

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Саваровский Александр Александрович, к.т.н., доцент

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОДИНАМИКА

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
ОПК-5 — способность использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-1

знания:

- основных законов термодинамики применительно к тепловым машинам;
- методов и алгоритмов анализа тепловых машин;

умения:

проводить экспериментальные исследования термодинамических процессов рабочих тел тепловых машин;

навыки:

расчет основных термодинамических характеристик тепловых машин.

ОПК-5

знания:

- основных законов термодинамики применительно к силовым установкам авиационной и ракетно-космической техники;
- методов анализа эффективности работы силовых установок авиационной и ракетно-космической техники;

умения:

проводить термодинамический анализ работы силовых установок авиационной и ракетно-космической техники;

навыки:

расчет основных термодинамических характеристик силовых установок авиационной и ракетно-космической техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕРМОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	ОПК-5
2	4	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики. Введение, краткая история и перспективы развития термодинамики. Основные равновесные термодинамические процессы. Соотношения между параметрами. Теплоемкость рабочего тела, изменение внутренней энергии и энтальпии в процессах. Работа расширения и располагаемая работа, количество тепла процессов. Тепловая диаграмма процессов, изменения энтропии.	36	21	6	12	3	15	20	20
2	4	Раздел 2. Термодинамика потока. Основные понятия и уравнения. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Течение в соплах и диффузорах. Скорость истечения из сопла. Массовый расход через сопло. Критический режим истечения. Характерные случаи истечения.	29	14	6	5	3	15	20	20
2	4	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла. Методы исследования тепловых машин в технической термодинамике. Прямые и обратные циклы. Циклы Карно. Математическая формулировка второго закона термодинамики. Второй закон и условия термодинамического равновесия для простых и сложных термодинамических систем. Термодинамические процессы в компрессорах и турбинах. Термодинамический анализ циклов газовых тепловых машин. Анализ циклов различных типов ДВС, ГТУ, ВРД, ЖРД.	30	15	10	0	5	15	20	20
2	4	Раздел 4. Реальные газы и пары. Пары и водяной пар. Основные понятия и определения. Процесс парообразования. Тройная точка. Влажный пар и его параметры. Тепловая и энтальпийная диаграммы водяного пара. Термодинамические процессы изменения состояния водяного пара. Дросселирование газов.	22	7	5	0	2	15	20	20
2	4	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок. Анализ паросиловых циклов Карно и Ренкина. Бинарные и теплофикационные циклы. Обратные термодинамические циклы тепловых машин. Разновидности обратных циклов. Газовые холодильные машины и их циклы. Получение сжиженных газов. Термодинамика безмашинного преобразования энергии. Плазма в природе и технике.	27	11	7	0	4	16	20	20
Всего за 4 семестр			144	68	34	17	17	76	100	100
Всего по дисциплине			144	68	34	17	17	76	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.	Основные равновесные термодинамические процессы	3
2	Раздел 2. Термодинамика потока.	Режимы истечения из сопла	3
3	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	Анализ циклов тепловых машин - двигателей на идеальном газе	5
4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	Термодинамические процессы изменения состояния водяного пара	2
5	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	Анализ паросиловых циклов	2
6		Анализ обратных циклов тепловых машин	2
Всего за 4 семестр			17

3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.	Определение универсальной газовой постоянной методом откачки	4
2		Определение соотношения теплоемкостей воздуха по методу Клемана-Дезорма	4
3		Исследование термодинамических параметров и характеристик при сжатии рабочего тела	4
4	Раздел 2. Термодинамика потока.	Исследование истечения газа через суживающееся сопло	5
Всего за 4 семестр			17

3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по лабораторным работам	15
2	Раздел 2. Термодинамика потока.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по лабораторным работам	15
3	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	15
4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	15
5	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление расчетно-графической работы.	16
Всего за 4 семестр			76

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	Отч. по ЛР, ВРЗД, КПос	КПос, ВРЗД	ДР	ВРЗД, КПос	Отч. по ЛР, КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	ДР	КПос, ВРЗД, Отч. по ЛР	ВРЗД, Отч. по ЛР, КПос	КПос, ВРЗД	ВРЗД, КПос	КПос, ВРЗД, РГР	ДР	Вопр. Диф. Зач, ВРЗД, КПос, РГР, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КПос – контроль посещаемости;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- Вопр. Диф. Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- РГР – расчетно-графическая работа;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- отчет по ЛР;
- вопросы по разделу;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- расчетно-графическая работа.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
2. В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 215 экз.
3. В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 215 экз.
4. В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
5. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.
6. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 241 экз.
7. Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика. Санкт-Петербург: Лань, 2021, эл. рес.
8. Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 60 экз.
9. Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <https://uraif.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Аудитория с числом посадочных мест не меньше количества обучающихся.

6.3. Лабораторные занятия:

1. Лабораторные стенды по термодинамике и теплопередаче.

6.4. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ТЕРМОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.03.05 *Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-1 способность применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;

ОПК-5 способность использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением фундаментальных законов взаимного преобразования тепловой и механической энергии, анализом термодинамических процессов идеальных и реальных газов, в том числе в потоке вещества, теории тепловых двигателей, холодильных установок и тепловых насосов, элементов химической и неравновесной термодинамики.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- отчет по ЛР;
- вопросы по разделу;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- расчетно-графическая работа.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 з.е., **144 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по лабораторным работам	Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (1, 2, 3, 4, 5) Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Лабораторные работы 1,2,3) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1,2,3,4,5) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть I) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1,2,3,4,5) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть I) Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Лабораторные работы 1,2,3)	15
Итого по разделу 1		15
Раздел 2. Термодинамика потока.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по лабораторным работам	Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (6) Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Лабораторная работа №4) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть I) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть I) Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Лабораторная работа №4) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (5) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (5)	15
Итого по разделу 2		15
Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть II) Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (2 ,8, 10) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (Часть IV) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть II) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова.	15

	Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (Часть IV)	
Итого по разделу 3		15
Раздел 4. Реальные газы и пары.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	<p>В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (5)</p> <p>Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (7)</p> <p>В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (5)</p> <p>В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (8)</p> <p>В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (8)</p>	15
Итого по разделу 4		15
Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление расчетно-графической работы.	<p>В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (13, 14, 15)</p> <p>Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (10, 11 ,12 ,13)</p> <p>В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть II)</p> <p>В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (Часть II)</p> <p>В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (13, 14, 15)</p>	16
Итого по разделу 5		16

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- контроль посещаемости;
- отчет по ЛР;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- расчетно-графическая работа;
- дифференцированный зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы по разделу

Вопросы по разделу предназначены для контроля текущей успеваемости студентов и их самоконтроля.

Перечень вопросов по разделу соответствует перечню вопросов к дифференцированному зачёту в части, касающейся тематики конкретного раздела

Контроль посещаемости

Контроль посещаемости осуществляется на каждом занятии.

Отчет по ЛР

Допуск к ЛР.

Допуск к выполнению ЛР происходит только после проведения инструктажа по технике безопасности при предоставлении студентом в письменном виде описания, содержащего постановку задачи ЛР, план выполнения ЛР и цели предполагаемого исследования.

Требования к отчету по ЛР.

Отчет по ЛР представляется в рукописном виде в формате, предусмотренном шаблоном по лабораторной работе. Защита отчета происходит в форме доклада студента по лабораторной работе и ответов студента на вопросы преподавателя.

В случае, если оформление отчета, уровень знания и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает зачет по данной ЛР.

Основанием для доработки могут служить:

- небрежное выполнение;

- низкое качество графического материала;

Отчет не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов;

- отсутствия необходимого графического материала;

- некорректной обработки результатов вычислений;

- некорректных выводов по выполненной работе, а также при отсутствии объяснения полученных результатов.

Прием отчета представляет собой собеседование, в ходе которого студент должен ответить на теоретические и практические вопросы по данной лабораторной работе. При ответе оценивается правильность и полнота ответа. Защита лабораторной работы может быть признана неудовлетворительной в случае низкого уровня знаний студента по теме лабораторной работы.

Вопросы к дифференцированному зачету

1. Предмет термодинамики. Основные понятия и определения. Уравнение состояния. Газовая постоянная и масса моля идеального газа.
2. Смеси газов. Способы задания состава смеси, расчет газовой постоянной и массы моля смеси
3. Первый закон термодинамики как форма закона сохранения и превращения энергии. Работа, рабочая диаграмма.
4. Теплота, тепловая диаграмма. Внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, свободная энтальпия.
5. Аналитические выражения I закона термодинамики с использованием параметров: внутренняя энергия и энтальпия.
6. Аналитические выражения I закона термодинамики с использованием параметров: свободная энергия и свободная энтальпия.
7. Теплоемкость рабочего тела и смесей.
8. Изохорный процесс.
9. Изобарный процесс.
10. Изотермический процесс.
11. Адиабатный процесс.
12. Политропный процесс. Характерные группы политропных процессов.
13. Термодинамика потока. Основные допущения и уравнения.
14. Течение в соплах и диффузорах. Анализ формы канала.
15. Скорость течения в канале. Скорость истечения из сопла.
16. Массовый расход через сопло.
17. Характерные случаи истечения из сопла.
18. Критический режим истечения. Критический перепад давлений, критическая скорость, максимальный расход.
19. II закона термодинамики. Основные определения и математическое выражения.
20. Объединенные уравнения I и II законов термодинамики для простых систем. Условия термодинамического равновесия.
21. Объединенные уравнения I и II законов термодинамики для сложных систем.
22. Прямой и обратный циклы. Циклы Карно.
23. Циклы ДВС. (Типы ДВС, индикаторная диаграмма, основные допущения и цели термодинамического анализа).
24. Циклы ДВС (Тринклера).
25. Циклы ДВС (Отто и Дизеля).
26. Циклы ГТУ с подводом тепла при постоянном давлении.
27. Циклы ГТУ с подводом тепла при постоянном объеме.
28. Циклы реактивных двигателей. Цикл ПВРД.
29. Основные параметры пара.

30. Термодинамические процессы водяного пара.
31. Энтропия и энтальпия воды и водяного пара.
32. Энтропия и энтальпия воды и водяного пара. Изохорный процесс
33. Энтропия и энтальпия воды и водяного пара. Изобарный процесс
34. Энтропия и энтальпия воды и водяного пара. Изотермический процесс
35. Энтропия и энтальпия воды и водяного пара. Адиабатный процесс
36. Дросселирование газов и паров. Процесс дросселирования.
37. Физическая сущность эффекта Джоуля – Томпсона.
38. Расчет дросселирования водяного пара по $h-s$ диаграмме.
39. Циклы паросиловых установок. Паровой цикл Карно
40. Теоретический паросиловой цикл Ренкина
41. Регенеративный цикл паросиловой установки
42. Теплофикационные циклы
43. Циклы парогазовых установок
44. Рабочие тела холодильных установок
45. Цикл воздушной холодильной установки
46. Цикл парокомпрессионной холодильной установки
47. Цикл абсорбционной холодильной установки
48. Цикл работы теплового насоса
49. Цикл Стирлинга
50. Цикл МГД генератора

Расчетно-графическая работа

Расчетно-графическая работа представляет собой анализ цикла тепловой машины в соответствии с индивидуальным заданием.

В отчет входит:

- графическое изображение цикла на диаграммах: тепловой ($T-s$), рабочей ($p-v$), а для паросиловых - и на $i-s$ диаграмме;
- определение термодинамических параметров в каждой характерной точке цикла;
- вывод уравнения КПД для тепловых машин-двигателей или холодильного коэффициента - для холодильных машин.

Требования к оформлению - по ГОСТ 7.32-2017.

Дифференцированный зачет

Дифференцированный зачёт предполагает ответы студента на 2 теоретических вопроса из списка вопросов.

Оценивается полнота и правильность ответа на вопросы:

Оценка «удовлетворительно»: полнота ответа на вопросы : не менее 50% по каждому вопросу.

Оценка «хорошо»: полнота ответа на вопросы: не менее 80% по каждому вопросу.

Оценка «отлично»: полнота ответа на вопросы: не менее 80% по каждому вопросу, ответы на 2-3 дополнительных вопроса из списка со степенью полноты ответа не менее 50% по каждому.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	ОПК-5	
2	4	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.	36	21	6	12	3	15	20	20	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 2. Термодинамика потока.	29	14	6	5	3	15	20	20	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	30	15	10	0	5	15	20	20	Вопросы по разделу, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	22	7	5	0	2	15	20	20	Вопросы по разделу, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	27	11	7	0	4	16	20	20	Вопросы по разделу, Расчетно-графическая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
Всего за 4 семестр			144	68	34	17	17	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	17	17	76	100	100	

Критерии оценивания

ОПК-1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Как изменится скорость истечения рабочего тела из сопла на критическом режиме при повышении давления окружающей среды? Дайте развернутый обоснованный ответ.
- № 2 При адиабатном сжатии идеального газа внешними силами совершена работа 100 Дж. Как изменилась при этом внутренняя энергия этого газа? Дайте развернутый обоснованный ответ.
- № 3 Какие области разделяет нижняя пограничная кривая на термодинамической диаграмме состояния?
- № 4 Какие области разделяет верхняя пограничная кривая на термодинамической диаграмме состояния?
- № 5 Какой из следующих процессов является циклическим?

- процесс, при котором давление остается постоянным;
- процесс, при котором температура остается постоянной;
- процесс, при котором система возвращается в исходное состояние;
- процесс, при котором энтропия остается постоянной.

Выберите правильный ответ, обоснуйте его и поясните как изменяется внутренняя энергия в данном процессе.

- № 6 Какой из следующих процессов является обратимым?

- процесс, при котором давление остается постоянным;
- процесс, который может быть полностью обращен без изменения окружающей среды;
- процесс, при котором объем остается постоянным;
- процесс, при котором энтропия остается постоянной.

Выберите правильный ответ, обоснуйте его и поясните где используются такие процессы.

- № 7 Какие из следующих процессов являются изотермическими?

- процесс, при котором давление остается постоянным;
- процесс, при котором температура остается постоянной;
- процесс, при котором объем остается постоянным;
- процесс, при котором внутренняя энергия остается постоянной.

Выберите правильные ответы и дайте развернутое обоснование.

- № 8 Какие из следующих утверждений верны для адиабатического процесса?

- теплообмен с окружающей средой отсутствует;
- давление остается постоянным;
- объем остается постоянным;
- изменение внутренней энергии равно работе, совершенной системой;

Выберите правильные ответы и дайте развернутое обоснование.

- № 9 Какие из следующих утверждений верны для второго закона термодинамики?

- энтропия замкнутой системы никогда не уменьшается;
- энергия не может быть создана или уничтожена;
- тепло не может самопроизвольно переходить от холодного тела к горячему;
- при абсолютном нуле температуры энтропия идеального кристалла стремится к нулю.

Выберите правильные ответы и дайте развернутое обоснование.

- № 10 Какой из следующих законов термодинамики утверждает, что энергия не может быть создана или уничтожена, а только преобразована из одной формы в другую?

- Первый закон термодинамики
- Второй закон термодинамики
- Третий закон термодинамики

Выберите правильный ответ и поясните его.

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Выберите утверждение, НЕ являющееся характеристикой термодинамического метода исследования:

- А. Термодинамика базируется на 3х законах или началах, полученных экспериментально
- Б. Термодинамика оперирует понятиями и величинами, сущность которых не зависит от знаний о структуре вещества
- В. Выводы термодинамики верны для макроскопических систем конечных размеров
- Г. В основе термодинамики лежат теоретические и экспериментальные знания о химическом составе газов и жидкостей, их межмолекулярных связях

- № 2 Какие из приведенных ниже утверждений определяют свойства работы как формы обмена энергией?

- А. Работа – это функция процесса, количество работы в процессе зависит от пути перехода из одного состояния в другое
- Б. Совершение работы всегда связано с падением давления в термодинамической системе
- В. Элементарная работа dL – не обладает свойствами полного дифференциала (это бесконечно малое количество работы)
- Г. При круговом процессе система получает от окружающей среды (или отдает ей) некоторое количество энергии
- Д. Работа это термодинамическое свойство вещества, которое указывает уровень энергии, сохраненной в его молекулярной структуре.

- № 3 Установите соответствие между типом двигателя и циклом его работы:

- | | |
|---|-------------------|
| А. бескомпрессорный дизельный двигатель | 1. цикл Тринклера |
| Б. карбюраторный двигатель | 2. цикл Карно |

3. цикл Дизеля

5. цикл Отто

6. цикл Стирлинга

А. увеличение скорости сверхзвукового потока	1. диффузор в форме расширяющегося канала
Б. уменьшение скорости дозвукового потока	2. сопло в форме расширяющегося канала
В. разгон потока от дозвуковой до сверхзвуковой скорости	3. диффузор в форме суживающегося канала
	4. сопло в форме суживающегося канала
	5. сопло Лаваля

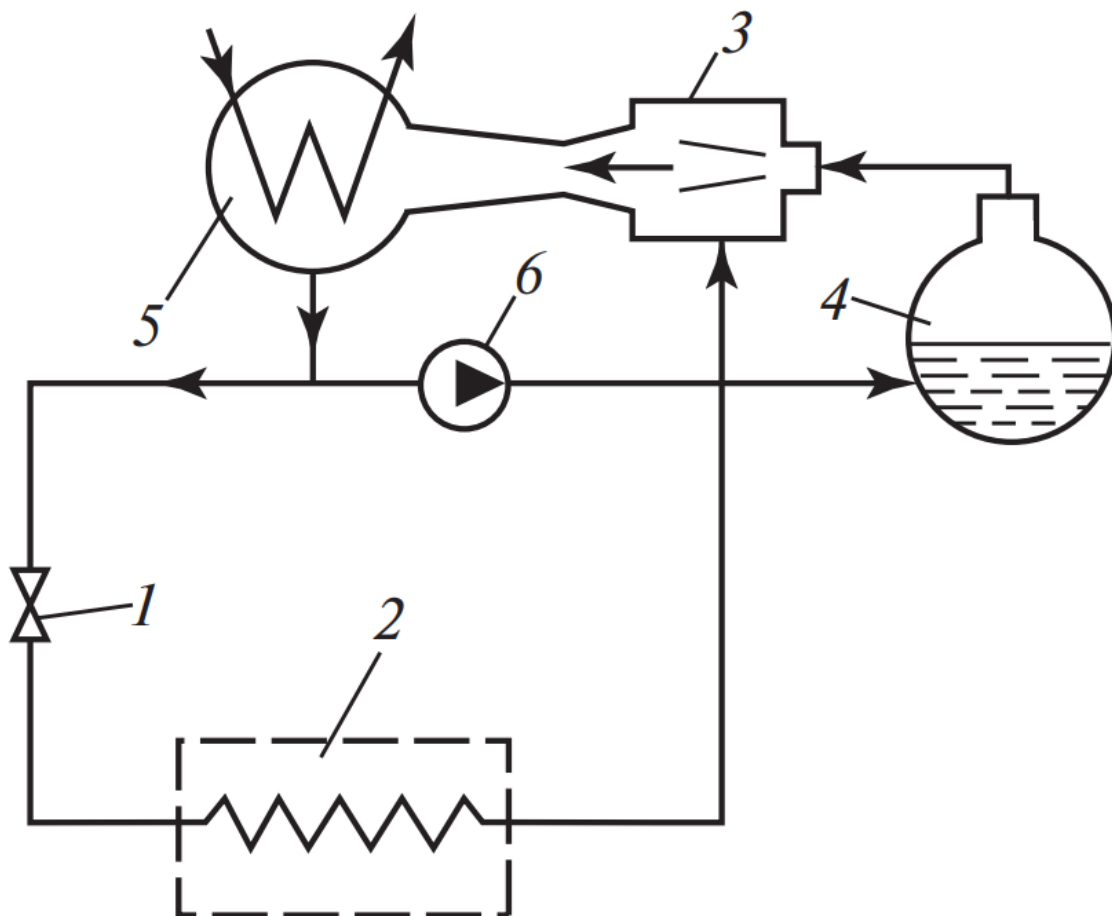
Д. перепад давлений в сопле

Д. турбина;

Г. перепад давлений в сопле

Г. может уменьшаться или увеличиваться в зависимости от начального состояния газа

22631



А. конденсатор;

Б. редукционный вентиль;

В. котёл;

Г. испаритель;

Д. насос;

Е. паровой эжектор;

№ 10 Установите правильную последовательность узлов газотурбинного двигателя по ходу движения набегающего потока воздуха:

А. турбина

Б. камера сгорания

В. компрессор

Г. сопло

ОПК-5

Вопросы открытого типа:

№ 1 Какая работа (Дж) совершается при изохорном нагревании одного моля идеального газа на 20 К?

№ 2 Какая точка называется критической на диаграмме состояния жидкости и пара?

№ 3 При адиабатном сжатии идеального газа внешними силами совершена работа 100 Дж. Как изменилась при этом внутренняя энергия этого газа?

№ 4 Какой пар называется перегретым?

№ 5 Какое из следующих утверждений верно для дозвукового потока?

А) Число Маха меньше 1;

Б) Число Маха равно 1;

В) Число Маха больше 1;

Г) Число Маха равно 0.

Обоснуйте свой ответ.

№ 6 Какое из следующих утверждений будет верным при истечении газа из сопла?

А) Давление газа остается постоянным вдоль сопла;

Б) Массовый расход газа остается постоянным вдоль сопла;

В) Скорость газа остается постоянной вдоль сопла;

Г) Температура газа остается постоянной вдоль сопла.

- Обоснуйте свой ответ.
- № 7 Какие из следующих утверждений верно для давления при критическом режиме истечения газа из сопла?
- А) Давление на выходе из сопла равно атмосферному давлению;
- Б) Давление на выходе из сопла равно критическому давлению;
- В) Давление на выходе из сопла меньше критического давления;
- Г) Давление на выходе из сопла больше критического давления.
- Обоснуйте свой ответ.
- № 8 Какие из следующих утверждений верны для абсорбционного холодильного цикла?
- А) Он использует тепловую энергию для сжатия хладагента;
- Б) Он использует механическую работу для сжатия хладагента;
- В) Он включает процессы абсорбции и десорбции;
- Г) Он используется в бытовых холодильниках.
- Поясните свой выбор.
- № 9 Какие из следующих утверждений верны для парокомпрессионного холодильного цикла с использованием регенерации?
- А) Он улучшает эффективность цикла за счет использования тепла отработанного хладагента;
- Б) Он ухудшает эффективность цикла за счет использования тепла отработанного хладагента;
- В) Он увеличивает затраты энергии на подогрев хладагента перед испарением;
- Г) Он снижает затраты энергии на подогрев хладагента перед испарением.
- Поясните свой выбор.
- № 10 Какие из следующих утверждений верны для цикла Ренкина с перегревом пара?
- А) Он ухудшает эффективность цикла за счет увеличения температуры пара;
- Б) Он улучшает эффективность цикла за счет увеличения температуры пара;
- В) Он снижает влажность пара на выходе из турбины;
- Г) Он увеличивает влажность пара на выходе из турбины.
- Поясните свой выбор.
- Вопросы закрытого типа:
- № 1 Выберите из списка все утверждения, справедливые для истинной теплоемкости реального газа:
- А. зависит от процесса, не зависит от температуры
- Б. зависит от температуры, не зависит от процесса
- В. зависит и от температуры, и от процесса
- Г. это среднеинтегральная величина
- Д. это среднеарифметическая величина
- Е. это среднеквадратичная величина
- Ж. зависит и от природы газа, и от температуры
- З. зависит от температуры, не зависит от природы газа
- И. не зависит ни от природы газа, ни от температуры
- К. это константа
- Л. зависит от природы газа, не зависит от температуры
- № 2 Выберите из списка все утверждения, справедливые для средней теплоемкости реального газа:
- А. зависит от процесса, не зависит от температуры
- Б. зависит от температуры, не зависит от процесса
- В. это среднеинтегральная величина
- Г. это среднеарифметическая величина
- Д. это среднеквадратичная величина
- Е. зависит и от природы газа, и от температуры
- Ж. зависит от температуры, не зависит от природы газа
- З. зависит и от температуры, и от процесса

И. не зависит ни от природы газа, ни от температуры

К. это константа

№ 3

Л. зависит от природы газа, не зависит от температуры

Выберите из списка все утверждения, справедливые для расчетного режима работы сопла Лаваля:

А. Давление на срезе равно давлению в окружающей среде

Б. Давление в минимальном сечении равно критическому давлению

В. Скорость потока на срезе равна скорости звука

Г. Давление на срезе сопла меньше, чем в минимальном сечении

Д. Тяга сопла - максимально возможная

Е. Скачок уплотнения может зайти внутрь сопла

№ 4

Ж. Статическая температура на срезе сопла меньше, чем в минимальном сечении

Выберите из списка верное выражение для скорости истечения газа из сопла:

А. $W = \sqrt{2c_v(T_1 - T_2)}$

Б. $W = \sqrt{2(i_2 - i_1)}$

В. $W = \sqrt{2c_p(T_1 - T_2)}$

Г. $W = \sqrt{kRT}$

№ 5

Какие из предложенных уравнений соответствуют первому закону термодинамики для потока в адиабатной системе малых размеров, не совершающей техническую работу?

А. $p dv = d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

Б. $di = -d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

В. $c_p dT = d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

Г. $di = W dW$

Д. $c_p dT = -d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

Е. $c_v dT = d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

Ж. $di = d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

З. $di = -W dW$

И. $v dp = -d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

К. $p dv = -d\left(\frac{W^2}{2}\right)$

№ 6

Какие утверждения верны для дросселирования?

А. При дросселировании давление всегда падает

Б. При дросселировании влажного пара степень сухости всегда уменьшается

В. Дросселирование необратимо

Г. Дросселирование наблюдается только в реальных газах

Д. При дросселировании температура газа всегда падает

- Е. При дросселировании влажного пара степень сухости всегда растет
Ж. При дросселировании температура газа всегда растет
- № 7 3. Дросселирование - изохальпийное явление
Как изменяется температура реального газа при дросселировании?
- А. уменьшается
Б. увеличивается
В. остается постоянной
- № 8 Г. может уменьшаться или увеличиваться в зависимости от начального состояния газа
При изотермическом расширении от V_1 до V_2 один моль кислорода совершил работу 3 кДж. Какое количество теплоты он при этом получил?
- А. 3 кДж
Б. 2 кДж
В. 1 кДж
Г. 0 кДж
- № 9 Каким уравнением выражается первый закон термодинамики?
- А. $Q = \Delta U + A$
Б. $Q = \Delta U - A$
В. $Q = \Delta U * A$
- № 10 где: Q – тепловой эффект, U – внутренняя энергия системы, A – работа системы
Расположите стадии цикла Стерлинга в правильной последовательности:
- А) изотермическое сжатие;
Б) изохорическое охлаждение;
В) изохорическое нагревание;
Г) изотермическое расширение.