

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ДВ.02.02.03 ТЕПЛОФИЗИКА

Техническая термодинамика

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

03.03.02.33 Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения

очная

Год набора

2023

Красноярск 2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили _____

д-р физ.-мат.наук, профессор, Флеров И.Н.

должность, инициалы, фамилия

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины

Цель дисциплины – создать у студентов ясное представление о закономерностях превращения энергии и законах теплового равновесия, об основных термодинамических процессах и циклах и о разнообразии рабочих тел.

1.2 Задачи изучения дисциплины

Задача изучения дисциплины – подготовить будущих специалистов к самостоятельной деятельности в области анализа термодинамических процессов, теплосиловых и холодильных циклов рамках диаграмм состояния, а также расчета рабочих тел в виде газовых смесей.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-1: Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, информационные ресурсы в своей предметной области физики и техники	
ПК-1.1: Понимает цели и задачи проводимых физических исследований и технических разработок	Знать: основные законы термодинамики, диаграммы и уравнения состояния. Знать: диф-ференциальные уравнения термодинамики. Знать: закономерности изменения термодинамических свойств рабочих тел в зависимости от процессов, включая фазовые превращения. рассчитывать термодинамические процессы, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики и уравнения состояния идеальных и реальных газов и жидкостей. рассчитывать термодинамические циклы, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики и уравнения состояния идеальных и реальных газов и жидкостей. рассчитывать термодинамические параметры рабочих тел, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики и уравнения состояния идеальных и реальных газов и жидкостей. Иметь навыки: аналитического исследования теплофизических параметров хладагентов и рабочих тел Иметь навыки: аналитического исследования теплофизических параметров хладагентов и рабочих

	<p>тел в экстремальных условиях, определяемых наличием фазовых превращений Иметь навыки: аналитического исследования теплофизических свойств материалов хладагентов и рабочих тел</p>
<p>ПК-1.2: Собирает, обрабатывает, анализирует и обобщает передовой отечественный и международный опыт в соответствующей области физических и технических исследований</p>	<p>Знать: основные законы термодинамики, диаграммы и уравнения состояния. Знать: диф-ференциальные уравнения термодинамики. Знать: , закономерности изменения термодинамических свойств рабочих тел в зависимости от процессов, включая фазовые превращения. рассчитывать термодинамические процессы, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики и уравнения состояния идеальных и реальных газов и жидкостей. рассчитывать термодинамические циклы, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики и уравнения состояния идеальных и реальных газов и жидкостей. рассчитывать термодинамические параметры рабочих тел, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики и уравнения состояния идеальных и реальных газов и жидкостей. Иметь навыки: аналитического исследования теплофизических параметров хладагентов и рабочих тел Иметь навыки: аналитического исследования теплофизических параметров хладагентов и рабочих тел в экстремальных условиях, определяемых наличием фазовых превращений Иметь навыки: аналитического исследования теплофизических свойств материалов хладагентов и рабочих тел</p>

<p>ПК-1.3: Использует методы анализа научно-технической информации</p>	<p>Знать: определения и единицы изменения термодинамических величин. Знать: правила использования термодинамических величин для расчетов характеристик термодинамических процессов. Знать: методы экспериментального и расчетного определения параметров состояний вещества. Уметь: пользоваться данными о параметрах состояния вещества в целях расчета ее термодинамических параметров и характеристик термодинамических процессов, обработки результатов измерения параметров теплофизических процессов. Уметь рассчитывать термодинамические параметры</p>
	<p>и характеристики термодинамических процессов. Уметь обрабатывать результаты измерения параметров теплофизических процессов. Владеть: навыками пользования диаграммами состояния вещества в табличной, графической и программной форме. Владеть: навыками использования термодинамических законов и тождеств для определения термодинамических параметров. Владеть: навыками использования термодинамических законов и тождеств для определения характеристик термодинамических процессов.</p>

1.4 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. час)	е
		1
Контактная работа с преподавателем:	2 (72)	
занятия лекционного типа	1 (36)	
практические занятия	1 (36)	
Самостоятельная работа обучающихся:	1 (36)	
курсовое проектирование (КП)	Нет	
курсовая работа (КР)	Нет	

3 Содержание дисциплины (модуля)

3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

		Контактная работа, ак. час.							
№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
				Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
		Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС
1. Модуль 1.									
2. ТЕМА 1. ТЕРМОДИНАМИКА И ЕЕ МЕТОД									
	1. Лекция 1. Основные представления термодинамики. Параметры состояния, термодинамические процессы. Идеальный газ, законы идеального газа, уравнения состояния. Понятие о рабочих смесях, смеси идеальных газов. Термодинамические свойства газовых смесей. Расчет истинных и средних теплоемкостей.	2							
	2. Занятие 1. Взаимосвязь термических и калорических свойств идеальных газов. Законы идеальных газов. Расчет объемных и массовых долей, парциальных давлений компонентов газовой смеси. Молекулярная масса смеси и газовые постоянные компонентов и смеси. Теплоемкость компонентов и смеси. Расчет изменения энтропии в результате перемешивания газов			2					
3. ТЕМА 2. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ									

1. Лекция 2. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Уравнение первого закона термодинамики. Энтальпия. Формула Майера.	2							
2. Лекция 3. Теплота и работа. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Работа проталкивания. Техническая работа.	2							
3. Занятие 2. Соотношения между теплотой и работой, внутренней энергией и внешней работой. Уравнение первого закона термодинамики. Расчет изменения параметров потока рабочего тела и работы проталкивания			2					
4. Занятие 2. Соотношения между теплотой и работой, внутренней энергией и внешней работой. Уравнение первого закона термодинамики. Расчет изменения параметров потока рабочего тела и работы проталкивания							1	
5. Занятие 3. Расчет изменения энтальпии. Формула Майера. Уравнение первого закона термодинамики для потока.			2					
6. Занятие 3. Расчет изменения энтальпии. Формула Майера. Уравнение первого закона термодинамики для потока.							1	
7. Занятие 4. Расчет изменения параметров потока рабочего тела и работы проталкивания.			2					
8. Занятие 4. Расчет изменения параметров потока рабочего тела и работы проталкивания.							1	
4. ТЕМА 3. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ								

1. Лекция 4. Круговые процессы или циклы. Понятие о термическом КПД. Источники тепла. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики.	2							
2. Лекция 4. Круговые процессы или циклы. Понятие о термическом КПД. Источники тепла. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики.							1	
3. Лекция 5. Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно. Термический КПД. Энтропия и ее изменение в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Обратимость и производство работы. Регенеративный цикл.	2							
4. Лекция 5. Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно. Термический КПД. Энтропия и ее изменение в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Обратимость и производство работы. Регенеративный цикл.							0,5	
5. Занятие 5. Расчет количества тепла, подведенного (отведенного) к рабочему телу. Определение КПД цикла.			2					
6. Расчет количества тепла, подведенного (отведенного) к рабочему телу. Определение КПД цикла.							1	
7. Занятие 6. Необратимость реальных процессов и рост энтропии. Расчет параметров цикла Карно. Сравнение КПД обратимого и необратимого циклов. Расчет изменения энтропии в процессе.			2					

8. Занятие 6. Необратимость реальных процессов и рост энтропии. Расчет параметров цикла Карно. Сравнение КПД обратимого и необратимого циклов. Расчет изменения энтропии в процессе.								0,5	
5. Модуль 2. Математика в термодинамике									
6. ТЕМА 4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ									
1. Лекция 6. Интенсивные и экстенсивные свойства. Основные математические методы. Уравнения Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Связь калорических и термических свойств. Теплоемкость массовая, объемная, мольная. Зависимость теплоемкости от процесса.	2								
2. Занятие 7. Вывод дифференциальных уравнений для термодинамических функций состояния. Использование дифференциальных уравнений термодинамики для установления связей между интенсивными и экстенсивными термодинамическими свойствами.			2						
3. Занятие 8. Уравнения Максвелла. Расчет термических и калорических свойств веществ.			2						
7. Модуль 3. Теплосиловые процессы и циклы									
8. ТЕМА 5. ОСНОВНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ									
1. Лекция 7. Изохорный процесс. Степень сухости пара. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропный процесс. Универсальность уравнения политропного процесса. Теплота, работа, энтропия и теплоемкость в изопроцессах. Процессы смешения.	2								

2. Лекция 7. Изохорный процесс. Степень сухости пара. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропный процесс. Универсальность уравнения политропного процесса. Теплота, работа, энтропия и теплоемкость в изопроцессах. Процессы смешения.							1	
3. Лекция 8. Местное сопротивление. Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Дифференциальный и интегральный эффекты дросселирования. Адиабатное расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля).	2							
4. Лекция 8. Местное сопротивление. Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Дифференциальный и интегральный эффекты дросселирования. Адиабатное расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля).							1	
5. Лекция 9. Типы компрессоров. Теоретический процесс сжатия газа в компрессоре. Индикаторная диаграмма. Техническая работа. Три варианта процесса сжатия. Многоступенчатый компрессор. Реальная индикаторная диаграмма.	2							
6. Лекция 9. Типы компрессоров. Теоретический процесс сжатия газа в компрессоре. Индикаторная диаграмма. Техническая работа. Три варианта процесса сжатия. Многоступенчатый компрессор. Реальная индикаторная диаграмма.							1	
7. Занятия 9. Расчеты параметров изохорного процесса.			2					
8. Занятия 9. Расчеты параметров изохорного процесса.							1	
9. Занятие 10. Расчеты параметров изобарного процесса.			2					
10. Занятие 10. Расчеты параметров изобарного процесса.							1	

11. Занятие 11. Расчеты параметров изотермического процесса.			2					
12. Занятие 11. Расчеты параметров изотермического процесса.							1	
13. Занятие 12. Расчеты параметров адиабатного (иоэнтропного) процесса.			2					
14. Занятие 12. Расчеты параметров адиабатного (иоэнтропного) процесса.							1	
15. Занятие 13. Расчеты параметров политропного процесса.			2					
16. Занятие 13. Расчеты параметров политропного процесса.							1	
9. ТЕМА 6. ПРОЦЕССЫ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ								
1. Лекция 10. Основные уравнения процессов течения. Диаграмма энтальпия-энтропия. Работа проталкивания. Скорость распространения малых возмущений. Влияние граничных условий на скорость звука. Уравнение Лапласа.	2							
2. Лекция 11. Истечение из суживающихся сопел. Основные параметры потока. Диаграмма расход – давление. Гипотеза Сен-Венана. Переход через скорость звука. Сопло Лавалья. Адиабатное течение с трением. Общие закономерности процессов течения. Температура адиабатного торможения.								
3. Занятие 14. Работа проталкивания в процессе дросселирования. Адиабатный и изоэнтальпийный коэффициенты расширения. Расчет скорости звука.			2					
10. ТЕМА 7. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК								

1. Лекция 12. Методы анализа эффективности циклов. Коэффициенты полезного действия (КПД). Методы анализа термических КПД обратимых и необратимых циклов. КПД установки. Энтропийный и эксергетический методы расчета потерь работоспособности. Уравнение Гюи-Стодолы. Эксергия. Эксергетический КПД.	2							
2. Занятие 15. Расчет КПД: термического, внутреннего, относительного. Метод сравнения КПД обратимых циклов. Эффективный абсолютный КПД.			2					
3. Расчет КПД: термического, внутреннего, относительного. Метод сравнения КПД обратимых циклов. Эффективный абсолютный КПД.							1	
4. Занятие 16. Расчет потери работоспособности. Расчет удельной работоспособности (эксергии) потока.			2					
5. Занятие 16. Расчет потери работоспособности. Расчет удельной работоспособности (эксергии) потока.							1	
11. ТЕМА 8. ТЕПЛОСИЛОВЫЕ ГАЗОВЫЕ И ПАРОВЫЕ ЦИКЛЫ								
1. Лекция 13. Принцип работы и преимущества двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Циклы Отто, Дизеля, Тринклера. Индикаторные диаграммы и диаграммы состояния. Сравнительный анализ КПД ДВС. Цикл реактивных двигателей. Сила тяги. Виды реактивных двигателей. Жидкостный реактивный двигатель. Диаграмма давление – удельный объем.	4							
2. Лекция 14. Теплосиловые паровые циклы. Цикл Карно. Принцип реализации цикла на влажном паре. Диаграммы $p - v$ и $T - s$. Учет необратимых потерь. Цикл Ренкина. Регенеративный цикл. Бинарные циклы.	2							

3. Занятие 17. Расчет циклов Отто, Дизеля, Тринклера. Определение степени сжатия, степени предварительного расширения, степени повышения давления.			2					
4. Занятие 17. Расчет циклов Отто, Дизеля, Тринклера. Определение степени сжатия, степени предварительного расширения, степени повышения давления.							1	
5. Занятие 18. Расчет цикла жидкостного ракетного двигателя.			2					
6. Занятие 18. Расчет цикла жидкостного ракетного двигателя.							1	
12. ТЕМА 9. ТЕПЛОСИЛОВЫЕ ЦИКЛЫ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ								
1. Лекция 15. Эффект Зеебека. Термоэлектрический коэффициент. Коэффициент Пельтье. Термоэлектрический цикл. Анализ процессов в термоэлектродвигателе. Влияние различных факторов на КПД термоэлектрической установки. Преимущества термоэлектрического цикла.	2							
2. Лекция 16. Магнитогидродинамический генератор (МГД). Принципиальная схема. Цикл установки с МГД. Рабочие тела. Анализ процессов в схеме открытого цикла. КПД установки МГД.	2							
13. Модуль 4.								
14.								

1. Лекция 17. Обратные термодинамические циклы. Холодильный коэффициент. Холодопроизводительность. Холодильный цикл Карно (ХЦК). Цикл воздушной холодильной установки (ВХУ). Диаграммы $p - v$ и $T - s$. Сравнительный анализ эффективности ВХУ и ХЦК. Цикл термоэлектрической холодильной установки. Принцип работы теплового насоса. Отопительный коэффициент.	2							
2. Лекция 18. Ожижение газов. Метод Пикте – комбинация пароконденсационных циклов. Цикл с однократным дросселированием (метод Линде). Регенеративный теплообмен. Цикл с дросселированием и детандером (цикл Клода). Коэффициенты адиабатного и изохорного дросселирования.	2							
3. Модуль 1-4							18	
Всего	36		36				36	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Флеров И. Н., Горев М. В. Техническая термодинамика. Расчет газовых смесей, теплоемкостей и теплосилового газового цикла: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов напр. подготовки дипломированных спец. 651100 и напр. подготовки бакалавров 550000(Красноярск: ИПЦ КГТУ).
2. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика: учеб. для студентов вузов по направлению подгот. 140100 "Теплоэнергетика"(Москва: МЭИ).
3. Кудинов В. А., Карташов Э. М. Техническая термодинамика: учебное пособие для втузов(Москва: Высшая школа).
4. Андрианова Т. Н., Дзампов Б. В., Зубарев В. Н., Ремизов С. А. Сборник задач по технической термодинамике: учеб. пособие для студентов теплоэнергетических спец. вузов(Москва: Энергоиздат).
5. Мухачев Г. А., Щукин В. К. Термодинамика и теплопередача: учебник для авиац. спец. вузов(Москва: Высшая школа).
6. Флеров И. Н., Горев М. В. Теория теплофизических свойств веществ. Электро-, магнето- и барокалорический эффекты: методические указания по выполнению практических работ для студентов напр. подготовки дипломированных спец. 651100(Красноярск: ИПЦ КГТУ).

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Офисный пакет (MS Office, Libre Office, Open Office)

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Сайт библиотеки СФУ. Режим доступа: <http://bik.sfu-kras.ru/>
2. Электронный каталог библиотеки СФУ. Режим доступа: <http://catalog.sfu-kras.ru/>
3. Google Scholar. Режим доступа: <http://scholar.google.com>
4. Электронные базы научных статей по выбору студента.

5 Фонд оценочных средств

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Методика проведения занятий допускает как использование технических средств (проекторы, интерактивные доски), так и классические аудиторные занятия, обеспечиваемые стандартными материально-техническими средствами.

1. Лекционные аудитории должны быть оборудованы современным видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, и иметь выход в Интернет, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами.

2. Помещения для проведения семинарских занятий должны иметь мультимедийное оборудование, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами, учебную мебель трансформенного типа.

3. Библиотека должна иметь рабочие места для студентов, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных, локальную сеть университета и Интернет.

4. Наглядные пособия:

а) демонстрационные пособия (таблицы, схемы, графики, диаграммы, видеофрагменты);

б) пособия на основе раздаточного материала (карточки с заданиями и задачами, ксерокопии фрагментов первоисточников);

в) электронные презентации.