

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 2019 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

ТЕРМОДИНАМИКА			
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 (зачетных единицах)	4		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		32
	Практические занятия		16
	Лабораторные занятия		-
	ВСЕГО		48
Самостоятельная работа, ч			96
ИТОГО, ч			144

Вид промежуточной аттестации	Экзамен	Обеспечивающее подразделение	ОЯТЦ ИЯТШ
Зав. кафедрой-руководитель ОЯТЦ на правах кафедры Руководитель ООП Преподаватель			А.Г. Горюнов
			В.В. Верхотурова
			К.В. Слюсарский Е.Г. Орлова

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	Владеет 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	Владеет полученными знаниями по иностранному языку (английскому) на достаточном уровне в своей будущей профессиональной деятельности
				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	Владеет систематическими знаниями по направлению будущей профессиональной деятельности
				ОПК(У)-1.1В2	Владеет углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме
				ОПК(У)-1.1У1	Умеет составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов
				ОПК(У)-1.1У2	Умеет проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты
				ОПК(У)-1.1З1	Знает цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации
				ОПК(У)-1.1З2	Знает основные источники научной информации и требования к представлению информационных материалов

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)-2.131	Знает современные методы проведения исследования, оценивания и представления результатов выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	И.ОПК(У)-3.1	Оформляет результаты научно-исследовательской деятельности с применением систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК(У)-3.1B1	Владеет навыками оформления 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
				ОПК(У)-3.131	Знает основы оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
ПК(У)-3	Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации для планирования и управления жизненным циклом производимой продукции и её качеством	И.ПК(У)-3.1	Собирает, анализирует исходные информационные данные, участвует в планировании и управлении технологическими процессами изготовления, диагностики, испытания производимой продукции	ПК(У)-3.1B2	Владеет опытом идентификации и расчета параметров термодинамических процессов и состояний вещества.
				ПК(У)-3.1B3	Владеет опытом сопряжения результатов теплогидравлического расчета с физическим, прочностным и экономическим расчетами с целью обоснования параметров реактора ядерной установки, её теплотехнической надежности
				ПК(У)-3.1У2	Умеет рассчитывать основные физические характеристики ядерных реакторов
				ПК(У)-3.1У3	Умеет применять методики расчётов, сопровождающих процесс конструирования ядерных реакторов
				ПК(У)-3.132	Знает технологические режимы работы реакторной установки обслуживающих систем.
				ПК(У)-3.133	Знает основы физики ядерного реактора, теплотехники, электротехники, механики и водоподготовки

				ПК(У)-3.134	Знает законы термодинамики, циклов паротурбинных и газотурбинных установок, энергетического баланса ядерно-энергетических установок, коэффициента полезного действия
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)-4.1В1	Владеет опытом использования пакетов прикладных компьютерных программ для определения свойств веществ и параметров физических процессов, применения типовых методик выполнения измерений, расчетов технологических процессов
				ПК(У)-4.1У1	Умеет использовать современные подходы и методы расчета термодинамических процессов и систем
				ПК(У)-4.131	Знает основные принципы работы основного оборудования, трубопроводов, технологических схем
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)-9.1У3	Умеет выполнить приближенный или оценочный инженерный расчет оборудования, показателей станции.
				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)-9.2В3	Владеет опытом использования пакетов прикладных компьютерных программ для термодинамических расчетов.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части вариативного междисциплинарного профессионального модуля части 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	Составляет академические и (или) профессиональные тексты на иностранном языке	И.УК(У)-4.2
РД 2	Организует обсуждение результатов исследовательской и проектной деятельности на различных публичных мероприятиях на иностранном языке, выбирая подходящий формат	И.УК(У)-4.3
РД 3	Планирует, организует и проводит научно-исследовательские	И.ОПК(У)-1.1

	работы с представлением полученных результатов	
РД 4	Выполняет, производит оценку и представляет результаты выполненной работы, руководствуясь современными методами исследования	И.ОПК(У)-2.1
РД 5	Оформляет результаты научно-исследовательской деятельности с применением систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	И.ОПК(У)-3.1
РД 6	Собирает, анализирует исходные информационные данные, участвует в планировании и управлении технологическими процессами изготовления, диагностики, испытания производимой продукции	И.ПК(У)-3.1
РД 7	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	И.ПК(У)-4.1
РД 8	Проводит критический анализ работы существующих ядерных установок и использует данные анализа при проектировании перспективных ядерных установок, технологий и оборудования	И.ПК(У)-9.1
РД 9	Использует современные численные методы и профессиональные расчетные пакеты прикладных программ при проектировании перспективных ядерных установок, технологий и оборудования	И.ПК(У)-9.2

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. Основные понятия и определения термодинамики	РД1, РД2, РД5	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Самостоятельная работа	12
Раздел 2. Первый и второй законы термодинамики	РД5, РД8, РД9	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Самостоятельная работа	12
Раздел 3. Основные термодинамические процессы в газах, парах и их смесях	РД3, РД4, РД5, РД7	Лекции	6
		Практические занятия	4
		Самостоятельная работа	21
Раздел 4. Особенности термодинамики открытых систем	РД1, РД2, РД5	Лекции	6
		Практические занятия	2
		Самостоятельная работа	15
Раздел 5. Циклы теплосиловых установок	РД6, РД8, РД9	Лекции	12
		Практические занятия	6
		Самостоятельная работа	36

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Основные понятия и определения термодинамики

Введение. Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система. Основные параметры состояния. Равновесное и неравновесное состояния. Уравнения состояния. Термическое и калорическое уравнения состояния. Теплота и работа как формы передачи энергии. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы). Теплоемкость. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных объеме и давлении. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкости.

Темы лекционных занятий:

1. Введение в техническую термодинамику. Понятие, классификация и параметры термодинамических систем. Системы единиц измерения. Уравнение состояния.
2. Термодинамический процесс. Понятие, классификация и параметры термодинамического процесса.

Темы практических занятий:

1. Основные параметры состояния. Системы единиц измерения и их связь.

Раздел 2. Первый и второй законы термодинамики

Сущность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Диаграмма $p-v$. Идеальный газ. Определение и свойства идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Смеси рабочих тел. Способы задания состава смеси, соотношения между массовыми и объемными долями. Вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений компонентов. Теплоемкость смеси рабочих тел. Сущность и основные формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические

циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы, их эффективность. Циклы Карно и анализ их свойств. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Энтропия, ее изменение в необратимых процессах. Диаграмма Ts . Понятие эксергии.

Темы лекционных занятий:

3. Первый закон термодинамики. Сущность, формулировки и аналитическое выражение. Понятия внутренней энергии и энтальпии. p - v -диаграмма.
4. Второй закон термодинамики. Сущность, формулировки и аналитическое выражение. Понятие энтропии. Цикл Карно. Ts -диаграмма.

Темы практических занятий:

2. Параметры состояния идеального газа. Смеси идеальных газов.

Раздел 3. Основные термодинамические процессы в газах, парах и их смесях

Общие методы исследования процессов изменения состояния рабочих тел. Политропные процессы. Основные характеристики политропных процессов. Изображения процессов в координатах p - v и Ts . Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный – частные случаи политропного процесса. Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в p - v - и Ts - диаграммах. Водяной пар. Понятие об уравнении Вукаловича – Новикова. Определения понятия «влажный воздух». Основные величины, характеризующие состояние влажного воздуха. Термодинамические таблицы воды и водяного пара. Диаграммы p - v -, Ts - и h - s - водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и h - s – диаграммы. Реальные термодинамические процессы идеальных газов, воды и водяного пара.

Темы лекционных занятий:

5. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Смеси идеальных газов.
6. Изобарный, изохорный, изотермический и адиабатический процессы как частные случаи политропного процесса
7. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса и Вукаловича-Новикова. Таблицы воды и водяного пара.

Темы практических занятий:

3. Термодинамические процессы идеального газа. Идеальный и реальные процессы.
4. Водяной пар. Идеальный и реальный процессы водяного пара.

Раздел 4. Особенности термодинамики открытых систем
--

Основные положения термодинамики открытых систем. Уравнения первого закона термодинамики для потока, его анализ. Располагаемая работа и скорость истечения. Секундный расход при истечении. Критическая скорость истечения. Критическое отношение давлений. Расчет скорости истечения и секундного массового расхода для критического режима. Условия получения скорости выше критической. Сопло Лавалья. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью h - s -диаграммы. Действительный процесс истечения. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса дросселирования и его уравнение. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля – Томсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования, его изображение в h - s -диаграмме. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Полная работа, затрачиваемая на привод компрессора. Многоступенчатое сжатие. Изображение в p - v - и Ts - диаграммах термодинамических процессов сжатия. Необратимое сжатие. Относительный внутренний КПД компрессора. Эксергия потока рабочего тела.

Темы лекционных занятий:

8. Процессы истечения газов. Критический режим истечения. Сопло Лаваля. Истечение водяного пара.
9. Процесс дросселирования идеального газа и водяного пара. Дросселирование в $p-v$ и Ts -диаграммах.
10. Процесс адиабатного, изотермического и политропного сжатия идеального газа. Необратимое сжатие. Относительный внутренний КПД компрессора. Коллоквиум.

Темы практических занятий:

5. Процессы истечения идеального газа и водяного пара. Дросселирование.

Раздел 5. Циклы теплосиловых установок

Схемы, изображения циклов в $p-v$ - и Ts - диаграммах, термические и эксергетические КПД циклов: Цикл Карно. Цикл Карно на водяном паре. Цикл Ренкина и его анализ. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Понятие о циклах ядерных энергетических установок. Циклы АЭС с турбинами насыщенного и перегретого пара с промежуточными сепарацией и перегревом пара. Методы повышения термического КПД в паротурбинных установках (ПТУ). Регенерация теплоты в циклах ПТУ. Теплофикационный цикл. Принцип действия ГТУ. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты. Методы повышения термического КПД ГТУ. Регенеративный цикл ГТУ. Парогазовые циклы. АЭС с газотурбинными установками. Циклы газотурбинных установок. Эффективность гелиевого цикла для АЭС с ВТГР. Перспективные термодинамические циклы АЭС. АЭС с реакторами на сверхкритические параметры. Циклы АЭС с отпуском теплоты. Циклы АЭС на диссоциирующих газах. Обратный цикл Карно. Цикл газовой холодильной машины. Цикл парокомпрессионной холодильной машины с детандером и дросселем. Тепловой насос. Эффективность обратного цикла.

Темы лекционных занятий:

11. Цикл Ренкина. Цикл Ренкина на насыщенном и перегретом паре.
12. Цикл Ренкина с сепарацией, промежуточным огневым и паровым перегревом. Способы повышения сухости пара на выходе из турбины.
13. Циклы идеального газа. Циклы Брайтона и Отто. Циклы АЭС с газотурбинными установками.
14. Способы повышения КПД циклов теплосиловых установок: изменение начальных параметров, регенерация, теплофикация, турбопривод. Циклы АЭС на сверхкритические параметры.
15. Циклы АЭС с гелиевым теплоносителем. Циклы АЭС на диссоциирующих газах. Парогазовые циклы АЭС.
16. Обратные циклы тепловых машин. Циклы газовых и парокомпрессионных холодильников. Циклы тепловых насосов. Коллоквиум.

Темы практических занятий:

6. Цикл Ренкина на насыщенном и перегретом паре. Начальные и конечные параметры.
7. Цикл Ренкина с сепарацией и промежуточным перегревом. Огневой и паровой перегрев.
8. Регенерация. Циклы Ренкина и Брайтона с регенерацией.

5. Организация самостоятельной работы студентов

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

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме дисциплины;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Перевод текстов с иностранных языков;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- 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. Hołyst, R., Poniewierski, A. Thermodynamics for Chemists, Physicists and Engineers / R. Hołyst, A. Poniewierski. — Dordrecht: Springer, 2012. — 343 p. — Текст: электронный // SpringerLink.— URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-2999-5> (дата обращения: 20.09.2020). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
2. Henning Struchtrup. Thermodynamics and Energy Conversion / Henning Struchtrup. — Springer, 2014. — 597 p. — Текст: электронный // SpringerLink.— URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-43715-5> (дата обращения: 20.02.2021). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

Дополнительная литература:

1. Hoffelner W. Materials for Nuclear Plants. From Safe Design to Residual Life Assessments / W. Hoffelner. — New York : Springer, 2013. — 477 p. — Текст: электронный // SpringerLink. — URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4471-2915-8> (дата обращения: 20.09.2020). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ

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. MIT website – Thermodynamics and Propulsion. — <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/index.html>.
4. Coursera website – Statistical molecular thermodynamics. — <https://www.coursera.org/learn/statistical-thermodynamics>.
5. Coursera website – Statistical Thermodynamics: Molecules to Machines: <https://www.coursera.org/learn/statistical-thermodynamics-cm>
6. Coolprop website – properties of substances. — <http://www.coolprop.org/>
7. Thermodynamics. The 4 Laws. — <http://physicsforidiots.com/physics/thermodynamics/>
8. Khanacademy/ Laws of thermodynamics. — <https://www.khanacademy.org/science/biology/energy-and-enzymes/the-laws-of-thermodynamics/a/the-laws-of-thermodynamics>.

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

1. 7-Zip;
2. Adobe Acrobat Reader DC;
3. Adobe Flash Player;
4. AkelPad;
5. Google Chrome;
6. Mozilla Firefox ESR;
7. Tracker Software PDF-XChange Viewer;
8. 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 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Слюсарский К.В.
Старший преподаватель НОЦ И.Н. Бутакова	Орлова Е.Г.

Программа одобрена на заседании Отделения ядерно-топливного цикла ИЯТШ (протокол от «28» июня 2019 г. № 16).

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


_____ /Горюнов А.Г./
подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЯТЦ (протокол)
2020/2021 учебный год	1. Изменено содержание разделов рабочей программы дисциплины: - обновлено учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины, в том числе ссылки на ЭБС; - обновлён состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем.	От 25.06.2020 г. № 28-д
	2. Скорректированы разделы «Цели освоения дисциплины», «Планируемые результаты обучения по дисциплине».	