Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.06.2026 12:15:30
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«26» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕРМОДИНАМИКА

Направление подготовки/ специальность
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Поршневые двигатели и турбомашины

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):
Ст. преподаватель  /В.Н. Богданов/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н.  /Г.Г. Надарейшвили/

Оглавление

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 5
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 6
3.2. Тематический план изучения дисциплины 6
3.3. Содержание дисциплины 8
3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 9
3.4.1 Семинарские/практические занятия 9
3.4.2 Лабораторные занятия 10
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 11
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 11
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 11
4.2. Основная литература 11
4.3. Дополнительная литература 11
4.4. Электронные образовательные ресурсы 12
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 12
5. Материально-техническое обеспечение 13
6. Методические рекомендации 13
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 13
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 14
7. Фонд оценочных средств 15
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 15
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 17
7.3 Оценочные средства 21

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся фундаментальных теоретических знаний в области термодинамики, понимания законов превращения энергии и методов анализа термодинамических процессов, необходимых для изучения рабочих процессов, расчёта энергетической эффективности и оптимизации поршневых двигателей и турбомашин на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

Задачами дисциплины являются:

- изучение основных понятий и законов термодинамики, включая параметры состояния, уравнения состояния идеальных и реальных газов, законы термодинамики;
- освоение методов анализа термодинамических процессов и циклов тепловых машин, включая циклы Карно, Отто, Дизеля, Тринклера, Брайтона и Ренкина;
- формирование навыков расчёта энергетических характеристик рабочих тел, включая внутреннюю энергию, энтальпию, энтропию, теплоёмкость и газовые постоянные;
- изучение термодинамических основ процессов истечения газов и паров, дросселирования и сжатия в компрессорах;
- приобретение навыков анализа эффективности термодинамических циклов, включая расчёт термического КПД и эксергетический анализ;
- формирование понимания процессов тепло- и массообмена в элементах энергетических установок как основы для последующего изучения специальных дисциплин;
- изучение свойств рабочих тел (воздуха, продуктов сгорания, водяного пара, хладагентов) и методов работы с термодинамическими таблицами и диаграммами.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	**ИОПК-3.1.** Умеет применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач **ИОПК-3.2.** Умеет применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Формирующая. Дисциплина обеспечивает применение термодинамического аппарата для анализа рабочих циклов тепловых машин, расчёта параметров состояния рабочего тела, работы, теплоты, изменения внутренней энергии, энтальпии, энтропии, а также термического КПД циклов. В ходе практических занятий, лабораторных работ и выполнения индивидуального задания студенты осваивают физико-математический аппарат термодинамики, методы анализа термодинамических процессов и циклов, что формирует умение применять соответствующий аппарат и методы анализа при решении профессиональных задач (ИОПК-3.1, ИОПК-3.2).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Термодинамика»** относится к **обязательной части блока Б.1** учебного плана (код дисциплины: Б1.1.17) и изучается в **3-м семестре**.

Данная дисциплина закладывает **фундаментальную термодинамическую базу** для третьего этапа сквозного проекта «**Расчётное обоснование, верификация и оптимизация**», обеспечивая понимание законов превращения энергии, необходимых для анализа рабочих процессов и расчёта энергетической эффективности поршневых двигателей и турбомашин.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении следующих дисциплин и курсов:

- **Физика** (школьный курс, а также дисциплина «Физика» (Б1.1.26.3, 2-3 семестры): знание основ молекулярно-кинетической теории, законов идеальных газов, первого и второго начал термодинамики является основой для углублённого изучения термодинамики.
- **Математика** (школьный курс, а также дисциплины «Линейная алгебра» (Б1.1.26.1, 1 семестр) и «Математический анализ» (Б1.1.26.2, 2 семестр): владение дифференциальным и интегральным исчислением необходимо для вывода и анализа термодинамических соотношений.
- **Химия** (школьный курс, а также дисциплина «Органическая химия» (Б1.1.10, 1 семестр): знание основ химических превращений необходимо для понимания процессов горения топлива.
- **Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.1.11, 1 семестр): знание принципов работы двигателей позволяет понимать, к каким объектам будут применяться термодинамические методы анализа.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при изучении следующих дисциплин и освоении элементов образовательной программы, обеспечивая последующие этапы сквозного проекта:

- **Топлива и смазочные материалы энергетических установок** (Б1.1.18, 3-4 семестры): изучаются термодинамические характеристики процессов сгорания различных топлив (III этап).
- **Теория рабочих процессов поршневых двигателей** (Б1.1.20, 4 семестр): непосредственно базируется на термодинамическом анализе рабочих циклов (III этап).
- **Вычислительная гидрогазодинамика в проектировании и верификации двигателей** (Б1.1.19, 4-5 семестры): использует термодинамические соотношения как часть математических моделей течения и теплопередачи (III этап).
- **Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении** (Б1.2.6, 5 семестр): расширяет знания термодинамики в область теплопередачи и расчёта теплообменников (III этап).
- **Агрегаты наддува** (Б1.2.7, 6 семестр): термодинамические процессы сжатия и расширения в компрессорах и турбинах являются основой для их расчёта (III этап).
- **Расчет и оптимизация деталей двигателя** (Б1.2.9, 6 семестр): термодинамические параметры рабочего тела используются как граничные условия для теплового анализа (III этап).
- **Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.14, 7 семестр): термодинамические методы используются для обработки и интерпретации результатов испытаний (IV этап).
- Все последующие дисциплины, связанные с расчётом, конструированием и испытаниями двигателей, а также подготовка и защита выпускной квалификационной работы.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3 зачетные единицы (108 часов)**.

3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			3
1	Аудиторные занятия	54	54
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	18	18
1.3	Лабораторные занятия	18	18
2	Самостоятельная работа	54	54
3	Промежуточная аттестация		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Экзамен	Экзамен
	Итого	**108**	**108**

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
Семестр 3	**Термодинамика**						
1	Тема 1. Основные понятия и законы термодинамики	12	6	2	2	2	6
2	Тема 2. Первый	14	8	2	2	4	6

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	закон термодинамики и его применение						
3	Тема 3. Термодинамические процессы идеальных газов	16	8	2	2	4	8
4	Тема 4. Второй закон термодинамики и его анализ	12	6	2	2	2	6
5	Тема 5. Термодинамические циклы тепловых машин	16	8	2	2	4	8
6	Тема 6. Реальные газы и водяной пар. Влажный воздух	14	6	2	2	2	8
7	Тема 7. Термодинамика потоков: истечение и дросселирование	12	6	2	2	2	6
8	Тема 8. Основы теплообмен	12	6	2	2	2	6

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	а (краткий обзор)						
	Итого за 1 семестр	**108**	**54**	**18**	**18**	**18**	**54**

3.3. Содержание дисциплины

Семестр 3. Термодинамика

Тема 1. Основные понятия и законы термодинамики

Предмет термодинамики и её роль в изучении энергетических установок. Термодинамическая система и окружающая среда. Понятия: рабочее тело, источник теплоты, холодильник. Параметры состояния: давление, температура, удельный объём, плотность. Уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость: массовая, объёмная, мольная. Зависимость теплоёмкости от температуры. Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Парциальное давление. Закон Дальтона. Газовая постоянная смеси. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые процессы. Применимость понятий к рабочим процессам двигателей.

Тема 2. Первый закон термодинамики и его применение

Внутренняя энергия как функция состояния. Работа расширения. Графическое изображение работы в p-v-диаграмме. Первый закон термодинамики для закрытых систем. Энтальпия. Первый закон термодинамики для открытых систем. Техническая работа. Применение первого закона к анализу работы компрессора, турбины. Теплоёмкость в политропных процессах. Связь теплоёмкостей Ср и Cv. Уравнение Майера. Применение первого закона к расчёту энергетических характеристик двигателя.

Тема 3. Термодинамические процессы идеальных газов

Методика исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс: уравнение, p-v- и T-s-диаграммы, соотношения параметров, работа, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, теплота. Изобарный процесс: уравнение, диаграммы, соотношения, энергетические характеристики. Изотермический процесс: уравнение, диаграммы, соотношения, энергетические характеристики. Адиабатный процесс: уравнение Пуассона, диаграммы, соотношения, работа. Политропный процесс: обобщающее уравнение, показатель политропы, соотношения параметров, теплоёмкость, работа. Изображение политропных процессов в p-v- и T-s-диаграммах. Анализ процессов сжатия и расширения в двигателях внутреннего сгорания и компрессорах.

Тема 4. Второй закон термодинамики и его анализ

Сущность второго закона термодинамики. Обратимый круговой процесс. Цикл Карно и его роль в термодинамике. Термический КПД цикла Карно. Теорема Карно. Обобщённый (регенеративный) цикл Карно. Интеграл Клаузиуса для обратимых и необратимых циклов. Энтропия как функция состояния. Изменение энтропии в различных процессах. T-s-диаграмма и её свойства. Эксергия: понятие работоспособности. Потеря работоспособности вследствие необратимости. Применение второго закона для анализа эффективности реальных циклов двигателей.

Тема 5. Термодинамические циклы тепловых машин

Прямые и обратные циклы. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто (со сгоранием при постоянном объёме). Идеальный цикл двигателя с искровым зажиганием. Цикл Дизеля (со сгоранием при постоянном давлении). Идеальный цикл двигателя с

воспламенением от сжатия. Цикл Тринклера (со смешанным подводом теплоты). Анализ влияния степени сжатия, степени повышения давления и степени предварительного расширения на термический КПД. Сравнение циклов. Изображение циклов в p-v- и T-s-координатах. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона). Способы повышения эффективности ГТУ: регенерация, промежуточное охлаждение, промежуточный подвод теплоты. Циклы паротурбинных установок (ПТУ). Цикл Ренкина. Влияние параметров пара на КПД цикла. Регенеративный цикл ПТУ. Комбинированные парогазовые установки (ПГУ). Применение термодинамических циклов для анализа эффективности реальных двигателей и установок.

Тема 6. Реальные газы и водяной пар. Влажный воздух

Отличие реальных газов от идеальных. Уравнение состояния реальных газов (уравнение Ван-дер-Ваальса). Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Процесс парообразования при постоянном давлении. Влажный насыщенный, сухой насыщенный и перегретый пар. Определение параметров состояния воды и водяного пара с использованием таблиц и hs-диаграммы. Основные процессы изменения состояния водяного пара. Влажный воздух. Характеристики влажного воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, энтальпия. Hd-диаграмма влажного воздуха. Процессы нагрева, охлаждения, осушения и увлажнения воздуха. Применение в системах впуска и климат-контроля.

Тема 7. Термодинамика потоков: истечение и дросселирование

Уравнения энергии для потока. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Скорость истечения. Массовый расход. Сопла и диффузоры. Критические параметры. Сопло Лаваля. Зависимость расхода от отношения давлений. Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Применение дросселирования в холодильной технике и для регулирования параметров. Применение анализа потоков для расчёта впускных и выпускных систем двигателей, течения в турбокомпрессорах.

Тема 8. Основы теплообмена (краткий обзор)

Механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенки. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Основные критерии подобия (Nu, Re, Pr, Gr). Теплообмен при фазовых переходах (кипение, конденсация). Тепловое излучение. Законы Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи. Теплообменные аппараты. Классификация. Средний температурный напор. Методы расчёта теплообменных аппаратов. Применение законов теплообмена для анализа теплового состояния деталей двигателя и расчёта радиаторов, интеркулеров, маслоохладителей.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1 Семинарские/практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1	Расчёт параметров состояния идеального газа и газовых смесей	2
2	Тема 2	Применение первого закона термодинамики к закрытым и открытым системам	2
3	Тема 3	Расчёт параметров и энергетических характеристик политропных процессов	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
4	Тема 4	Расчёт термического КПД цикла Карно. Определение изменения энтропии	2
5	Тема 5	Термодинамический расчёт цикла Отто. Анализ влияния степени сжатия	2
6	Тема 5	Термодинамический расчёт цикла Дизеля. Сравнение с циклом Отто	2
7	Тема 6	Определение параметров водяного пара с использованием таблиц и hs-диаграммы	2
8	Тема 7	Расчёт скорости истечения и расхода газа через сопло. Выбор формы сопла	2
9	Тема 8	Расчёт теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенку	2
	Итого		**18**

3.4.2 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1	Определение теплоёмкости воздуха калориметрическим методом	2
2	Тема 2	Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа	2
3	Тема 2	Исследование первого закона термодинамики на учебном стенде	2
4	Тема 3	Определение показателя политропы процесса сжатия по экспериментальным данным	2
5	Тема 3	Исследование адиабатного процесса расширения воздуха	2
6	Тема 5	Снятие индикаторной диаграммы (или анализ осциллограммы давления) на учебном двигателе	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
7	Тема 6	Исследование параметров влажного воздуха. Определение точки росы	2
8	Тема 7	Экспериментальное определение скорости истечения воздуха через сопло	2
9	Тема 8	Исследование процесса теплопередачи в теплообменном аппарате	2
	Итого		**18**

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении термодинамической части расчётов рабочих процессов в последующих курсовых проектах по дисциплинам «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» и «Конструирование и расчет механизмов энергетических установок».

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 10150– 2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия
2. ГОСТ Р 54120-2010 Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования
3. ГОСТ Р 52033-2003 Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния

4.2. Основная литература

1. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 308 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01738-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/511615

2. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты : учебник / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 199 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-06943-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/516585

4.3. Дополнительная литература

1. Баширов, Р. М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета : учебник / Р. М. Баширов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 336 с. — ISBN 978-5-8114-2741-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://reader.lanbook.com/book/96242

2. Автомобильные двигатели. Рабочие процессы, конструкция, основы расчёта и эксплуатации : учебник / Н. Г. Фаталиев, М. М. Аливагабов, А. Х. Бекеев, М. А. Арсланов. —

Махачкала : ДагГАУ имени М.М.Джамбулатова, 2018. — 316 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://reader.lanbook.com/book/113001

4.4. Электронные образовательные ресурсы

1. Курс «Термодинамика для энергетических машин»
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=8821

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для освоения дисциплины и выполнения учебных, научно-исследовательских и проектных работ в рамках образовательной программы рекомендуется использование следующего лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Microsoft Windows – лицензионная операционная система, используемая для обеспечения работы всех учебных компьютеров и персональных устройств в аудиториях университета. Доступна на всех компьютерах университета в рамках лицензионного соглашения. Студенты могут использовать свободно распространяемые альтернативы (Linux, Astra Linux) для выполнения учебных задач.

Microsoft Office – лицензионный пакет офисных приложений, включающий текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, программу для создания презентаций PowerPoint. Используется для оформления расчётно-пояснительных записок, отчётов, презентаций и другой учебной документации. Доступен на компьютерах университета. Свободными аналогами являются LibreOffice и OpenOffice.

КОМПАС-3D – российская система трёхмерного моделирования, широко используемая в отечественном машиностроении. Позволяет выполнять параметрическое моделирование, создавать чертежи в соответствии с ЕСКД, проводить прочностные расчёты в среде APM FEM. Учебная версия доступна для свободного скачивания на сайте разработчика (https://kompas.ru).

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для успешного освоения образовательной программы и выполнения научно-исследовательских, проектных и выпускных квалификационных работ студентам рекомендуется использовать следующие современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – крупнейшая российская электронная библиотека научных публикаций, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Содержит полнотекстовые статьи из научных журналов по энергетическому машиностроению, двигателестроению и смежным отраслям. Позволяет отслеживать публикационную активность и находить актуальные исследования. Доступ открыт с любого компьютера через сеть Интернет по адресу: https://elibrary.ru.

КиберЛенинка – научная электронная библиотека открытого доступа. Содержит полнотекстовые научные статьи, в том числе по техническим наукам, энергетическому машиностроению и двигателестроению. Все материалы доступны бесплатно. Адрес ресурса: https://cyberleninka.ru.

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (docs.cntd.ru**)** – бесплатная база нормативных документов, включающая ГОСТы, технические условия, строительные нормы и правила. Удобна для оперативного поиска актуальных стандартов, необходимых при проектировании и расчётах деталей и узлов двигателей. Адрес: https://docs.cntd.ru.

Росстандарт (ФГУП «Стандартинформ») – официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Содержит информацию о действующих стандартах, технических регламентах и нормативных документах. Адрес: https://www.gost.ru.

Научная библиотека Московского политехнического университета – электронный каталог библиотеки университета, содержащий информацию о фондах учебной и научной

литературы. Доступен с любого устройства, имеющего подключение к интернету. Адрес: https://lib.mospolytech.ru.

«Известия вузов. Машиностроение» – рецензируемый научный журнал открытого доступа, публикующий статьи по актуальным проблемам машиностроения, включая двигателестроение. Входит в перечень ВАК. Содержит исследования по рабочему процессу ДВС, динамике, прочности и другим направлениям. Адрес: https://izvuzmash.ru.

Объединение сетевых электронных библиотек (СЭБ) – некоммерческое партнёрство, объединяющее научную и учебную литературу вузов — участников проекта. Обеспечивает доступ к учебно-методическим материалам по техническим специальностям. Доступ осуществляется через портал ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com (авторизация по IP-адресам университета или через личный кабинет).

5. Материально-техническое обеспечение

Для успешного освоения дисциплины используется общий аудиторный фонд университета и специализированные аудитории, закреплённые за кафедрой, имеющие следующее материально-техническое обеспечение:

Наименование специальных помещений	**Оснащённость специальных помещений**
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Компьютерный класс № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Компьютеры и мебель для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-229 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Эффективность освоения дисциплины определяется качеством организации учебного процесса, выбором адекватных форм и методов обучения. Преподавателю необходимо учитывать специфику дисциплины, уровень подготовленности обучающихся и современные образовательные технологии.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- чётко представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;

- ознакомиться с видами учебной работы и содержанием разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен:

- назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы;
- во вступительной части обосновать место и роль темы, раскрыть её практическое значение, увязать с предыдущим материалом;
- в основной части раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание на ключевых категориях, явлениях и процессах, аргументированно обосновывать собственную позицию, приводить примеры, задавать риторические вопросы;
- руководить конспектированием, подчёркивая необходимость фиксации основных положений;
- в заключительной части сформулировать выводы, объявить план следующего занятия, дать рекомендации по подготовке.

При проведении практических (семинарских) занятий рекомендуется:

- обеспечивать активное участие всех студентов, использовать индивидуальные выступления, групповые дискуссии, решение практических задач, разбор кейсов;
- контролировать степень усвоения материала, поощрять самостоятельный поиск информации.

При проведении лабораторных занятий (при наличии) рекомендуется:

- ознакомить студентов с правилами техники безопасности;
- обеспечить понимание цели и задач каждой работы;
- организовать защиту работ с оценкой понимания сущности изучаемых процессов.

При организации самостоятельной работы студентов следует:

- чётко формулировать задания, указывать сроки выполнения;
- обеспечивать необходимыми учебно-методическими материалами;
- осуществлять регулярный контроль выполнения.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации рекомендуется:

- использовать разнообразные формы контроля в соответствии с фондом оценочных средств;
- обеспечить объективность оценивания, руководствуясь установленными критериями;
- своевременно доводить результаты до студентов с указанием ошибок и рекомендаций.

В целях повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется использовать:

- мультимедийные презентации для визуализации материала;
- интерактивные методы обучения (деловые игры, дискуссии, разбор кейсов);
- дистанционные образовательные технологии;
- материалы, размещённые в системе дистанционного обучения Московского Политеха (СДО-LMS).

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объёме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке необходимые издания. Доступ к информационным ресурсам организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного устройства через беспроводной доступ.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой с рекомендованными источниками и материалами лекций. Начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно.

Каждый студент должен самостоятельно планировать свою работу, исходя из возможностей и приоритетов. Для плодотворной работы важно организовать постоянное рабочее место, чередовать труд и отдых (перерывы каждые 1–2 часа).

Особое место уделяется консультированию как форме обучения и контроля. Консультирование предполагает взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на разрешение проблем.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется:

- систематически посещать лекции, вести конспект;
- готовиться к практическим занятиям заранее, изучая теорию и выполняя задания;
- при наличии лабораторных работ — выполнять их в соответствии с методическими указаниями, оформлять отчёты и готовиться к защите;
- своевременно выполнять задания для самостоятельной работы;
- активно участвовать в обсуждениях, задавать вопросы;
- использовать СДО-LMS для доступа к материалам и выполнения тестов;
- регулярно проверять свои знания с помощью вопросов для самопроверки.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации рекомендуется:

- повторить теоретический материал по соответствующим разделам;
- выполнить практические задания, аналогичные разобранным на занятиях;
- ознакомиться с критериями оценивания;
- систематизировать материал, составить краткий план ответов;
- при необходимости посетить консультацию преподавателя.

Соблюдение данных рекомендаций позволит качественно освоить учебный материал и успешно пройти все формы контроля.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (экзамена). Дисциплина «Термодинамика» является **формирующей** для компетенции **ОПК-3**, обеспечивая фундаментальные теоретические знания в области термодинамики, понимания законов превращения энергии и методов анализа термодинамических процессов, необходимых для изучения рабочих процессов, расчёта энергетической эффективности и оптимизации поршневых двигателей и турбомашин на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов:

ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Индикаторы достижения компетенции:

- **ИОПК-3.1.** Умеет применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.
- **ИОПК-3.2.** Умеет применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач.

Дисциплина «Термодинамика» закладывает фундаментальную термодинамическую базу для третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация», обеспечивая понимание законы превращения энергии, необходимых для анализа рабочих процессов и расчёта энергетической эффективности поршневых двигателей и турбомашин. В ходе изучения дисциплины студент осваивает основные понятия и законы термодинамики, методы анализа термодинамических процессов и циклов тепловых машин, включая циклы Карно, Отто, Дизеля, Тринклера, Брайтона и Ренкина, а также основы теплообмена.

В процессе изучения дисциплины используются следующие методы контроля.

Текущее (рубежное) тестирование по модулям

Проводится после завершения изучения каждого из двух модулей дисциплины. Тестирование осуществляется в письменной или компьютерной форме и включает вопросы закрытого и открытого типа, а также расчётные задачи, направленные на проверку знаний основных понятий и законов термодинамики, методов анализа термодинамических процессов и циклов, умения рассчитывать параметры состояния, работу, теплоту, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, а также термический КПД циклов. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля и определения готовности студента к дальнейшему обучению. Проверяемые индикаторы: ИОПК-3.1, ИОПК-3.2 (умение применять физико-математический аппарат и методы анализа).

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать законы термодинамики, методы анализа процессов и циклов, объяснять физический смысл термодинамических величин. Устный опрос может быть как индивидуальным, так и фронтальным, и направлен на выявление глубины усвоения материала, умения применять полученные знания для решения профессиональных задач. В рамках сквозного проекта устный опрос позволяет оценить способность студента анализировать термодинамические циклы двигателей. Проверяемые индикаторы: ИОПК-3.1, ИОПК-3.2.

Практические занятия

В ходе выполнения практических заданий (расчёт параметров состояния идеального газа и газовых смесей, применение первого закона термодинамики, расчёт политропных процессов, термодинамический расчёт циклов Отто, Дизеля, определение параметров водяного пара, расчёт истечения и дросселирования, расчёт теплопередачи) оценивается способность студента применять теоретические знания для решения конкретных профессиональных задач. Результаты выполнения практических заданий фиксируются в виде отчётов, которые защищаются студентом в устной форме. Практические занятия ориентированы на формирование навыков термодинамического расчёта, необходимых для последующего анализа рабочих процессов двигателей. Проверяемые индикаторы: ИОПК-3.1, ИОПК-3.2.

Лабораторные занятия

В ходе выполнения лабораторных работ студент работает с лабораторными установками, проводит эксперименты по определению теплоёмкости воздуха, проверке уравнения состояния идеального газа, исследованию первого закона термодинамики, определению показателя политропы, исследованию адиабатного процесса, снятию индикаторной диаграммы, определению параметров влажного воздуха, исследованию истечения и дросселирования, изучению теплопередачи. Оценивается умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, оценивать погрешности. Лабораторные работы выполняются в соответствии с методическими указаниями и защищаются студентом путём ответов на контрольные вопросы. Проверяемые индикаторы: ИОПК-3.1, ИОПК-3.2.

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с термодинамическим расчётом рабочего цикла проектируемого двигателя. Содержание индивидуального задания включает выбор и обоснование расчётного цикла (Отто, Дизеля, Тринклера), расчёт параметров рабочего тела, определение параметров состояния в характерных точках цикла, расчёт термического КПД, построение цикла в p-v и T-s координатах, анализ влияния степени сжатия и других параметров на КПД цикла. Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объёмом 10–15 страниц с графическими построениями. Защита индивидуального задания проводится в форме презентации результатов перед преподавателем. Индивидуальное задание в рамках

сквозного проекта позволяет комплексно оценить сформированность индикаторов ИОПК-3.1 и ИОПК-3.2.

Экзамен

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена по завершении изучения дисциплины. Экзамен позволяет комплексно оценить знания, умения и навыки студента по всем разделам дисциплины. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса (по основным разделам термодинамики) и одно практическое задание (расчётная задача). Результаты экзамена определяют итоговую оценку по дисциплине и отражают степень сформированности знаний, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». Проверяемые индикаторы: ИОПК-3.1, ИОПК-3.2.

Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта

Дисциплина «Термодинамика» формирует фундаментальные знания, необходимые для выполнения третьего этапа сквозного проекта — «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». В рамках этого этапа студент должен выполнить термодинамический расчёт рабочего цикла проектируемого двигателя, определить его энергетические показатели, проанализировать влияние конструктивных параметров на эффективность цикла. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе защиты индивидуального задания и отчёта по третьему этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенции ОПК-3 по дисциплине учитывается при подведении итогов выполнения сквозного проекта в целом, так как термодинамический анализ является основой для последующих расчётов рабочих процессов и энергетической эффективности двигателя.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 Критерии оценки текущего (рубежного) тестирования по модулям

Текущее (рубежное) тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно более 75% заданий теста (набрано более 15 баллов). Студент, получивший «зачтено», демонстрирует достаточное знание теоретического материала модуля, владеет основными понятиями и законами термодинамики, умеет рассчитывать параметры состояния, работу, теплоту, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, анализировать термодинамические процессы и циклы. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ИОПК-3.1 и ИОПК-3.2 в части теоретических основ термодинамики.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно менее 75% заданий теста (набрано 15 баллов и менее). Студент, получивший «не зачтено», не владеет основным материалом модуля, допускает грубые ошибки в определении термодинамических параметров, не может рассчитать работу и теплоту в процессах, не понимает физический смысл законов термодинамики. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

7.2.2 Критерии оценки итогового тестирования по курсу

Итоговое тестирование проводится после завершения изучения всех модулей. Тест состоит из 30 заданий, охватывающих весь материал дисциплины. Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов — 30.

Оценка «отлично» выставляется студенту, набравшему от 29 до 30 баллов (97–100% правильных ответов). Студент демонстрирует системные теоретические знания по всем разделам дисциплины, уверенно рассчитывает параметры термодинамических процессов и циклов, анализирует влияние параметров на эффективность циклов, владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов ИОПК-3.1 и ИОПК-3.2 оценивается на продвинутом уровне, что позволяет студенту успешно выполнить раздел сквозного проекта, связанный с термодинамическим расчётом.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, набравшему от 24 до 28 баллов (80–97% правильных ответов). Студент в целом демонстрирует системные теоретические знания, владеет большинством терминов, но допускает отдельные неточности в сложных расчётах, связанных с циклами тепловых машин или процессами реальных газов. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне, достаточном для выполнения сквозного проекта.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, набравшему от 18 до 23 баллов (60–80% правильных ответов). Студент демонстрирует знание основного материала, но допускает ошибки в деталях, испытывает затруднения при расчёте сложных циклов, не в полной мере владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне, что требует дополнительной работы для успешного выполнения сквозного проекта.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, набравшему от 0 до 17 баллов (менее 60% правильных ответов). Студент не демонстрирует системных знаний, не владеет основными понятиями, не может рассчитать параметры термодинамических процессов, допускает грубые ошибки. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение раздела сквозного проекта по термодинамическому расчёту без дополнительной подготовки.

7.2.3 Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе и логически стройно его излагает. Студент демонстрирует полное знание основных понятий и законы термодинамики, методов анализа термодинамических процессов и циклов тепловых машин, основ теплообмена. Уверенно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. В контексте сквозного проекта такой уровень подготовки позволяет студенту самостоятельно выполнять термодинамический расчёт рабочего цикла двигателя.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и методами, умеет рассчитывать параметры процессов и циклов, но может испытывать затруднения при ответе на уточняющие вопросы или при объяснении сложных разделов (циклы ГТУ, эксергетический анализ). В целом демонстрирует хорошее владение профессиональной терминологией.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей. Студент допускает неточности и ошибки в изложении, испытывает затруднения при расчёте параметров в сложных процессах, обладает фрагментарными знаниями. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, требуют наводящих вопросов. Профессиональная терминология используется недостаточно уверенно.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может рассчитать параметры термодинамических процессов. Отсутствует понимание законов термодинамики. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Студент не готов к выполнению раздела сквозного проекта по термодинамическому расчёту.

7.2.4 Критерии оценки практических занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил практическое задание правильно, в установленные сроки. Студент продемонстрировал понимание методики решения задачи, способность применять теоретические знания для расчёта параметров состояния, работы, теплоты, КПД циклов. При защите студент аргументирует полученные результаты, отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует владение профессиональной терминологией. В рамках сквозного проекта успешное выполнение практических заданий позволяет студенту овладеть методами термодинамического расчёта, необходимыми для анализа рабочих циклов двигателей.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. Студент не понимает методику решения, не может объяснить полученные результаты, не отвечает на вопросы по

существу задания, не владеет профессиональной терминологией. Студент обязан выполнить практическое задание повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.5 Критерии оценки лабораторных работ

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил лабораторную работу в полном объёме, в установленные сроки. Студент продемонстрировал умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, оценивать погрешности. При защите работы студент показывает понимание цели и методики проведения работы, уверенно отвечает на контрольные вопросы, правильно интерпретирует полученные результаты. Отчёт оформлен в соответствии с требованиями. Успешное выполнение лабораторных работ позволяет студенту получить практический опыт экспериментального исследования термодинамических процессов, необходимый для верификации расчётных моделей в рамках сквозного проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил лабораторную работу, выполнил её не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. При защите студент не понимает цели и методики работы, не может ответить на контрольные вопросы, допускает грубые ошибки в интерпретации результатов. Отсутствует отчёт или он оформлен с грубыми нарушениями требований. Студент обязан выполнить лабораторную работу повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.6 Критерии оценки индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Оценка «отлично» выставляется студенту, который полностью выполнил индивидуальное задание в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует глубокое понимание термодинамических циклов, самостоятельно выбирает и обосновывает расчётный цикл, корректно рассчитывает параметры состояния в характерных точках, определяет работу, теплоту, термический КПД, строит цикл в p-v и T-s координатах, проводит анализ влияния степени сжатия на КПД. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, графики выполнены качественно. При защите студент свободно владеет материалом, аргументированно отвечает на вопросы, демонстрирует понимание физического смысла полученных результатов. Сформированность индикаторов ИОПК-3.1 и ИОПК-3.2 оценивается на продвинутом уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в полном объёме, но допускает отдельные неточности в расчётах или незначительные ошибки в построении графиков. Студент демонстрирует понимание методов термодинамического анализа, но может испытывать затруднения при обосновании выбора расчётного цикла или при анализе влияния параметров. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, но содержит незначительные замечания. При защите студент в целом отвечает на вопросы, но может допускать неточности. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание, но допустил существенные ошибки в расчётах или не полностью выполнил требуемые разделы. Студент демонстрирует фрагментарные знания термодинамических циклов, испытывает значительные затруднения при расчёте параметров. Пояснительная записка оформлена с нарушениями требований. При защите студент отвечает на вопросы неуверенно, требует наводящих вопросов. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не выполнил индивидуальное задание, выполнил его не в полном объёме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания термодинамических циклов, не может рассчитать параметры. Пояснительная записка отсутствует или оформлена с грубыми нарушениями. При защите студент не отвечает на вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня. Студент обязан выполнить индивидуальное задание повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.7 Критерии оценки ответа на экзамене

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил программный материал по всем разделам, исчерпывающе и логически стройно излагает ответы на

теоретические вопросы. Студент демонстрирует полное знание основных понятий и законов термодинамики, методов анализа термодинамических процессов и циклов тепловых машин, основ теплообмена. Уверенно и без ошибок выполняет практическое задание (расчётную задачу), аргументирует последовательность решения, делает обоснованные выводы. Даёт полные ответы на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов ИОПК-3.1 и ИОПК-3.2 оценивается на продвинутом уровне, что подтверждает готовность студента к выполнению третьего этапа сквозного проекта.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает ответы на теоретические вопросы, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и методами, умеет решать типовые задачи. Выполняет практическое задание в целом правильно, но может испытывать затруднения при обосновании отдельных этапов. На дополнительные вопросы отвечает в целом правильно, но допускает несущественные ошибки. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, допускает неточности и ошибки в изложении теоретических вопросов. Студент обладает фрагментарными знаниями по отдельным разделам. Выполняет практическое задание с помощью наводящих вопросов или допускает ошибки в расчётах. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, профессиональная терминология используется недостаточно уверенно. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает грубые ошибки в изложении теоретических вопросов. Студент не может выполнить практическое задание или выполняет его с грубыми ошибками, не понимает сути задания. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение третьего этапа сквозного проекта.

7.2.8 Соответствие методов контроля проверяемым индикаторам компетенций

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность знаний и навыков, необходимых для освоения индикаторов компетенции **ОПК-3**. Дисциплина является формирующей для указанной компетенции.

Индикатор	Формируемые навыки	Методы контроля
ИОПК-3.1	Умеет применять соответствующий физико-математический аппарат (дифференциальные и интегральные уравнения, таблицы термодинамических свойств, диаграммы p-v, T-s, h-s) при решении профессиональных задач	Текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, лабораторные работы, индивидуальное задание, экзамен
ИОПК-3.2	Умеет применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (термодинамический анализ процессов и циклов, построение и анализ термодинамических диаграмм)	Текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, лабораторные работы, индивидуальное задание, экзамен

Оценка сформированности знаний и навыков осуществляется комплексно с использованием всех методов контроля. Результаты текущего и итогового тестирования, устных опросов, выполнения практических заданий и лабораторных работ, защиты индивидуального задания в рамках сквозного проекта, а также экзамена учитываются при формировании итоговой оценки по дисциплине и оценке выполнения третьего этапа сквозного проекта. Дисциплина «Термодинамика» закладывает содержательную основу для последующего формирования компетенций на этапах расчётного обоснования, верификации и оптимизации, обеспечивая

студента знаниями и навыками, необходимыми для термодинамического анализа рабочих процессов, расчёта энергетической эффективности, а также для понимания физических процессов, лежащих в основе работы тепловых машин.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

7.3.1.1 Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 3-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определённые темы.

Модуль 1 (недели 1–8) — Основы термодинамики. Термодинамические процессы идеальных газов

Включает темы: Тема 1. Основные понятия и законы термодинамики; Тема 2. Первый закон термодинамики и его применение; Тема 3. Термодинамические процессы идеальных газов; Тема 4. Второй закон термодинамики и его анализ; Тема 5. Термодинамические циклы тепловых машин.

Модуль 2 (недели 9–16) — Реальные газы. Термодинамика потоков. Основы теплообмена

Включает темы: Тема 6. Реальные газы и водяной пар. Влажный воздух; Тема 7. Термодинамика потоков: истечение и дросселирование; Тема 8. Основы теплообмена (краткий обзор).

7.3.1.2 Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)

Модуль 1. Основы термодинамики. Термодинамические процессы идеальных газов

Перечень вопросов для собеседования:

1. Предмет термодинамики и её роль в изучении энергетических установок. Термодинамическая система и окружающая среда. Рабочее тело, источник теплоты, холодильник.
2. Параметры состояния: давление, температура, удельный объём, плотность. Уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость: массовая, объёмная, мольная.
3. Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Парциальное давление. Закон Дальтона. Газовая постоянная смеси.
4. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые процессы.
5. Внутренняя энергия как функция состояния. Работа расширения. Графическое изображение работы в p-v-диаграмме. Первый закон термодинамики для закрытых систем.
6. Энтальпия. Первый закон термодинамики для открытых систем. Техническая работа.
7. Теплоёмкость в политропных процессах. Связь теплоёмкостей Ср и Cv. Уравнение Майера.
8. Методика исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс: уравнение, p-v- и T-s-диаграммы, соотношения параметров, работа, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, теплота.
9. Изобарный процесс: уравнение, диаграммы, соотношения, энергетические характеристики.
10. Изотермический процесс: уравнение, диаграммы, соотношения, энергетические характеристики.
11. Адиабатный процесс: уравнение Пуассона, диаграммы, соотношения, работа.
12. Политропный процесс: обобщающее уравнение, показатель политропы, соотношения параметров, теплоёмкость, работа.
13. Сущность второго закона термодинамики. Обратимый круговой процесс. Цикл Карно и его роль в термодинамике. Термический КПД цикла Карно. Теорема Карно.
14. Энтропия как функция состояния. Изменение энтропии в различных процессах. T-s-диаграмма и её свойства. Эксергия: понятие работоспособности.

15. Прямые и обратные циклы. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто (со сгоранием при постоянном объёме). Идеальный цикл двигателя с искровым зажиганием.

16. Цикл Дизеля (со сгоранием при постоянном давлении). Идеальный цикл двигателя с воспламенением от сжатия.

17. Цикл Тринклера (со смешанным подводом теплоты). Анализ влияния степени сжатия, степени повышения давления и степени предварительного расширения на термический КПД.

18. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона). Способы повышения эффективности ГТУ.

19. Циклы паротурбинных установок (ПТУ). Цикл Ренкина. Влияние параметров пара на КПД цикла. Регенеративный цикл ПТУ.

20. Комбинированные парогазовые установки (ПГУ). Применение термодинамических циклов для анализа эффективности реальных двигателей и установок.

Модуль 2. Реальные газы. Термодинамика потоков. Основы теплообмена

Перечень вопросов для собеседования:

1. Отличие реальных газов от идеальных. Уравнение состояния реальных газов (уравнение Ван-дер-Ваальса).

2. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

3. Процесс парообразования при постоянном давлении. Влажный насыщенный, сухой насыщенный и перегретый пар.

4. Определение параметров состояния воды и водяного пара с использованием таблиц и hs-диаграммы.

5. Основные процессы изменения состояния водяного пара.

6. Влажный воздух. Характеристики влажного воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, энтальпия.

7. hd-диаграмма влажного воздуха. Процессы нагрева, охлаждения, осушения и увлажнения воздуха.

8. Уравнения энергии для потока. Уравнение первого закона термодинамики для потока.

9. Скорость истечения. Массовый расход. Сопла и диффузоры. Критические параметры. Сопло Лаваля.

10. Зависимость расхода от отношения давлений. Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона.

11. Применение анализа потоков для расчёта впускных и выпускных систем двигателей, течения в турбокомпрессорах.

12. Механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение.

13. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенки.

14. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Основные критерии подобия (Nu, Re, Pr, Gr).

15. Теплообмен при фазовых переходах (кипение, конденсация). Тепловое излучение. Законы Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.

16. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи. Теплообменные аппараты. Классификация. Средний температурный напор.

7.3.1.3 Рубежный контроль по модулям (тестирование)

Тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75% заданий (более 15 баллов).

Пример тестовых заданий (один вариант)

1. **Какой параметр состояния является функцией процесса, а не функцией состояния?**

- A) Внутренняя энергия
- B) Энтальпия
- C) Энтропия
- D) Теплота

Правильный ответ: D

2. **Какой процесс называется адиабатным?**

- A) Процесс при постоянном давлении
- B) Процесс при постоянном объёме
- C) Процесс без теплообмена с окружающей средой
- D) Процесс при постоянной температуре

Правильный ответ: C

3. **Какой цикл используется для анализа работы двигателя с искровым зажиганием?**

- A) Цикл Карно
- B) Цикл Отто
- C) Цикл Дизеля
- D) Цикл Ренкина

Правильный ответ: B

4. **Что характеризует число Нуссельта (Nu)?**

- A) Интенсивность теплоотдачи
- B) Режим течения жидкости
- C) Физические свойства жидкости
- D) Тепловое излучение

Правильный ответ: A

5. **Какой параметр является функцией состояния, изменение которого равно приведённой теплоте обратимого процесса?**

- A) Внутренняя энергия
- B) Энтальпия
- C) Энтропия
- D) Теплоёмкость

Правильный ответ: C

7.3.1.4 Оценочные средства для индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с термодинамическим расчётом рабочего цикла проектируемого двигателя.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Выбор и обоснование расчётного цикла.** На основе заданного типа двигателя (бензиновый, дизельный, газовый) и его параметров (степень сжатия, степень повышения давления и др.) студент выбирает идеальный цикл для расчёта: цикл Отто (для двигателей с искровым зажиганием), цикл Дизеля (для дизелей) или цикл Тринклера (для смешанного подвода теплоты). Обосновывается выбор расчётного цикла.
2. **Определение параметров рабочего тела.** Задаются начальные параметры рабочего тела (воздуха): давление p1, температура T1. Определяются параметры в характерных точках цикла с использованием уравнений состояния и соотношений для процессов.
3. **Расчёт параметров состояния в характерных точках цикла.** Для каждой точки цикла (1, 2, 3, 4) определяются давление p, удельный объём v, температура T. Расчёты

выполняются с использованием формул для адиабатных процессов (сжатие, расширение) и изохорных/изобарных процессов (подвод и отвод теплоты).

4. **Расчёт энергетических характеристик цикла.** Определяются:
   - подведённая теплота q1;
   - отведённая теплота q2;
   - работа цикла lц = q1 — q2;
   - термический КПД цикла ηt = 1 — q2/q1.

5. **Построение цикла в p-v и T-s координатах.** Выполняется построение цикла в масштабе с нанесением характерных точек и линий процессов.

6. **Анализ влияния параметров на КПД цикла.** Выполняется анализ влияния степени сжатия ε (для цикла Отто) или степени предварительного расширения ρ (для цикла Дизеля) на термический КПД. Строится график зависимости ηt = f(ε) или ηt = f(ρ).

Требования к оформлению:

Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объёмом 10–15 страниц, включающей:

- титульный лист с указанием темы задания, ФИО студента, группы, руководителя;
- содержание;
- введение с обоснованием актуальности термодинамического анализа;
- основную часть, содержащую выбор и обоснование цикла, расчёт параметров состояния, расчёт энергетических характеристик, анализ влияния параметров;
- графики цикла в p-v и T-s координатах (выполняются на миллиметровой бумаге или с использованием компьютерных средств);
- график зависимости КПД от параметров;
- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников.

Примерные исходные данные для индивидуального задания:

Студент получает индивидуальные параметры двигателя:

- тип двигателя (бензиновый / дизельный / газовый);
- начальные параметры рабочего тела: p1 = 0,1 МПа, T1 = 288 К;
- степень сжатия ε (от 6 до 20 в зависимости от типа двигателя);
- степень повышения давления λ (для цикла Тринклера) или степень предварительного расширения ρ (для цикла Дизеля);
- показатель адиабаты k = 1,4 (для воздуха).

7.3.1.5 Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Основы термодинамики. Термодинамические процессы идеальных газов

Задание 1. Расчёт параметров состояния идеального газа и газовых смесей

Для заданной газовой смеси (воздух, продукты сгорания) определить газовую постоянную, плотность, удельный объём при заданных давлении и температуре.

Задание 2. Применение первого закона термодинамики к закрытым и открытым системам

Для заданного процесса определить изменение внутренней энергии, работу, теплоту. Для открытой системы определить техническую работу.

Задание 3. Расчёт параметров и энергетических характеристик политропных процессов

Для заданного политропного процесса с известными начальными параметрами и показателем политропы определить конечные параметры, работу, теплоту, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии.

Задание 4. Расчёт термического КПД цикла Карно. Определение изменения энтропии

Для цикла Карно, работающего в заданном интервале температур, определить термический КПД, количество подведённой и отведённой теплоты, изменение энтропии в процессах.

Задание 5. Термодинамический расчёт цикла Отто. Анализ влияния степени сжатия

Для заданного цикла Отто определить параметры в характерных точках, подведённую и отведённую теплоту, термический КПД. Построить график зависимости КПД от степени сжатия.

Задание 6. Термодинамический расчёт цикла Дизеля. Сравнение с циклом Отто

Для заданного цикла Дизеля определить параметры в характерных точках, подведённую и отведённую теплоту, термический КПД. Сравнить КПД цикла Дизеля и цикла Отто при одинаковой степени сжатия.

Модуль 2. Реальные газы. Термодинамика потоков. Основы теплообмена

Задание 7. Определение параметров водяного пара с использованием таблиц и hs-диаграммы

По заданным параметрам водяного пара (давление, температура, степень сухости) определить энтальпию, энтропию, удельный объём.

Задание 8. Расчёт скорости истечения и расхода газа через сопло. Выбор формы сопла

Для заданных параметров газа на входе в сопло и давления на выходе определить скорость истечения, массовый расход. Выбрать форму сопла (сужающееся или сопло Лаваля).

Задание 9. Расчёт теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенку

Для заданной многослойной стенки определить тепловой поток, температуры на границах слоёв, коэффициент теплопередачи.

7.3.1.6 Оценочные средства для лабораторных занятий

Перечень лабораторных работ и контрольные вопросы для защиты

Лабораторная работа №1. Определение теплоёмкости воздуха калориметрическим методом

Краткое содержание: определение массовой теплоёмкости воздуха при постоянном давлении с использованием калориметра. Измерение расхода воздуха, температуры на входе и выходе, электрической мощности нагревателя.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое теплоёмкость? Какие виды теплоёмкости существуют?
- Как связаны Cp и Cv для идеального газа?
- Какие факторы влияют на теплоёмкость реальных газов?
- Как оценить погрешность полученного значения теплоёмкости?

Лабораторная работа №2. Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа

Краткое содержание: измерение давления, температуры и объёма газа (воздуха) при различных состояниях. Построение изотерм в координатах p-v. Сравнение с уравнением состояния идеального газа.

Контрольные вопросы для защиты:

- Запишите уравнение состояния идеального газа.
- Какие предположения лежат в основе модели идеального газа?
- При каких условиях реальный газ ведёт себя как идеальный?
- Как определить газовую постоянную по экспериментальным данным?

Лабораторная работа №3. Исследование первого закона термодинамики на учебном стенде

Краткое содержание: проведение процесса сжатия и расширения газа в цилиндре. Измерение давления и объёма. Расчёт работы, теплоты, изменения внутренней энергии. Проверка первого закона термодинамики.

Контрольные вопросы для защиты:

- Сформулируйте первый закон термодинамики.
- Как определяется работа расширения газа?
- Как определяется изменение внутренней энергии?
- Как проверить выполнение первого закона термодинамики экспериментально?

Лабораторная работа №4. Определение показателя политропы процесса сжатия по экспериментальным данным

Краткое содержание: проведение процесса сжатия воздуха в цилиндре с записью зависимости давления от объёма. Определение показателя политропы по экспериментальным данным.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое политропный процесс?
- Как связаны параметры в политропном процессе?
- Как определить показатель политропы по экспериментальным данным?
- Какие значения может принимать показатель политропы?

Лабораторная работа №5. Исследование адиабатного процесса расширения воздуха

Краткое содержание: проведение процесса адиабатного расширения воздуха. Измерение изменения температуры и давления. Сравнение с теоретическими расчётами.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое адиабатный процесс?
- Какое уравнение связывает параметры в адиабатном процессе?
- Как определить показатель адиабаты экспериментально?
- Каковы особенности реального адиабатного процесса?

Лабораторная работа №6. Снятие индикаторной диаграммы (или анализ осциллограммы давления) на учебном двигателе

Краткое содержание: снятие индикаторной диаграммы давления в цилиндре двигателя. Анализ характерных точек диаграммы (впуск, сжатие, сгорание, расширение, выпуск). Определение индикаторной работы.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое индикаторная диаграмма?
- Какие процессы отображаются на индикаторной диаграмме?
- Как определить работу цикла по индикаторной диаграмме?
- Какие факторы влияют на форму индикаторной диаграммы?

Лабораторная работа №7. Исследование параметров влажного воздуха. Определение точки росы

Краткое содержание: измерение температуры и относительной влажности воздуха с помощью психрометра. Определение влагосодержания, энтальпии, точки росы с использованием hd-диаграммы.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое влажный воздух?
- Какие параметры характеризуют влажный воздух?
- Что такое точка росы?
- Как определить параметры влажного воздуха по hd-диаграмме?

Лабораторная работа №8. Экспериментальное определение скорости истечения воздуха через сопло

Краткое содержание: измерение расхода воздуха через сопло при различных перепадах давления. Определение скорости истечения. Определение критического отношения давлений.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие режимы истечения газа через сопло существуют?
- Что такое критическое отношение давлений?
- Как рассчитать скорость истечения газа?
- Когда применяется сопло Лаваля?

Лабораторная работа №9. Исследование процесса теплопередачи в теплообменном аппарате

Краткое содержание: измерение температур теплоносителей на входе и выходе теплообменника. Определение теплового потока, коэффициента теплопередачи, среднего температурного напора.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое теплопередача?
- Как рассчитать коэффициент теплопередачи?

- Что такое средний температурный напор?
- Какие схемы движения теплоносителей существуют?

7.3.1.7 Оценочные средства для курсовой работы (проекта)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении последующих курсовых проектов по профильным дисциплинам (Б1.1.12, Б1.1.20, Б1.1.22, Б1.2.8) и в выпускной квалификационной работе для термодинамического расчёта рабочего цикла двигателя.

7.3.2 Промежуточная аттестация (экзамен)

7.3.2.1 Условия допуска к экзамену

Студент допускается к сдаче экзамена при выполнении следующих условий:

- Успешное прохождение всех двух рубежных контролей (устных опросов по модулям) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Выполнение и защита всех лабораторных работ, предусмотренных учебным планом (9 лабораторных работ).
- Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).
- Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта (термодинамический расчёт рабочего цикла двигателя) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

7.3.2.2 Структура экзаменационного билета

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов (по одному из каждого модуля) и одного практического задания (расчётная задача).

Структура билета:

- **Вопрос 1** (Модуль 1): Основы термодинамики, процессы идеальных газов, термодинамические циклы.
- **Вопрос 2** (Модуль 2): Реальные газы, термодинамика потоков, основы теплообмена.
- **Задание 3**: Расчётная задача (расчёт параметров процесса, цикла, истечения, теплопередачи).

7.3.2.3 Типовые экзаменационные билеты

Экзаменационный билет №1

Вопрос 1 (Модуль 1)

Первый закон термодинамики для закрытых и открытых систем. Внутренняя энергия и энтальпия как функции состояния. Применение первого закона к анализу работы компрессора, турбины.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Термодинамика потоков: истечение газа из сопел и каналов. Уравнения энергии для потока. Скорость истечения, массовый расход. Критические параметры. Сопло Лаваля.

Задание 3

Воздух при давлении $p1 = 1$ МПа и температуре $T1 = 300$ К сжимается адиабатно до давления $p2 = 5$ МПа. Определить конечную температуру $T2$, удельную работу сжатия, изменение внутренней энергии и энтальпии. Показатель адиабаты $k = 1{,}4$.

Экзаменационный билет №2

Вопрос 1 (Модуль 1)

Термодинамические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто: схема, p-v и T-s диаграммы, расчёт термического КПД. Влияние степени сжатия на КПД цикла.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Влажный воздух. Характеристики влажного воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, энтальпия. hd-диаграмма влажного воздуха. Процессы нагрева, охлаждения, осушения и увлажнения воздуха.

Задание 3

Определить параметры водяного пара при давлении $p = 1{,}5$ МПа и степени сухости $x = 0{,}9$. Используя таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, найти удельный объём v, энтальпию h, энтропию s. По hs-диаграмме определить температуру пара.

Экзаменационный билет №3

Вопрос 1 (Модуль 1)

Второй закон термодинамики. Обратимый круговой процесс. Цикл Карно и его роль в термодинамике. Термический КПД цикла Карно. Теорема Карно. Энтропия как функция состояния. T-s-диаграмма и её свойства.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Основы теплообмена. Механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Закон Фурье. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенки. Теплопередача через многослойную стенку.

Задание 3

Плоская стальная стенка толщиной $\delta = 10$ мм имеет температуру на одной поверхности $t1 = 200$ °C, на другой $t2 = 50$ °C. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda = 50$ Вт/(м·К). Определить плотность теплового потока через стенку. Как изменится плотность теплового потока, если стенка будет покрыта слоем изоляции толщиной $\delta_{из} = 20$ мм с $\lambda_{из} = 0{,}1$ Вт/(м·К)?

7.3.2.4 Полный перечень теоретических вопросов к экзамену по каждой теме

Модуль 1. Основы термодинамики. Термодинамические процессы идеальных газов

1. Предмет термодинамики и её роль в изучении энергетических установок. Термодинамическая система и окружающая среда. Рабочее тело, источник теплоты, холодильник.
2. Параметры состояния: давление, температура, удельный объём, плотность. Уравнение состояния идеального газа.
3. Теплоёмкость: массовая, объёмная, мольная. Зависимость теплоёмкости от температуры.
4. Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Парциальное давление. Закон Дальтона. Газовая постоянная смеси.
5. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые процессы.
6. Внутренняя энергия как функция состояния. Работа расширения. Графическое изображение работы в p-v-диаграмме.
7. Первый закон термодинамики для закрытых систем. Энтальпия. Первый закон термодинамики для открытых систем. Техническая работа.
8. Теплоёмкость в политропных процессах. Связь теплоёмкостей Ср и Cv. Уравнение Майера.
9. Методика исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс: уравнение, p-v- и T-s-диаграммы, соотношения параметров, работа, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, теплота.
10. Изобарный процесс: уравнение, диаграммы, соотношения, энергетические характеристики.
11. Изотермический процесс: уравнение, диаграммы, соотношения, энергетические характеристики.
12. Адиабатный процесс: уравнение Пуассона, диаграммы, соотношения, работа.
13. Политропный процесс: обобщающее уравнение, показатель политропы, соотношения параметров, теплоёмкость, работа. Изображение политропных процессов в p-v- и T-s-диаграммах.
14. Сущность второго закона термодинамики. Обратимый круговой процесс. Цикл Карно и его роль в термодинамике. Термический КПД цикла Карно. Теорема Карно.
15. Энтропия как функция состояния. Изменение энтропии в различных процессах. T-s-диаграмма и её свойства. Эксергия: понятие работоспособности.
16. Прямые и обратные циклы. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто (со сгоранием при постоянном объёме).
17. Цикл Дизеля (со сгоранием при постоянном давлении). Цикл Тринклера (со смешанным подводом теплоты).

18. Анализ влияния степени сжатия, степени повышения давления и степени предварительного расширения на термический КПД. Сравнение циклов Отто, Дизеля и Тринклера.

19. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона). Способы повышения эффективности ГТУ: регенерация, промежуточное охлаждение, промежуточный подвод теплоты.

20. Циклы паротурбинных установок (ПТУ). Цикл Ренкина. Влияние параметров пара на КПД цикла. Регенеративный цикл ПТУ. Комбинированные парогазовые установки (ПГУ).

Модуль 2. Реальные газы. Термодинамика потоков. Основы теплообмена

21. Отличие реальных газов от идеальных. Уравнение состояния реальных газов (уравнение Ван-дер-Ваальса).

22. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

23. Процесс парообразования при постоянном давлении. Влажный насыщенный, сухой насыщенный и перегретый пар.

24. Определение параметров состояния воды и водяного пара с использованием таблиц и hs-диаграммы.

25. Основные процессы изменения состояния водяного пара.

26. Влажный воздух. Характеристики влажного воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, энтальпия.

27. hd-диаграмма влажного воздуха. Процессы нагрева, охлаждения, осушения и увлажнения воздуха. Применение в системах впуска и климат-контроля.

28. Уравнения энергии для потока. Уравнение первого закона термодинамики для потока.

29. Скорость истечения. Массовый расход. Сопла и диффузоры. Критические параметры. Сопло Лаваля.

30. Зависимость расхода от отношения давлений. Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона.

31. Применение анализа потоков для расчёта впускных и выпускных систем двигателей, течения в турбокомпрессорах.

32. Механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение.

33. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенки.

34. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Основные критерии подобия (Nu, Re, Pr, Gr).

35. Теплообмен при фазовых переходах (кипение, конденсация).

36. Тепловое излучение. Законы Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.

37. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи.

38. Теплообменные аппараты. Классификация. Средний температурный напор. Методы расчёта теплообменных аппаратов.