловыделения при остановке реактора и температур в конструкциях при их охлаждении (нагреве).

Раздел 3. Конвективный теплообмен в ядерном реакторе

Факторы, влияющие на теплообмен. Подobie и моделирование процессов конвективного теплообмена. Уравнение неразрывности потока. Уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Уравнение движения. Теплоотдача в однофазной среде при свободном и вынужденном движении теплоносителя. Теплоотдача при вынужденном продольном и поперечном омывании труб, пучков труб. Теплоотдача жидких металлических теплоносителей. Теплообмен при кипении и конденсации. Кризис теплообмена.

Темы лекционных занятий:

7. Закон Ньютона-Рихмана. Подobie и моделирование процессов конвективного теплообмена.
8. Теплоотдача в однофазной среде при свободном и вынужденном движении теплоносителя.
9. Теплоотдача при вынужденном продольном и поперечном омывании труб, пучков труб, стержней. Теплоотдача жидких металлических теплоносителей.
10. Теплообмен при кипении и конденсации. Кризис теплообмена.
11. Принцип теплогидравлического расчета активной зоны ядерного реактора, охлаждаемой однофазным и двухфазным потоками.

Темы практических занятий:

7. Расчет теплоотдачи при естественной циркуляции теплоносителя.
8. Расчет теплоотдачи при вынужденной циркуляции теплоносителя.
9. Расчет теплоотдачи при продольном и поперечном омывании труб, пучков труб и стержней.
10. Расчет теплоотдачи при кипении жидкости, кризиса теплообмена в ТВС.
11. Теплогидравлический расчет активной зоны ядерного реактора. Тепловой расчет теплообменного оборудования.

Раздел 4. Теплообмен излучением в газоохлаждаемом ядерном реакторе

Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Сложный теплообмен в энергетических установках.

Темы лекционных занятий:

12. Теплообмен излучением в газоохлаждаемом ядерном реакторе.

Темы практических занятий:

12. Расчет теплоотдачи при сложном теплообмене.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Перевод текстов с иностранных языков;
- Выполнение индивидуальных заданий;
- Подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семина-

- рах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

1. Прибытков И. А. Thermophysics = Теплофизика : учебное пособие / И. А. Прибытков. — Москва : МИСИС, 2019. — 97 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129050> (дата обращения: 17.12.2020). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

Дополнительная литература

1. Breeze, P. Combined Heat and Power [Электронный ресурс] / P. Breeze. — Электрон. дан. — Elsevier Ltd.: Academic press, 2018. — 95 p. — Режим доступа: <https://ezproxy.ha.tpu.ru:2056/book/9780128129081/combined-heat-and-power>. — Загл. с экрана.

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Электронно-библиотечная система «Лань» - <https://e.lanbook.com/>.
2. Электронно-библиотечная система «Юрайт» - <https://urait.ru/>.
3. Nuclear Reactors // <http://www.thermopedia.com/content/989/>.
4. World Nuclear Power Reactors // <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors.aspx>.
5. Convective Heat Transfer // https://books.google.ru/books?id=PyctAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Convective+Heat+Transfer&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiFgfyIj_boAhWuyqYKHT-JACAQ6AEIPTAC#v=onepage&q=Convective%20Heat%20Transfer&f=false.
6. Nuclear Reactor Thermal Hydraulics: An Introduction to Nuclear Heat Transfer and Fluid Flow // https://books.google.ru/books?id=DnWqDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Heat+Transfer+in+nuclear+reactor&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiNkd3_kPboAhXBs4sKHd6mBuwQ6AEIOjAC#v=onepage&q=Heat%20Transfer%20in%20nuclear%20reactor&f=false.
7. Ядерный реактор // <https://www.youtube.com/watch?v=rdTgNXb1Irc>.
8. Принцип работы ядерного реактора // <https://www.youtube.com/watch?v=EWrdyM8qOA>.
9. Fluid flow and Heat Transfer analysis // <https://www.youtube.com/watch?v=-03gO3UwFeA>.
10. COMSOL Multiphysics // https://portal.tpu.ru/portal/page/portal/DITE/dite_Structure/lab05_SAPR/Comsol.
11. ANSYS Academic Teaching Advanced // https://portal.tpu.ru/portal/page/portal/DITE/dite_Structure/lab05_SAPR/ANSYS.

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. 7-Zip;
2. Adobe Acrobat Reader DC;
3. Adobe Flash Player; AkelPad;

4. Google Chrome;
5. Mozilla Firefox ESR;
6. Tracker Software PDF-XChange Viewer;
7. WinDjView.

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее оборудование:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 31	Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест; Шкаф для одежды - 1 шт.; Шкаф для документов - 1 шт.; Тумба стационарная - 1 шт.; Стол письменный - 1 шт.; Компьютер - 16 шт.; Телевизор - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.04.02 Ядерные физика и технологии, специализация «Nuclear Power Engineering» (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик:

Должность	ФИО
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Коротких Александр Геннадьевич

Программа одобрена на заседании Отделения ядерно-топливного цикла ИЯТШ (протокол от «25» июня 2020 г. № 28-д).

Зав. кафедрой-руководитель ОЯТЦ
на правах кафедры, д.т.н, профессор


подпись /Горюнов А.Г./