

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Тверской государственный технический университет»**  
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по учебной работе  
Э.Ю. Майкова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201.. г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины обязательной части  
Блока 1 -«Модуль «Механика»».

**«Термодинамика»**

Направление подготовки специалистов – 21.05.04 Горное дело  
Направленность (специализация) подготовки – Открытые горные работы  
Тип задач профессиональной деятельности: производственно-  
технологический

Форма обучения – очная

Факультет природопользования и инженерной экологии  
Кафедра гидравлики, теплотехники и гидропривода

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки специалистов в части требований к результатам обучения по дисциплине и учебному плану.

Разработчик программы: доц. каф. ГТ и ГП

Ф.В. Качановский

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ГТ и ГП  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202..г., протокол № \_\_\_\_\_.

Заведующий кафедрой

А.Л. Яблонев

Согласовано:

Начальник учебно-методического  
отдела УМУ

Д.А. Барчуков

Начальник отдела комплектования  
зональной научной библиотеки

О.Ф. Жмыхова

## 1. Цели и задачи дисциплины

**Целью изучения дисциплины «Термодинамика»** является изучение основных законов термодинамики, термодинамических процессов и циклов, свойств рабочих тел, основ расчёта теплообменных аппаратов.

**Задачами дисциплины** являются: **знание** общих законов термодинамики, уравнения состояния идеальных и реальных газов, уравнений термодинамических процессов жидкостей и газов; **умение** использовать в расчётах термодинамические свойства идеальных и реальных газов и паров, циклов паросиловых установок и обратных циклов.

### Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина относится к обязательной части Блока 1 «Модуль «Механика»». Базой для изучения курса являются физика, математика, программирование и алгоритмические языки. Изучение рассматриваемой дисциплины необходимо для последующего изучения дисциплин «Электротехника», «Математические методы в горном деле», «Процессы сушки дисперсных материалов», «Физика горных пород» и при написании выпускной квалификационной работы.

## 3. Планируемые результаты обучения дисциплине

### 3.1 Планируемые результаты обучения дисциплине

#### **Компетенция, закрепленная за дисциплиной в ОХОП:**

ОПК-4. Способен с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр.

#### **Индикаторы общепрофессиональных компенсаций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

ИОПК-4.4. Демонстрирует понимание физических явлений и применяет законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, а также знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики

ИОПК-4.5. Проводит гидромеханические и термодинамические расчеты в профессиональной деятельности с целью оптимальной эксплуатации инженерных систем.

#### **Показатели оценивания индикаторов достижения компетенции**

##### **Знать:**

31. Основные законы термодинамики.

32. Основные параметры термодинамических процессов.

33. Основные уравнения термодинамики.

**Уметь:**

У1. Решать простые задачи теплопередачи с помощью компьютера.

У2. Решать простые задачи теплопереноса с помощью компьютера.

**3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций**

Проведение лекционных и практических занятий.

**4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы**

Таблица 1. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Зачетные единицы	Академические часы
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	4	144
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>		45
В том числе:		
Лекции		15
Практические занятия (ПЗ)		30
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>		27+36(экз)
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Реферат		не предусмотрен
Другие виды самостоятельной работы: - подготовка к защите лаб. работ		27+36(экз)
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		36

**5. Структура и содержание дисциплины****5.1. Структура дисциплины**

Таблица 2. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

№	Наименование Модуля	Трудоемкость часы	Лекции	Практич. занятия	Лаб. практикум	Самост. работа
1	Модуль 1. Виды энергии и термодинамические уравнения	16	3	4	-	9+5(экз)
2	Модуль 2. Первый закон термодинамики	18	2	4	-	9+5(экз.)
3	Модуль 3. Второй закон термодинамики	20	2	4	-	9+5(экз)
4	Модуль 4. Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия идеального	18	2	4	-	9+5(экз.)

	газа					
5	Модуль 5. Термодинамические процессы идеальных газов	20	2	4	-	9+5(экз.)
6	Модуль 6. Реальные газы	16	2	5	-	9+5(экз.)
7	Модуль 7. Истечение газов и паров	18	2	5		9+6(экз.)
	Всего на дисциплину	144	15	30	-	63+36(экз.)

## 5.2. Содержание дисциплины

### **МОДУЛЬ 1 «Виды энергии и термодинамические уравнения»**

Предмет термодинамики (ТД) и основные черты термодинамического (ТД) метода. Виды энергии и формы обмена энергией. Термодинамическая система, окружающая среда и взаимодействие между ними. Состояние термодинамической системы, параметры и уравнение состояния. Внутренняя энергия термодинамической системы. Термодинамические процессы.

### **МОДУЛЬ 2 «Первый закон термодинамики»**

Первый закон ТД как форма закона сохранения и превращения энергии. Работа. Свойства работы как формы обмена энергией. Потенциалы и координаты ТД взаимодействий. Энтропия как мера хаотичности, беспорядочности теплового движения. Теплота. Свойства теплоты как формы обмена энергией. Уравнение первого закона ТД закрытых и открытых ТД систем. Основное ТД тождество. Энтальпия. Располагаемая работа. Характеристические функции.

### **МОДУЛЬ 3. «Второй закон термодинамики»**

Сущность второго закона ТД. Понятие о равновесных и обратимых ТД процессах. ТД анализ круговых процессов (циклов). Термический КПД. Холодильный коэффициент. Цикл Карно. Термический КПД цикла Карно. Понятие о ТД температурной шкале. Тепловая характеристика обратимых циклов.

### **МОДУЛЬ 4 «Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия идеального газа»**

ТД свойства и теплоёмкость идеального газа. ТД характеристики идеального газа. Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия идеального газа. Истинная и средняя теплоёмкости газов. Теплоёмкость идеального газа при  $v=\text{const}$  и  $p=\text{const}$ . Основы кинетической теории теплоемкости.

### **МОДУЛЬ 5 «Термодинамические процессы идеальных газов»**

Основные ТД процессы идеальных газов. Задачи изучения ТД процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермный процесс. Адиабатный процесс. Политропный процесс.

## **МОДУЛЬ 6 «Реальные газы»**

Реальные газы. Качественные особенности реальных газов. Уравнение состояния реальных газов в вириальной форме. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

## **МОДУЛЬ 7 «Истечение газов и паров»**

Истечение газов и паров. Установившееся одномерное течение газов. Основные уравнения истечения. Адиабатное истечение газа. Истечение из сопла Лавала. Влияние трения на процессы истечения из сопел и диффузоров. Параметры торможения. Нерасчётный режим истечения из сопла Лавала. Скачки уплотнения. Процессы в эжекторах. Истечение реальных газов и паров.

### **5.3. Лабораторные работы**

УП лабораторные работы не предусмотрены

### **5.4. Практические занятия**

Таблица 4. Практические занятия и их трудоемкость

<b>Модули. Цели практических занятий</b>	<b>Наименование прак- тических занятий</b>	<b>Трудоемкость в часах</b>
<b>Модуль 1.</b> Параметры состояния термодинамической системы. Уравнение состояния рабочего тела.	Решение задач	3
<b>Модуль 2.</b> Теплоемкость, внутренняя энергия и энтальпия рабочего тела. Смеси рабочих тел.	Решение задач	3
<b>Модуль 3.</b> Первый закон термодинамики.	Решение задач	3
<b>Модуль 4.</b> Второй закон термодинамики.	Решение задач	2
<b>Модуль 5.</b> Влажный воздух. Истечение и дросселирование рабочих тел.	Решение задач	2
<b>Модуль 6.</b> Конвективный теплообмен. Теплообменные аппараты.	Решение задач	2

## **6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль их успеваемости**

### **6.1. Цели самостоятельной работы**

Формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординар-

ных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умению подготовки выступления и ведения дискуссии.

## **6.2. Организация и содержание самостоятельной работы**

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к лабораторным работам, к текущему контролю успеваемости, в самостоятельном решении задач, в подготовке к зачёту.

В рамках дисциплины выполняется 4-6 лабораторных работ, которые защищаются посредством тестирования или устным опросом (по желанию обучающегося). Максимальная оценка за каждую выполненную лабораторную работу – 5 баллов, минимальная – 3 балла.

Выполнение всех лабораторных работ обязательно. В случае невыполнения лабораторной работы по уважительной причине студент имеет право выполнить ее самостоятельно в компьютерном классе, по согласованной с преподавателем исходных данных по модулю, по которому пропущена лабораторная работа.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература**

1.Теплотехника: учебник для техн. спец. вузов / В.Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. - 6-е изд.; стер. - Москва: Высшая школа, 2008. - 671 с. - Библиогр.: с. 670 - 671. - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-06-003958-0: 534 р. 60 к. - (ID=64402-16)

2.Замалеев, З.Х. Основы гидравлики и теплотехники: учебное пособие для студентов ВПО по программе бакалавриата по направлению подготовки "Строительство" (профили "Промышленное и гражданское строительство", "Водоснабжение и водоотведение")/З.Х. Замалеев, В.Н. Посохин, В.М. Чефанов. - 4-е изд.; стер. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2022. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ЭБС Лань. - Текст: электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 21.07.2022. - ISBN 978-5-507-44674-2. - URL: <https://e.lanbook.com/book/238526> . - (ID=99887-0)

3.Белов, Г.В. Термодинамика: учебник и практикум вузов: в 2 частях. Часть 2 / Г.В. Белов. - 3-е изд. - Москва: Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст: электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-05094-3. - URL: <https://urait.ru/book/termodinamika-v-2-ch-chast-2-490731> . - (ID=130639-0)

4.Белов, Г.В. Термодинамика: учебник и практикум для вузов: в 2 частях. Часть 1 / Г.В. Белов. - 3-е изд. - Москва: Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст: электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-05093-

6. - URL: <https://urait.ru/book/termodinamika-v-2-ch-chast-1-490729> . - (ID=74842-0)

## 7.2. Дополнительная литература

1. Лариков, Н.Н. Теплотехника : учебник для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций" / Н.Н. Лариков. - 3-е изд.; перераб. и доп. - Москва: Стройиздат, 1985. - 432 с. - Текст: непосредственный. - 1 р. 30 к. - (ID=73879-175)

2. Кудинов, В.А. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для вузов / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - 4-е изд.; доп. и перераб. - Москва: Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст: электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-06669-2. - URL: <https://urait.ru/book/tehnicheskaya-termodinamika-i-teploperedacha-488731> . - (ID=74939-0)

3. Крайнов, А.В. Термодинамика и теплопередача: учебное пособие. Ч. 1: Термодинамика / А.В. Крайнов, Е.Н. Пашков. - Томск: Томский политехнический университет, 2017. - ЦОР IPR SMART. - Текст: электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-4387-0769-1. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/84039.html> . - (ID=137509-0)

4. Меркулов, М. В. Теплотехника, техническая термодинамика и теплоснабжение геологоразведочных работ: учебник и практикум для вузов / М. В. Меркулов, В. А. Косьянов, С. В. Головин. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 330 с.- (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-14334-8.- Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. - URL: <https://urait.ru/bcode/496773> (дата обращения: 12.10.2022). - (ID=140867-0)

5. Кузнецов, Н.Д. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам: учеб. пособие для вузов по спец. "Автоматизация теплоэнергет. процессов" / Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. - 2-е изд.; доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 324 с. - Текст: непосредственный. - 1 р. 10 к. - (ID=89330-34)

6. Кузнецов, Б.Ф. Виртуальная лаборатория "Теплотехника". Версия 2.07: лабораторные работы: презентация / Б.Ф. Кузнецов; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь: ТвГТУ, 2007. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/65384> . - (ID=65384-1)

7. Кузнецов, Б.Ф. Виртуальная лаборатория "Теплотехника". Версия 2.07: лабораторные работы: Демо-версия / Б.Ф. Кузнецов; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь: ТвГТУ, 2009. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/75505> . - (ID=75505-1)

## 7.3. Методические материалы

1. Оценочные средства промежуточной аттестации: экзамен по дисциплине "Термодинамика" направления подготовки 21.05.04 Горное дело. Специа-

лизация: Открытые горные работы: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Гидравлика, теплотехника и гидропривод; разработ. Н.П. Курбатов. - Тверь: ТвГТУ, 2017. - (УМК-В). - Сервер. - Текст: электронный. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/132289> . - (ID=132289-0)

2.Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине "Термодинамика" направления подготовки 21.05.04 Горное дело. Специализация: Открытые горные работы: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Гидравлика, теплотехника и гидропривод. - Тверь: ТвГТУ, 2017. - (УМК-М). - Сервер. - Текст: электронный. - (ID=132292-0)

3.Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Термодинамика" направления подготовки 21.05.04 Горное дело. Специализация: Открытые горные работы: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Гидравлика, теплотехника и гидропривод. - Тверь: ТвГТУ, 2017. - (УМК-М). - Сервер. - Текст: электронный. - (ID=132291-0)

4.Конспект лекций по дисциплине "Термодинамика" направления подготовки 21.05.04 Горное дело. Специализация: Открытые горные работы: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Гидравлика, теплотехника и гидропривод. - Тверь: ТвГТУ, 2017. - (УМК-Л). - Сервер. - Текст: электронный. - (ID=132290-0)

5.Задание для контрольной работы для студентов заочной формы обучения по дисциплине "Термодинамика" направления подготовки 21.05.04 Горное дело. Специализация: Открытые горные работы: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Гидравлика, теплотехника и гидропривод. - Тверь: ТвГТУ, 2017. - (УМК-КР). - Сервер. - Текст: электронный. - (ID=132293-0)

#### **7.4. Программное обеспечение по дисциплине**

1. Операционная система Microsoft Windows: лицензии № ICM-176609 и № ICM-176613 (Azure Dev Tools for Teaching).

2. Microsoft Office 2007 Russian Academic: OPEN No Level: лицензия № 41902814.

#### **7.5. Специализированные базы данных, справочные системы, электронно-библиотечные системы, профессиональные порталы в Интернет**

ЭБС и лицензионные ресурсы ТвГТУ размещены:

1. Ресурсы:<https://lib.tstu.tver.ru/header/obr-res>
2. ЭКТвГТУ:<https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/Web>
3. ЭБС "Лань":<https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС "Университетская библиотека онлайн":<https://www.biblioclub.ru/>
5. ЭБС «IPRBooks»:<https://www.iprbookshop.ru/>
6. Электронная образовательная платформа "Юрайт" (ЭБС «Юрайт»):<https://urait.ru/>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY:<https://elibrary.ru/>

8. Информационная система "ТЕХНОРМАТИВ". Конфигурация "МАКСИМУМ": сетевая версия (годовое обновление): [нормативно-технические, нормативно-правовые и руководящие документы (ГОСТы, РД, СНИПы и др.)]. Диск 1,2,3,4. - М.: Технорматив, 2014. - (Документация для профессионалов). - CD. - Текст: электронный. - 119600 р. – (105501-1)
9. База данных учебно-методических комплексов:  
<https://lib.tstu.tver.ru/header/umk.html>

УМК размещен: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/117915>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

При изучении дисциплины «Термодинамика» используются современные средства обучения: наглядные пособия, презентации, схемы. Возможна демонстрация лекционного материала с помощью мультимедийного проектора.

Перечень основного оборудования (реального и виртуального):

Работа 1. Изучение процессов теплообмена при свободной и вынужденной конвекции на горизонтально расположенном трубопроводе

Работа 2. Определение с помощью уравнения первого закона ТД количества теплоты, отдаваемого в окружающую среду в условиях лабораторной установки.

Работа 3. Определение экспериментальным путем параметров влажного воздуха; исследование процессов изменения параметров влажного воздуха с использованием  $I-d$  диаграммы.

Работа 4. Исследование зависимости массового расхода и скорости течения воздуха через суживающееся сопло от отношения давлений за соплом и перед ним.

## **9. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

### **9.1. Фонд оценочных средств промежуточной аттестации в форме экзамена**

1. Шкала оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

2. Критерии оценки за экзамен:

для категории «знать»:

выше базового – 2;

базовый – 1;

ниже базового – 0.

Критерии оценки и ее значение для категории «уметь» (бинарный критерий):

отсутствие умения – 0 балл;

наличие умения – 2 балла.

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;  
«хорошо» - при сумме баллов 4;  
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;  
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

3. Вид экзамена – устный.

4. Экзаменационный билет соответствует форме, утвержденной Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования с учетом профессиональных стандартов. Типовой образец экзаменационного билета приведен в Приложении. Обучающемуся даётся право выбора заданий из числа, содержащихся в билете, принимая во внимание оценку, на которую он претендует.

Число экзаменационных билетов – 20. Число вопросов (заданий) в экзаменационном билете – 3.

Продолжительность экзамена – 60 минут.

При ответе на вопросы экзамена допускается использование справочными данными, ГОСТами, методическими указаниями по выполнению лабораторных работ в рамках данной дисциплины.

При желании студента покинуть пределы аудитории во время экзамена экзаменационный билет после его возвращения заменяется.

### **Вопросы к экзамену по дисциплине «Термодинамика»**

1. Термодинамическая (ТД) система: понятие.
2. Изолированная и адиабатная ТД системы: понятие, общность и различия.
3. Однородная, гомогенная, гетерогенная ТД система: понятия.
4. Основные ТД параметры состояния системы: назвать, определить.
5. Уравнение состояния ТД системы. Равновесное и неравновесное состояния ТД системы: понятие, примеры.
6. Что такое ТД процесс? Равновесный и неравновесный ТД процессы: понятие.
7. В каких случаях параметр состояния ТД системы считается функцией состояния? Примеры функций состояния.
8. Интенсивные и аддитивные (экстенсивные) параметры ТД системы: понятие, примеры.
9. Два способа передачи энергии от одного тела к другому.
10. Внутренняя энергия ТД системы: понятие.
11. Первый закон термодинамики, его энергетический смысл. Уравнение первого закона ТД: написать (для любой и для единичной массы вещества), пояснить.
12. Истинная теплоемкость рабочего тела: определение. Удельная теплоемкость. Виды теплоемкостей газов.
13. Идеальный газ: понятие, характеристическое уравнение состояния.
14. Газовая и универсальная газовая постоянная: понятие, определения, связь между ними.

15. Смесь идеальных газов. Парциальное давление. Закон Дальтона.
16. Объемные, массовые и мольные доли компонентов газовой смеси. Связь между объемными и массовыми долями.
17. Удельные теплоемкости газовых смесей: привести формулы и пояснить.
18. Второй закон термодинамики: смысл, формулировки.
19. Энтропия: понятие, определение.
20. Цикл и теоремы Карно.
21. Основные ТД процессы: назвать, пояснить.
22. Изохорный процесс: уравнение состояния, графическое представление в  $p$ - $v$ -координатах. Уравнение 1-го закона ТД для изохорного процесса.
23. Изобарный процесс: уравнение состояния процесса, графическое представление в  $p$ - $v$ -координатах. Работа процесса. Уравнение 1-го закона ТД для изобарного процесса.
24. Изотермический (изотермный) процесс: уравнение состояния процесса, графическое представление в  $p$ - $v$ -координатах. Уравнение 1-го закона ТД для изотермического процесса.
25. Адиабатный процесс: уравнение состояния процесса, графическое представление в  $p$ - $v$ -координатах. Уравнение 1-го закона ТД для адиабатного процесса.
26. Политропный процесс: понятие. Уравнение политропы. Изобарный, изохорный, изотермический и адиабатный процессы как частные случаи политропного процесса. Работа в политропном процессе.
27. Допущения при формулировании 1-го закона ТД для потока газа. Уравнение, описывающее 1-й закон ТД для потока газа: написать, пояснить.
28. Энтальпия (теплосодержание): определение. Уравнение 1-го закона ТД для потока газа с учётом энтальпии.
29. Сопло и диффузор: понятия. Скорость истечения из сопла: написать формулу и пояснить. Массовый секундный расход газа (кг/с) из сопла: написать, пояснить.
30. Критическое давление и критическая скорость в выходном сечении канала (сопла): понятие и определение.
31. Комбинированное сопло Лавалля: понятие, конструктивная схема и параметры.
32. Дросселирование газов: понятие. Уравнение процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томсона. Точка и температура инверсии.
33. Коэффициент сжимаемости газов: понятие (смысл), определение.
34. Вириальное уравнение состояния газов: написать, пояснить смысл и назначение. Упрощённое вириальное уравнение: написать, пояснить.
35. Уравнение Ван-дер-Ваальса: написать, пояснить смысл и назначение. В чём ограниченность этого уравнения.
36. Проанализируйте изотермы, построенные по уравнению Ван-дер-Ваальса.

37. Критическая температура, нижняя пограничная кривая, верхняя пограничная кривая для реального вещества: каков физический смысл этих терминов?

38. На какие области можно разбить  $p$ - $v$ -диаграмму реального вещества?

39. Связь между критическими параметрами и постоянными уравнения Ван-дер-Ваальса: написать формулы и пояснить.

40. Универсальное уравнение состояния реальных газов М.П. Вукаловича и И.И. Новикова: написать и пояснить.

41. Пар и парообразование: понятие.

42. Испарение и кипение: понятие.

43. Конденсация, сублимация и десублимация: понятия.

44. Насыщенный пар: понятие, условия существования.

45. Перегретый пар и степень перегрева: понятие.

46. Сухой насыщенный пар: понятие, условия существования.

47. Влажный пар, степень сухости, степень влажности: понятие, определения.

48. Влажный воздух, насыщенный влажный воздух, ненасыщенный влажный воздух: понятия.

49. Представление о давлении влажного воздуха по Дальтону. Абсолютная и относительная влажность воздуха: понятие, определения.

50. Как используется закон Бойля-Мариотта для определения относительной влажности воздуха? Плотность и молекулярная масса влажного воздуха: написать формулы и пояснить их смысл.

51. Влагосодержание воздуха: понятие, определение.

52. Связь между влагосодержанием и относительной влажностью воздуха: написать формулу и пояснить смысл.

53. Объём влажного воздуха, приходящегося на 1 кг сухого воздуха, удельный объём влажного воздуха, удельная массовая теплоёмкость паровоздушной смеси: написать расчётные формулы и пояснить их.

54. Процесс получения работы в паротурбинной установке: пояснить с помощью схемы.

55. Цикл Ренкина на насыщенном и на перегретом паре: пояснить с помощью  $TS$ -диаграмм.

56. Термический к.п.д. цикла Ренкина и теоретическая мощность турбины: привести формулы и пояснить с помощью  $TS$ -диаграммы.

57. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объёме на примере четырёхтактного двигателя: рассказать с помощью схемы.

58. Идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты при постоянном объёме: рассказать с помощью схемы.

59. Цикл газотурбинной установки: рассказать с помощью схемы и диаграмм.

60. Характеристики цикла газотурбинной установки: привести формулы и пояснить.

61. Теплопроводность, конвекция, излучение (радиация): понятия.

62. Температурное поле, стационарное и нестационарное температурное поле, изотермическая поверхность: понятия. Градиент температуры.
63. Тепловой поток. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
64. Стационарная теплопроводность через однородную плоскую стенку.
65. Стационарная теплопроводность через многослойную плоскую стенку.
66. Стационарная теплопроводность через однородную цилиндрическую стенку.
67. Стационарная теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку.
68. Стационарная теплопроводность через шаровую стенку.
69. Конвективный теплообмен. Факторы, влияющие на него.
70. Закон Ньютона-Рихмана.
71. Критериальные уравнения конвективного теплообмена: написать и пояснить.
72. Интегральный (полный) лучистый поток, излучательная способность тела: понятия.
73. Коэффициент поглощения, коэффициент отражения, коэффициент пропускания: понятия.
74. Абсолютно чёрная, абсолютно белая, абсолютно прозрачная поверхности: понятие.
75. Интенсивность излучения или спектральная (монохроматическая) интенсивность: понятие, определение.
76. Закон Планка, закон смещения Вина, закон Стефана-Больцмана: написать и пояснить.
77. Серое тело и серое излучение, степень черноты: понятие.
78. Энергия интегрального излучения серого тела: написать формулу и пояснить.
79. Закон излучения Кирхгофа, закон Ламберта: написать формулы и пояснить.
80. Теплопередача через плоскую стенку.
81. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
82. Типы теплообменных аппаратов. Схемы движения жидкостей в теплообменных аппаратах.
83. Расчет теплообменных аппаратов: цели, основные расчётные уравнения. Водяной эквивалент.
84. Температурные графики для теплообменных аппаратов с прямотоком: обсудить, оценить.
85. Температурные графики для теплообменных аппаратов с противотоком: обсудить, оценить.
86. Уравнение теплопередачи для теплообменных аппаратов в дифференциальной и в интегральной форме.
87. Средний температурный напор: понятие, способы определения.

88. Обратный ТД цикл: понятие, необходимые условия для осуществления обратного цикла. Поясните схемой.

89. Какова важнейшая особенность обратных циклов и что необходимо для её осуществления?

90. Обратный цикл Карно: понятие, состав и содержание процессов в цикле.

91. Холодильный цикл Карно: понятие, полезный эффект и затраченный эффект.

92. Холодильный коэффициент: понятие, определение, сравнение для реального цикла и цикла Карно.

93. Тепловой насос: понятие, принцип работы, область применения.

94. Отопительный коэффициент: понятие, определение, сравнение для реального цикла и цикла Карно.

95. Термотрансформатор: понятие, принцип работы, область применения.

96. Коэффициент преобразования теплоты: понятие, определение, сравнение для реального цикла и цикла Карно.

97. Газовая холодильная машина: понятие, принцип работы, область применения, холодильный коэффициент цикла.

98. Третий закон термодинамики: определение, смысл.

99. Как ведут себя вещества при температурах, близких к абсолютному нулю?

100. Принцип недостижимости абсолютного нуля температуры: сформулировать, пояснить смысл.

101. Из каких уравнений состоит система, описывающая течение газа в канале? Назвать и пояснить, какие величины определяются с помощью этой системы уравнений.

102. Напишите общее дифференциальное уравнение сплошности (неразрывности) потока газа, поясните его смысл и происхождение.

103. Напишите общее интегральное уравнение сплошности (неразрывности) потока газа, поясните его смысл и происхождение.

104. Уравнение движения газа для одномерного потока: поясните его смысл и происхождение.

105. Скорость адиабатного истечения газа из коноидального сопла: написать соответствующую формулу и пояснить с помощью схемы.

106. Расход газа при адиабатном истечении из коноидального сопла: написать соответствующую формулу и пояснить с помощью схемы.

107. Критический режим истечения газа из сопла: дайте его исчерпывающую характеристику, сопроводив её формулами и схемой (графиком).

108. Сопло Лаваля: форма, назначение, как ведут себя давление и скорость потока газа в таком сопле (показать на схеме).

109. Число Маха: понятие, определение.

110. Какие каналы называют сверхзвуковыми диффузорами.

111. Удельная располагаемая работа при адиабатном истечении газа из сопла без трения и с трением: как определяются, как соотносятся друг с дру-

гом. Коэффициент потери энергии при истечении из сопла. Пояснить с помощью соответствующей диаграммы.

112. Удельная располагаемая работа, затрачиваемая на сжатие газа в диффузоре без трения и с трением: как определяются, как соотносятся друг с другом. Пояснить с помощью соответствующей диаграммы.

113. Как определяются параметры адиабатного торможения потока газа в точке встречи потока с твёрдым телом?

114. Нерасчетный режим истечения через сопло Лавалю: понятие, условия возникновения. Пояснить с помощью схемы.

115. Скачки уплотнения: понятие, условия возникновения. Схема распределения давления в прямом скачке.

## **9.2. Фонд оценочных средств промежуточной аттестации в форме зачета**

УП зачет по дисциплине не предусмотрен.

### **9.3. Оценочные средства промежуточной аттестации в форме курсового проекта или курсовой работы**

Учебным планом курсовая работа и курсовой проект по дисциплине не предусмотрены.

## **10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Студенты перед началом изучения дисциплины должны быть ознакомлены с системами кредитных единиц и балльно-рейтинговой оценки, которые должны быть опубликованы и размещены на сайте вуза или кафедры.

В учебном процессе рекомендуется внедрение субъект-субъектной педагогической технологии, при которой в расписании каждого преподавателя определяется время консультаций студентов по закрепленному за ним модулю дисциплины.

Рекомендуется обеспечить студентов электронными учебниками, учебно-методическим комплексом по дисциплине, включая методические указания к выполнению лабораторных работ и всех видов самостоятельной работы.

## **11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины**

Кафедра ежегодно обновляет содержание рабочих программ дисциплин, которые оформляются протоколами заседаний дисциплин, форма которых утверждена Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих ФГОС ВО.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Тверской государственный технический университет»**

Направление подготовки специалистов 15.03.02: **Горное дело**  
Профиль – **Открытые горные работы**  
Вид деятельности – производственно-технологический

Кафедра гидравлики, теплотехники и гидропривода  
Дисциплина «Термодинамика»  
Семестр 5

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1\_\_**

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 балл:  
**Цикл Карно: понятие**
2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 1 балл:  
**Построить цикл Карно на  $p-v$ -диаграмме**
3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 1 балл:  
**По построенному циклу определить работу цикла.**

**Критерии итоговой оценки за зачет:**

«зачтено» - при сумме баллов 2 или 3;  
«не зачтено» - при сумме баллов 0, или 1.

Составитель: доцент каф. ГТиГП \_\_\_\_\_ Ф.В. Качановский

Заведующий кафедрой ГТиГП: д.т.н., доцент \_\_\_\_\_ А.Л. Яблонев