

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОДИНАМИКА

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
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	3	108	68	34	17	17	40	0	0	40	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2025

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Савченко Григорий Борисович, старший преподаватель

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

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., 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 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности

ПСК-1.3 — Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов

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:*

умения:

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

тепловых машин;

*навыки:*

- расчет основных термодинамических характеристик тепловых машин.

## **ПСК-1.3**

*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 *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

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

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- 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 3 з.е., 108 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	ПСК-1.3
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.	30	22	6	12	4	8	20	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.	23	15	6	5	4	8	20	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.	23	15	10	0	5	8	20	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.	17	9	5	0	4	8	20	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.	15	7	7	0	0	8	20	20
Всего за 4 семестр			108	68	34	17	17	40	100	100
Всего по дисциплине			108	68	34	17	17	40	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.	Изучение методов решения практических задач по разделу; решение практических задач	4
2	Раздел 2. Термодинамика потока.	Изучение методов решения практических задач по разделу; решение практических задач	4
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.	Анализ паросиловых циклов	2
5		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
<b>Всего за 4 семестр</b>			<b>17</b>

### 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	8
2	Раздел 2. Термодинамика потока.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по лабораторным работам	8
3	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	8
4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	8
5	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление расчетно-графической работы.	8
<b>Всего за 4 семестр</b>			<b>40</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	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	Отч. по ЛР, ВРЗД	ВРЗД	ДР	ВРЗД	Отч. по ЛР, ВРЗД	ВРЗД	ДР	ВРЗД	Отч. по ЛР, ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД, РГР	ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- РГР – расчетно-графическая работа;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- отчет по ЛР;
- расчетно-графическая работа;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 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, 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. СПб.: Лань, 2021, 25 экз.
8. Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика. Санкт-Петербург: Лань, 2021, эл. рес.
9. Ю. В. Анискевич, А. М. Горбачёва, Д. Г. Кравченко. . Термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 60 экз.
10. 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. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
2. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### 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. Интерактивная доска.

### **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 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. 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 Способен применять естественнонаучные и общетехнические и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности;  
ПСК-1.3 Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов.

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;
- вопросы по разделу;
- отчет по ЛР;
- расчетно-графическая работа;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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: СПб.: 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) 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) 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) 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, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Часть I)	8
Итого по разделу 1		8
<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: СПб.: Лань, 2021 (6) 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) Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (6)	8

	<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>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>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 ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Термодинамика энергетических систем. Кн. 1 Термодинамика однородных и гетерогенных систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (5)</p>	
Итого по разделу 2		8
<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: СПб.: Лань, 2021 (2, 8, 10)</p> <p>Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (2, 8, 10)</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> <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>	8
Итого по разделу 3		8
<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>Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: СПб.: 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 (Часть I)</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 однородных и</p>	8

	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)	
Итого по разделу 4		8
<b>Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление расчетно-графической работы.	Н. М. Цирельман. . Техническая термодинамика: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (10, 11, 12, 13) 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: СПб.: Лань, 2021 (10, 11, 12, 13) 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) 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. Термодинамика энергетических систем. Кн. 2 Техническая термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (13, 14, 15)	8
Итого по разделу 5		8

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- отчет по ЛР;
- расчетно-графическая работа;
- вопросы к экзамену;
- экзамен.

### 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 представлен в УМК дисциплины.

#### 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.

#### Расчетно-графическая работа

Расчетно-графическая работа представляет собой анализ двух циклов тепловых машин (паросиловой и на идеальном газе), в соответствии с индивидуальным заданием. Темы заданий содержатся в УМК дисциплины.

В отчет входит:

- графические изображения циклов 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.

Защита работы проходит в форме ответов на вопросы преподавателя. Критерием выполнения работы является достоверность расчета, правильное изображение цикла во всех координатах и качество оформления пояснительной записки.

### **Вопросы к экзамену**

Вопросы к экзамену входят в экзаменационные билеты и охватывают весь курс термодинамики и представлены в УМК дисциплины.

Экзаменационные билеты утверждаются на заседании кафедры А8 перед началом сессии.

### **Экзамен**

Необходимым условием получения допуска к экзамену является выполнение всех контрольных мероприятий, предусмотренных программой дисциплины, включая успешную защиту всех предусмотренных программой лабораторных работ и успешное выполнение расчетно-графической работы.

Экзамен проводится в форме ответов студента на теоретические вопросы (разделам 1,2 и 4) и решения практических задач на анализ цикла тепловых машин (разделы 3 и 5). Вопросы и задачи утверждаются на заседании кафедры ежегодно перед сессией. При оценивании практических задач учитывается только фактический результат (правильно/неправильно) в виде уравнения КПД или холодильного коэффициента, либо их числового значения.

Итоговая оценка получается при условии правильного решения задачи на основе правильности и полноты ответа на теоретические вопросы:

"отлично" - решена задача и полнота ответа по теоретическим вопросам не менее 80%

"хорошо" - решена задача и полнота ответа по теоретическим вопросам 60-80%

"удовлетворительно" - решена задача и полнота ответа по теоретическим вопросам 50-60%

"Неудовлетворительно" может быть поставлено при невыполнении контрольных мероприятий (и, соответственно, недопуске к экзамену); при неверном решении задачи; при отсутствии ответов на теоретические вопросы; а также если при правильно решенной задаче полнота ответов по теоретическим вопросам составляет менее 60%.

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	ПСК-1.3	
2	4	Раздел 1. Общая термодинамика. Первый закон термодинамики.	30	22	6	12	4	8	20	20	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР
2	4	Раздел 2. Термодинамика потока.	23	15	6	5	4	8	20	20	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР
2	4	Раздел 3. Второй закон термодинамики. Анализ циклов газовых тепловых машин прямого цикла.	23	15	10	0	5	8	20	20	Вопросы по разделу
2	4	Раздел 4. Реальные газы и пары.	17	9	5	0	4	8	20	20	Вопросы по разделу
2	4	Раздел 5. Циклы паросиловых и холодильных установок.	15	7	7	0	0	8	20	20	Вопросы по разделу, Расчетно-графическая работа, Вопросы к экзамену
Всего за 4 семестр			108	68	34	17	17	40	100	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	17	17	40	100	100	



## Оценочные материалы по дисциплине ТЕРМОДИНАМИКА

**ОПК-1 - Способен применять естественнонаучные и общетехнические и экспериментальные исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности**

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какие из следующих утверждений верны для первого начала термодинамики?
1. Изменение внутренней энергии системы равно сумме полученной теплоты и совершенной работы
  2. В изолированной системе внутренняя энергия остается постоянной
  3. Невозможно создать вечный двигатель первого рода
  4. Энтропия изолированной системы всегда возрастает
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Как меняются термодинамические параметры давление  $p$ , температура  $T$  (статические  $T$ ) и торможения  $T$ ), энтальпия  $i$ , скорость потока  $W$ , скорость звука  $a$ , и секундный массовый расход при течении идеального газа в канале переменного сечения, если это:
- сужающийся канал с числом  $M$  на входе меньше 1;
  - сужающийся канал с числом  $M$  на входе больше 1;
  - расширяющийся канал с числом  $M$  на входе меньше 1;
  - расширяющийся канал с числом  $M$  на входе больше 1.
- № 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- От чего зависит скорость истечения идеального газа  $W$ :
- из суживающегося сопла?
  - из комбинированного сопла (Лавалья)?
- Запишите развернутый обоснованный ответ
- № 4 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
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какие из перечисленных процессов являются обратимыми в термодинамическом смысле?
1. Изотермическое расширение идеального газа
  2. Свободное расширение газа в вакуум
  3. Медленное адиабатическое сжатие газа
  4. Диффузия газов
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какие из следующих утверждений справедливы для адиабатного процесса в идеальном газе?
1. Температура газа всегда уменьшается
  2. Изменение внутренней энергии равно совершенной работе ( $\Delta U = -A$ )
  3. Давление и объем связаны с соотношением  $PV^k = \text{const}$

4. Энтропия системы остается постоянной

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Указать, какие соотношения термодинамических параметров (давление  $p$  [Па], удельный объем  $v$  [м<sup>3</sup>/кг], абсолютная температура  $T$  [K]) соответствуют термодинамическим процессам идеального газа:

1 изобарному;

2 изохорному;

3 изотермическому;

4 адиабатному;

$$A. \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}, p = const$$

$$Б. \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}, v = const$$

$$B. \frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}, T = const$$

$$Г. \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$Д. \quad pv^n = const, \quad n = \frac{(c - c_p)}{(c - c_v)}$$

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

Установить соответствие:

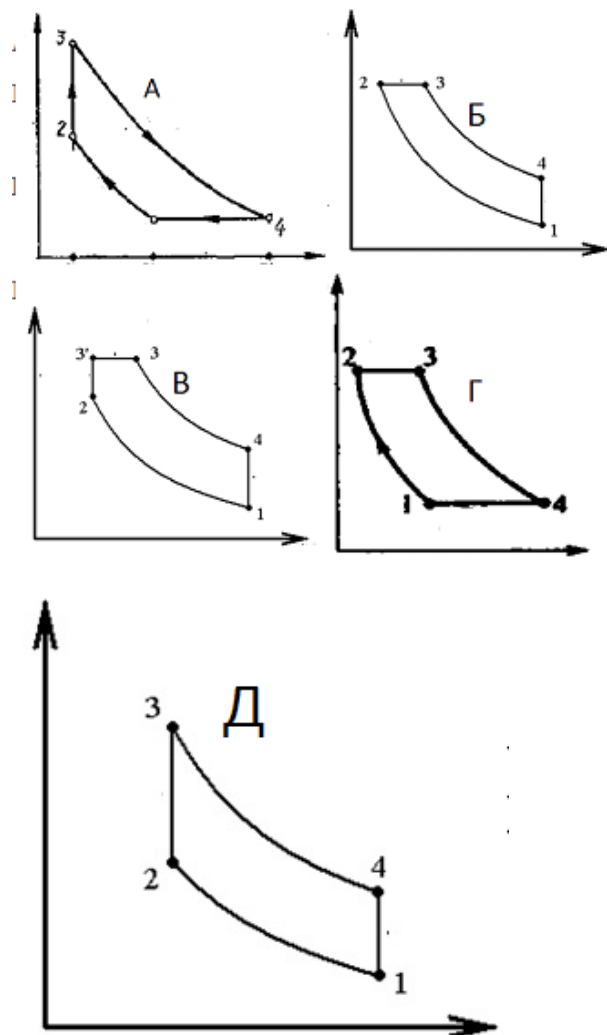
Указать, какой двигатель соответствует изображенному циклу ( $p$ - $v$  координаты):

1 – пульсирующий ГТУ;

2 – компрессорный дизельный

3 – бескомпрессорный дизельный

4 – ГТУ непрерывного действия



№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите процессы в цикле Брайтона в правильной последовательности:

- 1) Адиабатическое расширение
- 2) Изобарный подвод тепла
- 3) Адиабатическое сжатие
- 4) Изобарный отвод тепла

№ 10 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите процессы в цикле ТРД в правильной последовательности:

- 1) Адиабатическое расширение
- 2) Изобарный подвод тепла
- 3) Адиабатическое сжатие
- 4) Изобарный отвод тепла

№ 11 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.

№ 12 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.

**ПСК-1.3 - Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов**

№ 1 Прочитайте текст и установите последовательность

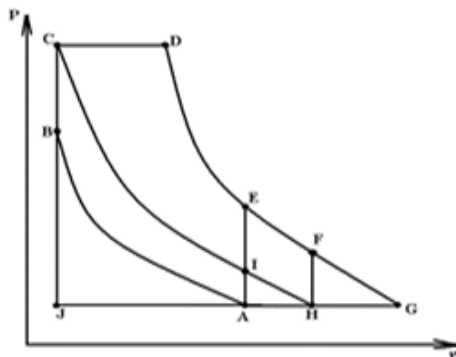
Установите правильную последовательность процессов в прямом цикле Карно:

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

№ 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Выбрать правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Цикл HCDGH – какому типу двигателя соответствует?

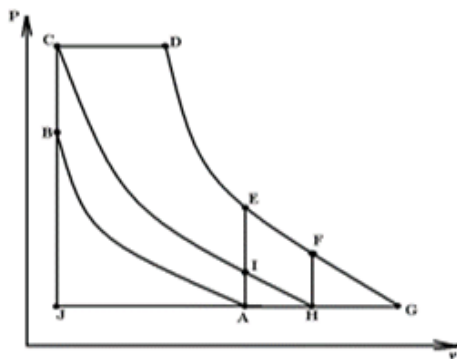


1. Газотурбинная установка непрерывного действия
2. ПуГТУ
3. жидкостной ракетный двигатель
4. двигатель внутреннего сгорания

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Выбрать правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Цикл JCDGJ – какому типу двигателя соответствует?



1. Газотурбинная установка непрерывного действия

2. ПуГТУ

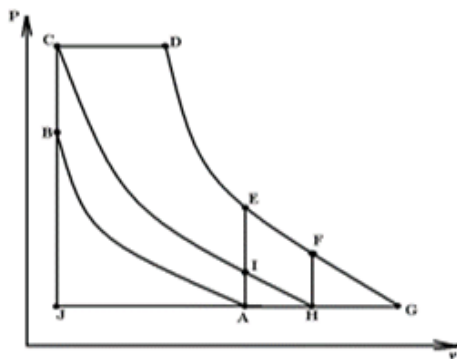
3. жидкостной ракетный двигатель

4. двигатель внутреннего сгорания

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Выбрать правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Цикл HCDGH – какому типу двигателя соответствует? ГТУ, ЖРД, ДВС, или ПВРД?



1. Газотурбинная установка непрерывного действия

2. жидкостной ракетный двигатель

3. двигатель внутреннего сгорания

4. прямоточный воздушно-реактивный двигатель

№ 5 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Запишите развернутый обоснованный ответ

Перечислить недостатки циклов ГТУ в сравнении с циклами ДВС

№ 6 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Запишите развернутый обоснованный ответ

Перечислить достоинства циклов ГТУ в сравнении с циклами ДВС

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие

Как вычисляются термодинамические функции в политропном процессе через термодинамические параметры? Указать соответствие.

1 Изменение величины работы объемной деформации в ТД процессе

2 Изменение теплоты в ТД процессе

3 Изменение энтальпии в ТД процессе

#### 4 Изменение внутренней энергии в ТД процессе

А.  $p \cdot dV$

Б.  $T \cdot dS$

В.  $C_p \cdot dT$

Г.  $C_v \cdot dT$

Д.  $-V \cdot dp$

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие

Как вычисляются термодинамические функции в изохорном процессе? Указать соответствие.

1 Изменение располагаемой работы в ТД процессе

2 Изменение величины работы объемной деформации в ТД процессе

3 Изменение энтальпии в ТД процессе

А.  $-V \cdot dp$

Б. 0

В.  $C_p \cdot dT$

Г.  $C_v \cdot dT$

№ 9 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

№ 10 Прочитайте текст и установите соответствие

На рисунке - тепловая диаграмма с циклами. Какая последовательность соответствует указанным циклам?

А Цикл Тринклера

Б Цикл Дизеля

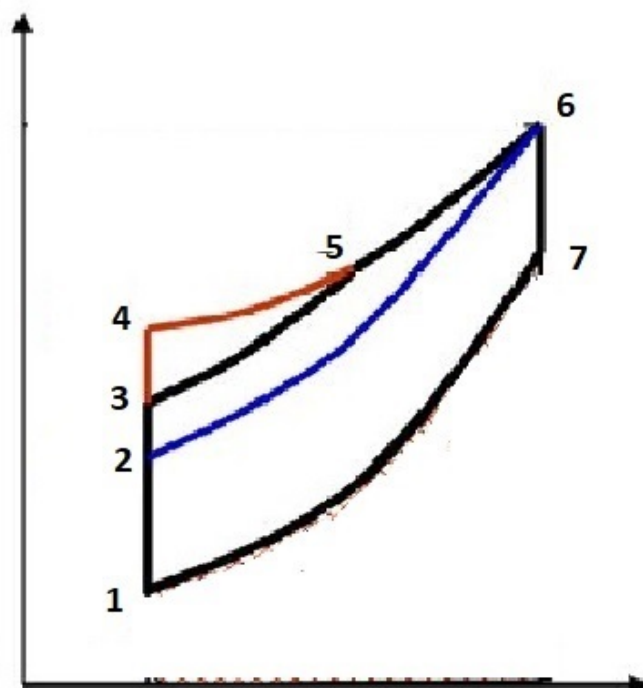
В Цикл Отто

А 1-3-5-6-7-1

Б 1-4-6-7-1

В 1-2-6-7-1

Г 1-7-6-5-3



№ 11 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

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

Какие из следующих утверждений верны для адиабатического процесса?

- 1) Процесс происходит без теплообмена с окружающей средой.
- 2) Температура системы остается постоянной.
- 3) Внутренняя энергия системы изменяется.
- 4) Давление и объем остаются постоянными.

№ 13 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.

Содержание дисциплины является логическим продолжением знаний, полученных при освоении программы бакалавриата, в том числе по дисциплине "Иностранный язык" и служит основой для освоения дисциплин: