

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОДИНАМИКА

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Пилотируемые и автоматические космические аппараты и системы
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
Выпускающая кафедра	А8 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
2	4	4	144	68	34	17	17	76	0	0	76	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов**

год набора группы: 2026

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 Саваровский А.А., к.т.н. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ**

Заведующий кафедрой Бабук В.А., д.т.н., проф. \_\_\_\_\_

# **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 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-1**

*знания:*

На уровне представлений:

- основные законы термодинамики применительно к тепловым машинам;
- методы и алгоритмы анализа термодинамического тепловых машин;

на уровне воспроизведения:

- методы анализа эффективности работы тепловых машин и установок;

на уровне понимания:

- понимание взаимосвязи основных термодинамических параметров в различных процессах;
- понимание особенностей термодинамических процессов, протекающих в тепловых машинах;

*умения:*

- проводить анализ работы тепловых машин и установок;
- проводить экспериментальные исследования термодинамических процессов рабочих тел тепловых машин;

*навыки:*

расчет основных термодинамических характеристик тепловых машин.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕРМОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

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

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ИЗДЕЛИЯХ РКТ, ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**.

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 для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

### 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
2	4	<b>Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.</b> 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.	32	18	6	12	0	14	20
2	4	<b>Раздел 2. Термодинамика потока.</b> 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.	27	11	6	5	0	16	20
2	4	<b>Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.</b> 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.	34	18	10	0	8	16	20
2	4	<b>Раздел 4. Реальные газы и пары.</b> 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.	21	5	5	0	0	16	20
2	4	<b>Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.</b> 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.	30	16	7	0	9	14	20
<b>Всего за 4 семестр</b>			144	68	34	17	17	76	100
<b>Всего по дисциплине</b>			144	68	34	17	17	76	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	Анализ циклов тепловых машин - двигателей на идеальном газе	8
2	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	Анализ паросиловых циклов	6
3		Анализ обратных циклов тепловых машин	3
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
<b>Всего за 4 семестр</b>			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	14
2	Раздел 2. Термодинамика потока.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по лабораторным работам	16
3	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	16
4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	16
5	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление расчетно-графической работы.	14
<b>Всего за 4 семестр</b>			<b>76</b>

## 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	КПос	КПос	Отч. по ЛР, ВРЗД, КПос	КПос	ДР	ВРЗД, КПос	Отч. по ЛР, КПос	КПос	ДР	КПос	ВРЗД, Отч. по ЛР, КПос	КПос	ВРЗД, КПос	КПос	ДР	РГР, Вопр. Диф. Зач, ВРЗД, КПос, диф. зач.

Условные обозначения:

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

**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, 215 экз.
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, эл. рес.
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, эл. рес.
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, 215 экз.
5. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 241 экз.
6. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.
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, эл. рес.
9. Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 60 экз.

### 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://ura1t.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](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 24.05.01 *Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетеchnические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.

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;
- расчетно-графическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**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.
<b>Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.</b>		
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) 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) В. В. Сахин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика однородных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (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, 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 однородных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1,2,3,4,5)	14
Итого по разделу 1		14
<b>Раздел 2. Термодинамика потока.</b>		
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) 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.	16

	<p>Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика гомогенных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (5)</p> <p>Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Лабораторная работа №4)</p> <p>В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть I)</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 (5)</p>	
Итого по разделу 2		16
<b>Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.</b>		
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 (Часть II)</p> <p>Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (2 ,8, 10)</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 IV)</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 IV)</p>	16
Итого по разделу 3		16
<b>Раздел 4. Реальные газы и пары.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	<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, 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>	16
Итого по разделу 4		16

Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление расчетно-графической работы.	<p>Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (10, 11 ,12 ,13)</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> <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>	14
Итого по разделу 5		14

## 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 или произвольного цикла 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.  
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.

Паспорт фонда оценочных средств

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		
2	4	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.	32	18	6	12	0	14	20		Вопросы по разделу, Отчет по ЛР, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 2. Термодинамика потока.	27	11	6	5	0	16	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.	34	18	10	0	8	16	20		Вопросы по разделу, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	21	5	5	0	0	16	20		Вопросы по разделу, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
2	4	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	30	16	7	0	9	14	20		Вопросы по разделу, Расчетно-графическая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Контроль посещаемости
Всего за 4 семестр			144	68	34	17	17	76	100		
Всего по дисциплине			144	68	34	17	17	76	100		

## Оценочные материалы по дисциплине ТЕРМОДИНАМИКА

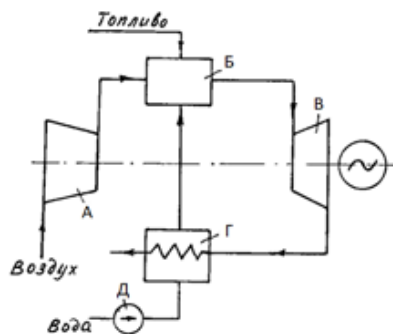
**ОПК-1 - Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Как изменится скорость истечения рабочего тела из суживающегося сопла на критическом режиме при повышении давления окружающей среды?

№ 2 Прочитайте текст и установите соответствие

На рисунке представлена схема парогазовой тепловой установки. Соотнесите название элемента и букву, указывающую его положение на схеме.



1. компрессор;
2. насос;
3. регенеративный подогреватель;

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между типом двигателя и циклом его работы:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1. бескомпрессорный дизельный двигатель | А. цикл Тринклера |
| 2. карбюраторный двигатель              | Б. цикл Карно     |
| 3. компрессорный дизельный двигатель    | В. цикл Дизеля    |
|   | Г. цикл Хамфри    |
|   | Д. цикл Отто      |
|   | Е. цикл Стирлинга |

№ 4 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность процессов в прямом цикле Карно:

- 1) Изотермическое сжатие
- 2) Адиабатное расширение
- 3) Адиабатное сжатие
- 4) Изотермическое расширение

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите процессы в цикле Ренкина в правильной последовательности:

- 1) Адиабатическое расширение
  - 2) Изобарическое нагревание
  - 3) Адиабатическое сжатие
  - 4) Изобарическое охлаждение
- № 6 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
При каких условиях может происходить процесс испарения?
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какое из следующих утверждений верно для цикла Карно?
- 1) Цикл Карно является наименее эффективным циклом.
  - 2) Цикл Карно является наиболее эффективным циклом.
  - 3) Цикл Карно всегда является изохорическим.
  - 4) Цикл Карно всегда является изобарическим.
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какое из следующих утверждений верно для обратимого процесса?
- 1) Процесс происходит без потерь энергии.
  - 2) Процесс происходит с максимальными потерями энергии.
  - 3) Процесс всегда является изотермическим.
  - 4) Процесс всегда является изобарическим.
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какое из следующих утверждений верно для изотермического процесса?
- 1) Температура системы изменяется
  - 2) Внутренняя энергия системы изменяется
  - 3) Теплообмен компенсирует работу, совершаемую системой или над системой
  - 4) Процесс происходит без теплообмена
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие из следующих утверждений верны для уравнения неразрывности потока жидкости?
- 1) Уравнение неразрывности потока основано на законе сохранения массы.
  - 2) Уравнение неразрывности потока применимо только для сжимаемых жидкостей.
  - 3) Уравнение неразрывности потока утверждает, что массовый расход постоянен вдоль потока.
  - 4) Уравнение неразрывности потока не учитывает изменение плотности жидкости.
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие из следующих утверждений верны для адиабатического процесса?
- 1) Теплоёмкость газа равна нулю.
  - 2) Температура системы остается постоянной.
  - 3) Внутренняя энергия системы изменяется.

4) Давление и объем остаются постоянными.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие из следующих утверждений верны для процесса дросселирования?

- 1) Процесс дросселирования сопровождается изменением энтальпии;
- 2) Процесс дросселирования происходит при постоянной энтальпии;
- 3) Процесс дросселирования сопровождается изменением температуры;
- 4) Процесс дросселирования сопровождается изменением внутренней энергии.