

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики неравновесных процессов**



ПРЕДТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Термодинамические процессы» имеет своей целью обучение студентов основным положениям, подходам, методам и классическим задачам общей термодинамики. Целью также является достижение понимания концептуального единства математических, физических моделей при всем имеющемся их разнообразии в конкретных разделах термодинамики (физической, химической и технической), изучение современного математического аппарата, используемого при решении задач теплофизики и термодинамики.

В отечественной и зарубежной учебной литературе известно немало курсов термодинамики, в частности, технической. Учитывая специфику классического университета, автор пытался значительное место уделить и общей термодинамике. В данном курсе сочетаются аксиоматическая строгость термодинамических законов и наглядная физическая интерпретация различных ситуаций при использовании термодинамического метода. На основе законов термодинамики, исследуется протекание термодинамических процессов для газов, паров, смесей и других рабочих тел. Большое внимание уделяется изучению термодинамики парожидкостных систем и потоков, рассмотрению термодинамических циклов различных установок.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные законы термодинамики, методы технической термодинамики и термодинамики потоков, включая двухфазные, принципы расчета тепловых машин (двигателей), холодильных установок, тепловых насосов и пр., базовые разделы термодинамики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь анализировать и рассчитывать К.П.Д. и коэффициенты эффективности конкретных тепловых машин, холодильных установок, тепловых насосов; решать типовые учебные задачи по основным разделам термодинамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов термодинамики, необходимых в</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов термодинамики для решения научно-инновационных задач; применять знания термодинамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области термодинамики и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть современными подходами, методами и навыками решения различных задач физической и технической термодинамики; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам термодинамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов термодинамики; навыками решения базовых задач по теории термодинамики; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов термодинамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области термодинамики и смежных дисциплин.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Термодинамические процессы» реализуется в 8 семестре 4 курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Необходимыми предпосылками для успешного освоения курса являются нижеследующие дисциплины, входящие в базовую часть математического и естественнонаучного цикла:

- Математический анализ;
- Физическая термодинамика;
- Основы молекулярно-кинетической теории;

Процессы переноса в сплошных средах.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Термодинамические процессы» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 8-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включающая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Лекции	Практические занятия	Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Основные параметры термодинамической системы. Идеальный газ. Температура. Уравнение состояния идеального и реальных газов. Газовые смеси.	1	3	2		1	
2	Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Первое начало термодинамики. Энтропия. Максимальная и минимальная работа.	2	3	2		1	
3	Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения. Статистические суммы канонических распределений. Энтропия – статистическая интерпретация. Якобианы. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия Гельмгольца, потенциал Гиббса, Ω -потенциал.	3	3	2		1	
4	Теплоемкость различных газов. Квантовая природа теплоемкости. Термодинамические коэффициенты. Основные термодинамические процессы. Тепловая и рабочая диаграммы. Политропические процессы.	4	3	2		1	
5	Цикл Карно. Обратимая тепловая машина. Второе начало термодинамики.	5	3	2		1	
6	Изменение энтропии конкретных систем. Тепловой контакт двух тел. Обратимая тепловая машина с холодильником и нагревателем конечной теплоемкости. Эксергия. Обобщенный цикл Карно. Процессы с регенерацией теплоты.	6	3	2		1	
7	Система с переменным количеством вещества. Химический потенциал. Экстремальные свойства термодинамических функций.	7	3	2		1	

	Условия равновесия однофазных и двухфазных систем. Равновесие фаз. Правило фаз Гиббса. Метаустойчивые состояния.						
8	Влажный пар. Двухфазная система. Теплоемкость влажного пара. Основные процессы с влажным паром.	8	3	2		1	
9	Уравнение 1-го начала термодинамики для потока. Скорость звука в двухфазных системах. Дросселирование газов и паров. Адиабатический процесс истечения газов. Сопло Лаваля.	9	3	2		1	
10	Вязкое течение сжимаемого газа в канале. Процесс истечения парожидкостной смеси из простого сопла (модель аварии энергоустановок).	10	4	2		2	
11	Компрессоры. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания: циклы Отто, Дизеля, Сабатэ-Тринклера. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания.	11	3	2		1	
12	Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей. Газотурбинная установка. Прямоточный воздушно-реактивный двигатель. Компрессорный турбореактивный двигатель. Жидкостный ракетный двигатель.	12	3	2		1	
13	Паротурбинные установки. Цикл Карно. Цикл Ренкина. Холодильные циклы. Воздушная холодильная установка.	13	3	2		1	
14	Паровая компрессорная холодильная установка. Пароэжекторная холодильная установка. Абсорбционная холодильная установка.	14	3	2		1	
15	Термоэлектрическая холодильная установка. Принцип работы теплового насоса. Термотрансформаторы. Методы сжижения газов.	15	4	2		2	
16	МГД-генератор и ядерная энергетическая установка. Термоэлектронные (термоэмиссионные) преобразователи. Электрохимические генераторы (топливные элементы). Солнечные батареи.	16	3	2		1	
17	Групповая консультация		2				2
18	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
19	Экзамен		2				2
Итого			72	32	0	18	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1-е и 2-е начала термодинамики и элементы статистической физики

Основные параметры термодинамической системы. Идеальный газ. Температура. Уравнение состояния идеального и реальных газов. Газовые смеси. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Первое начало термодинамики. Энтропия. Максимальная и минимальная работа. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения. Статистические суммы канонических распределений. Энтропия – статистическая интерпретация. Якобианы. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия Гельмгольца, потенциал Гиббса, Ω -потенциал. Теплоемкость различных газов. Квантовая природа теплоемкости. Термодинамические коэффициенты. Основные термодинамические процессы. Тепловая и рабочая диаграммы. Политропические процессы. Цикл Карно. Обратимая тепловая машина. Второе начало термодинамики. Изменение энтропии конкретных систем. Тепловой контакт двух тел. Обратимая тепловая машина с холодильником и нагревателем конечной теплоемкости. Эксергия. Обобщенный цикл Карно. Процессы с регенерацией теплоты.

Термодинамические системы с фазовыми переходами и термодинамика потоков

Система с переменным количеством вещества. Химический потенциал. Экстремальные свойства термодинамических функций. Условия равновесия однофазных и двухфазных систем. Равновесие фаз. Правило фаз Гиббса. Метастабильные состояния.

Влажный пар. Двухфазная система. Теплоемкость влажного пара. Основные процессы с влажным паром. Уравнение 1-го начала термодинамики для потока. Скорость звука в двухфазных системах. Дросселирование газов и паров. Адиабатический процесс истечения газов. Сопло Лаваля. Вязкое течение сжимаемого газа в канале. Процесс истечения парожидкостной смеси из простого сопла (модель аварии энергоустановок).

Циклы тепловых энергетических машин

Компрессоры. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания: циклы Отто, Дизеля, Сабатэ-Тринклера. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей. Газотурбинная установка. Прямоточный воздушно-реактивный двигатель. Компрессорный турбореактивный двигатель. Жидкостный ракетный двигатель. Паротурбинные установки. Цикл Карно. Цикл Ренкина. Холодильные циклы. Воздушная холодильная установка. Паровая компрессорная холодильная установка. Пароэжекторная холодильная установка. Абсорбционная холодильная установка. Термоэлектрическая холодильная установка. Принцип работы теплового насоса. Термотрансформаторы. Методы сжижения газов. МГД-генератор и ядерная энергетическая установка. Термоэлектронные (термоэмиссионные) преобразователи. Электрохимические генераторы (топливные элементы). Солнечные батареи.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. - М.: Машиностроение, 1972.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика, Ч.1 (Теоретическая физика, Т. 5). - М.: Физматлит, 2015.
3. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. - М.: Наука, Глав. редакция физ.-мат. лит-ры, 1977.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. - М.: Высшая школа, 1988.
5. Лежнин С.И., Кувшинов Г.Г. Процессы переноса в сплошных средах: - Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2000

5.2. Дополнительная литература

1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. - М.: Наука, Глав. редакция физ.-мат. лит-ры, 1973.
2. Каплун А.Б., Мешалкин А.Б. О термодинамическом обосновании формы единого уравнения состояния жидкости и газа // Теплофизика высоких температур, Т. 41, №3, 2002
3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. - М.: Наука, 1979.
4. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. - М.: Гостехиздат, 1950.
5. Филатова Е.С., Филиппова Л.Г. Сборник задач с решениями по термодинамике и статистической: Учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 1981.
6. Харитонов В.Г. Учебное пособие по физике, Часть 5. - Новосибирск: Издательство НГУ, 1979.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. - М.: Машиностроение, 1972. (учебник)
2. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. - М.: Наука, Глав. редакция физ.-мат. лит-ры, 1977. (учебник)
3. Лежнин С.И., Кувшинов Г.Г. Процессы переноса в сплошных средах: - Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2000

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Реализация дисциплины осуществляется с применением электронного обучения на платформе Zoom где обучение проводится на виртуальных аналогах, позволяющим достигать запланированных результатов по дисциплине.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины;

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить контрольные задачи.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная

компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области термодинамических процессов.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p>Знать основные законы термодинамики, методы технической термодинамики и термодинамики потоков, включая двухфазные, принципы расчета тепловых машин (двигателей), холодильных установок, тепловых насосов и пр., базовые разделы термодинамики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь анализировать и рассчитывать К.П.Д. и коэффициенты эффективности конкретных тепловых машин, холодильных установок, тепловых насосов; решать типовые учебные задачи по основным разделам термодинамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов термодинамики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов термодинамики для решения научно-инновационных задач; применять знания термодинамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>

	области термодинамики и смежных дисциплин.	
ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Владеть современными подходами, методами и навыками решения различных задач физической и технической термодинамики; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам термодинамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов термодинамики; навыками решения базовых задач по теории термодинамики; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов термодинамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области термодинамики и смежных дисциплин.	Проведение контрольных работ, экзаменов.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Термодинамические процессы».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

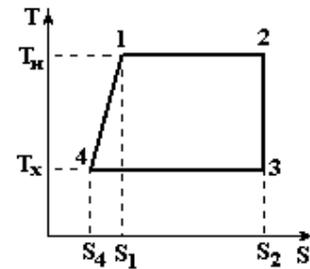
10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

1. Задания для самостоятельного решения.

Задание 1. Найти приращение энтропии алюминиевого бруска массы 3,0 кг при нагревании его от температуры 300 К до 600 К, если в этом интервале температур его удельная теплоемкость $C = a + bT$, $a = 770$ Дж/кг·К, $b = 0,46$ Дж/кг·К².

Задание 2. Какую максимальную работу можно получить за счет разности температур 2 кг железа, имеющего температуру 500 К и 4 кг меди, имеющей температуру 300 К. Каков к.п.д. соответствующего обратимого цикла? Удельные теплоемкости железа и меди равны 460 Дж/кг·К и 390 Дж/кг·К соответственно.

Задание 3. Определить КПД цикла 1-2-3-4-1. $S_1 = 400 \frac{Дж}{К}$, $S_2 = 800 \frac{Дж}{К}$, $S_4 = 300 \frac{Дж}{К}$, $T_n = 600К$, $T_x = 300К$. Изменить цикл на цикл с регенерацией тепла и определить его КПД.



Задание 4. Под поршнем находится равновесный влажный водяной пар при давлении P_0 и при начальных значениях $X_0 = 0,005; 0,02; 0,1$. До какого давления необходимо адиабатически сжать систему, чтобы пар полностью конденсировался?

2. Вопросы к экзамену

1. Параметры термодинамической системы. Уравнения состояния реальных газов. Газовые смеси.
2. Энтропия. Якобианы. Термодинамические потенциалы. Теплоемкость. Термодинамические коэффициенты.
3. Направление термодинамических процессов Цикл Карно. Обратимая тепловая машина. Теорема Карно.
4. Изменение энтропии конкретных систем. Обратимая тепловая машина с холодильником и нагревателем конечной теплоемкости.
5. Эксергия. Обобщенный цикл Карно. Процессы с регенерацией теплоты
6. Термодинамические системы с фазовыми переходами. Фазовые переходы 1-го рода. Метастабильные состояния
7. Влажный пар. Двухфазная система. Основные процессы с влажным паром
8. Уравнение 1-го начала термодинамики для потока
9. Скорость звука в двухфазных системах. Дросселирование газов и паров.
10. Адиабатический процесс истечения газов. Сопло Лавалю. Процесс истечения равновесной парожидкостной смеси из простого сопла. Вязкое течение сжимаемого газа в канале

11. Компрессоры. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто. Цикл Дизеля. Цикл Сабатэ-Тринклера. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания
12. Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей. Жидкостный ракетный двигатель
13. Паротурбинные установки. Цикл Карно. Цикл Ренкина
14. Холодильные циклы. Воздушная холодильная установка. Паровая компрессорная, абсорбционная и термоэлектрическая холодильные установки.
15. Тепловой насос. Термотрансформаторы.
16. МГД-генератор и ядерная энергетическая установка. Термоэлектронные (термоэмиссионные) преобразователи. Электрохимические генераторы (топливные элементы). Солнечные батареи.

3. Билеты к экзамену

Экзаменационные билеты по курсу ТП, ФФ, Кафедра неравновесных процессов, 4 курс

Билет 1

1. Вязкое течение сжимаемого газа в канале
2. Холодильные циклы: воздушная холодильная установка, паровая компрессорная холодильная установка.

Билет 2

1. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Первое начало термодинамики.
2. Циклы реактивных двигателей: прямоточный воздушно-реактивный двигатель, компрессорный турбореактивный двигатель, жидкостный ракетный двигатель.

Билет 3

1. Теплоемкость. Теплоемкость идеального газа. Тепловая и рабочая диаграммы.
2. Циклы паротурбинных установок: Карно и Ренкина.

Билет 4

1. Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно.
2. Газотурбинные установки. Цикл ГТУ с подводом тепла по изобаре.

Билет 5

1. Обобщенный цикл Карно. Процессы с регенерацией теплоты.
2. Уравнение 1-го начала термодинамики для потока

Билет 6

1. Условия равновесия внешне изолированной системы, состоящей из двух подсистем (с возможностью фазового перехода между подсистемами и без него). Фазовые переходы 1 го рода. Правило фаз Гиббса.
2. Магнетогидродинамический генератор (МГД-генератор) и ядерная энергетическая установка.

Билет 7

1. Политропические процессы Основные термодинамические процессы (частные случаи политропических процессов).
2. Скорость звука. Скорость звука в двухфазных системах (при больших и малых X)

Билет 8

1. Термодинамические потенциалы. Якобианы.
2. Адиабатический процесс истечения газов. Сопло Лаваля.

Билет 9

1. Двухфазная система (Влажный пар). Теплоемкость сухого (насыщенного) пара и жидкости на линии насыщения.
2. Тепловой насос. Термотрансформаторы.

Билет 10

1. Кривые фазового равновесия на (P,T) и (P,V) – диаграммах. Метастабильные состояния.
2. Циклы ДВС: Цикл Отто. Цикл Дизеля. Сравнение этих циклов.

Билет 11

1. Обратимая тепловая машина с холодильником и нагревателем конечной теплоемкости. Эксергия.
2. Дросселирование газов и паров.

Билет 12

1. Изобарная теплоемкость влажного пара и теплоемкость при постоянной степени сухости. Основные процессы с влажным паром (изохора и адиабата).
2. Термоэлектрическая холодильная установка Основные типы установок прямого (безмашинного) преобразования тепла в электроэнергию.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p style="text-align: center;">МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p style="text-align: center;"><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p style="text-align: center;">Физический факультет</p>

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____

1.
2.
3.

Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/
(подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Термодинамические процессы»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного