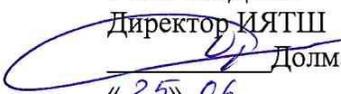


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ

 Долматов О.Ю.

« 25 » 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2020 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

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	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

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)-3.1В1	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)-3.1В2	Владеет опытом идентификации и расчета параметров термодинамических процессов и состояний вещества.
				ПК(У)-3.1В3	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. Pv-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 pv 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 pv- 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 pv-, Ts- и hs - водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и hs – 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 Лавала. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью hs-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 hs-диаграмме. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Полная работа, затрачиваемая на привод компрессора. Многоступенчатое сжатие. Изображение в pv- 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 T - s -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 T - s - 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.

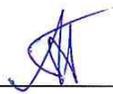
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.04.02 Ядерные физика и технологии, специализация «Nuclear Power Engineering» (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Слюсарский К.В.

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


_____ /Горюнов А.Г./
подпись