



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора

А.В. Троицкий

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА»**

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

**Специализация №21:** Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники

**Уровень высшего образования:** специалитет

**Квалификация (степень) выпускника:** инженер

**Форма обучения:** очная, очно-заочная

Королёв  
2023

Рабочая программа является составной частью основной профессиональной образовательной программы и проходит рецензирование со стороны работодателей в составе основной профессиональной образовательной программы. Рабочая программа актуализируется и корректируется ежегодно.


**Автор:** д.т.н. Лобанов И.Е. Рабочая программа дисциплины: «Термодинамика и теплопередача» – Королев МО: «Технологический университет», 2023.

**Рецензент:** д.т.н., с.н.с. Бершадский В.А.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» и Учебного плана, утвержденного Ученым советом Университета.

Протокол № 9 от 11.04.2023 г.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:**

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с. 				
Год утверждения (переподтверждения)	2023	2024	2025	2026	2027
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 9 от 28.03.2023г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.

**Рабочая программа согласована:**

Руководитель ОПОП ВО  Мороз А.П., д.т.н., с.н.с.

**Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:**

Год утверждения (переподтверждения)	2023	2024	2025	2026	2027
Номер и дата протокола заседания УМС	№ 5 от 11.04.2023г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

*Целью изучения дисциплины «Термодинамика и теплопередача»* является формирование у студентов знаний основных закономерностей термодинамики и теплопередачи, методов расчёта тепловых процессов, происходящих в технических устройствах, а также приобретение способностей и навыков в решении технических задач, связанных с профессиональной деятельностью.

*В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие компетенции:*

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

**ОПК-4.** Способность осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники.

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

**ОПК-6.** Способность осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники.

*Основными задачами изучения дисциплины являются:*

- ознакомление с основными явлениями и законами, характерными для тепловых процессов в случаях различного действия механизмов передачи тепла и совершения работы, а также вариантов температурного напора;

- ознакомление с физическими процессами взаимодействия жидких и газообразных рабочих тел с твёрдым телом и с моделированием процессов при режимах совершения работы и передачи тепла;

- освоение способов расчётного определения характеристик элементов тепловых и энергетических технических устройств в термодинамических процессах, происходящих при различной интенсивности теплопередачи.

***Показатель освоения компетенции отражают следующие индикаторы:***

**Трудовые действия:**

- Иметь навыки моделирования и проектирования при решении инженерных задач для процессов, связанных с термодинамикой и теплопередачей.
- Иметь навыки теоретического и экспериментального исследования процессов в объектах профессиональной деятельности.

**Необходимые умения:**

- Решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов физико-математического анализа и моделирования.
- Применять на практике математические и физические модели, методы и средства проектирования и автоматизации инженерных задач, связанных с реализацией в жидкости и газе термодинамических процессов.

**Необходимые знания:**

- Обладать знанием основ математики, физики, вычислительной техники и программирования.
- Обладать знанием основных методов математического моделирования и решения инженерных задач, связанных с термодинамикой и теплопередачей в области авиационной и ракетной техники.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Термодинамика и теплопередача» относится к базовой части блока 1 основной профессиональной образовательной программы подготовки по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов». Она базируется на дисциплинах: «Физика», «Химия», «Теоретическая механика», «Механика жидкости и газа» и ранее изученных студентами дисциплинах, позволивших частично приобрести необходимые компетенции ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6.

Знания и компетенции, получаемые при освоении дисциплины «Термодинамика и теплопередача», являются базовыми при изучении дисциплин: «Пневмогидравлические системы», «Основы теории полета КА и баллистики ракет», «Ракетные двигатели», «Расчет, конструкция и проектирование ракетных двигателей», «Экспериментальная отработка ракетной техники», а также ряда профессиональных дисциплин специальности и выполнения выпускной квалификационной работы специалиста.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины для обучающихся при очной форме обучения составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Предусматриваются занятия следующих видов: лекции, практические занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа студентов. Текущий контроль знаний – выполнение контрольной работы, тестирование; итоговый контроль знаний – экзамен.

Общая трудоемкость дисциплины для обучающихся при очно-заочной форме обучения составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Предусматриваются занятия следующих видов: лекции, практические занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа студентов. Текущий контроль знаний – решение задач; итоговый контроль знаний – экзамен.

**Таблица 1**

Виды занятий	Всего часов	Семестр 6	Семестр ...	Семестр ...	Семестр ...
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>180</b>	<b>180</b>			
<b>ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ</b>					
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>72</b>	<b>72</b>			
Лекции (Л)	32	32			
Практические занятия (ПЗ)	32	32			
Лабораторные работы (ЛР)	8	8			
Практическая подготовка					
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>108</b>	<b>108</b>			
Курсовые работы (проекты)		+			
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа	+				
<b>Текущий контроль знаний</b>	<b>Тест</b>	+			
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>Экзамен/зачет</b>	<b>Экзамен</b>			
<b>ОЧНО-ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ</b>					
Виды занятий	Всего часов	Семестр 6			
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>180</b>	<b>180</b>			
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>40</b>	<b>40</b>			
Лекции (Л)	20	20			
Практические занятия (ПЗ)	16	16			
Лабораторные работы (ЛР)	4	4			
Практическая подготовка					
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>140</b>	<b>140</b>			
<b>Курсовые работы (проекты)</b>		+			
<b>Контрольная работа</b>	+				

<b>Вид итогового контроля</b>	<b>Экзамен/ зачет</b>	<b>Экзамен</b>			
-------------------------------	---------------------------	----------------	--	--	--

## 4. Содержание дисциплины

### 4.1. Темы дисциплины и виды занятий

**Таблица 2**

<b>Наименование разделов</b>	<b>Лекции, часы Очное /очно- заочное</b>	<b>Практ. занятия, часы Очное /очно- заочное</b>	<b>Лабораторные занятия, час Очное /очно- заочное</b>	<b>Занятия в интеракт. форме, часы Очное /очно- заочное</b>	<b>Практи- ческая подго- товка, часы Очное /очно- заочное</b>	<b>Код компе- тенций</b>
1. Основные понятия и определения термодинамики и теплопередачи.	2/2	-/-	-/-	-/-		ОПК-1, ОЛК-4, ОПК-5, ОПК-6
2. Теоретические основы и законы технической термодинамики.	6/4	8/4	-/-	4/2		ОПК-1, ОЛК-4, ОПК-5, ОПК-6
3. Термодинамические процессы и методы расчёта основных параметров рабочего тела технических устройств.	8/4	10/6	4/2	4/2		ОПК-1, ОЛК-4, ОПК-5, ОПК-6
4. Механизм процессов теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена, зависимости для расчёта этих процессов.	10/4	10/4	2/-	4/4		ОПК-1, ОЛК-4, ОПК-5, ОПК-6
5. Основы расчёта теплообменных аппаратов и способы защиты элементов энергоустановок от воздействия высокой температуры.	6/2	4/2	2/2	-		ОПК-1, ОЛК-4, ОПК-5, ОПК-6
<b>Итого:</b>	<b>32/20</b>	<b>32/16</b>	<b>8/4</b>	<b>12/8</b>		

### 4.2 Содержание тем дисциплины

1. Основные понятия и определения термодинамики и теплопередачи.

1.1 Термодинамика и теплопередача - это научно-техническая база энергетики.

1.2 Основные понятия и определения технической термодинамики: термодинамическая система, параметры термодинамической системы, термодинамический процесс, уравнение термодинамического состояния вещества, энергия, внутренняя энергия, работа и теплота.

1.3 Основные понятия и определения теплопередачи: тепловой поток, стационарное и нестационарное тепловое поле, отличие теплообмена от теплопередачи, виды теплообмена.

2. Теоретические основы и законы технической термодинамики.

2.1 Основные положения термодинамики: первый закон термодинамики и теплоёмкость рабочего тела; условия работы тепловых машин; прямой и обратный цикл Карно; второй закон термодинамики и определение понятия энтропия; тепловая теорема Нернста; регенерация теплоты; эксергия теплоты.

3. Термодинамические процессы и методы расчёта основных параметров рабочего тела технических устройств.

3.1. Термодинамические процессы изменения состояния рабочего тела и методы их расчёта; изохорный процесс, изобарный процесс, изометрический процесс, адиабатный процесс, политропный процесс.

3.2. Термодинамические циклы тепловых машин и методы их расчёта: двигатели внутреннего сгорания; газотурбинные установки; воздушно-реактивные двигатели; жидкостные ракетные двигатели; паросиловые установки; парогазовые установки; атомные электростанции; бинарные циклы; термодинамический метод сравнения циклов тепловых машин.

3.3. Термодинамические процессы при фазовых переходах: фазовая диаграмма вещества; уравнение Клапейрона-Клаузиуса; диаграмма водяного пара и её применение.

3.4. Термодинамические процессы в газовом потоке: зависимости термодинамики газового потока при реализации адиабатного процесса; параметры заторможенного потока; зависимости для расчёта скорости потока и скорости звука; особенности изменений параметров потока в сопле и диффузоре при звуковой и сверхзвуковой скорости движения газа; определение понятия критического сечения сопла Лавалья; особенности адиабатического дросселирования газа.

3.5. Расчётное определение основных параметров газовых смесей.

4. Механизм процессов теплопроводности, конвекции и лучистого теплообмена, зависимости для расчёта этих процессов.

4.1 Теплопроводность при стационарном и нестационарном режимах: основной закон теплопроводности и коэффициент теплопроводности; теплопроводность однослойной и многослойной плоской стенки; теплопровод-

ность однослойной и многослойной цилиндрической стенки; контактное термическое сопротивление; особенности теплопроводности при нестационарном режиме.

4.2 Теплообмен при естественной и вынужденной конвекции рабочего тела: основной закон конвективного теплообмена и коэффициент теплоотдачи; механизмы процессов теплообмена и теплопередачи в условиях покоя и вынужденного движения жидкости; критерии подобия в условиях конвективного теплообмена; расчётные зависимости для определения коэффициента теплоотдачи и теплопередачи при естественной и вынужденной конвекции рабочего тела; влияние температурного напора на теплообмен в случаях прямотока и противотока рабочих тел в каналах.

4.3 Особенности теплоотдачи при изменении фазового состояния вещества: теплоотдача при кипении в большом объёме; теплоотдача при кипении в условиях движения в канале; теплоотдача при конденсации вещества.

4.1 Теплообмен в условиях излучения: механизм процесса излучения; закон и коэффициент излучения; радиационные характеристики тел; теплообмен излучением между твёрдыми телами; излучение светящегося пламени; особенности излучения между Солнцем и Землёй.

5. Основы расчёта теплообменных аппаратов и способы защиты элементов энергетических установок от воздействия высокой температуры.

5.1 Теплообменные аппараты: виды теплообменных аппаратов; основы расчёта теплообменных аппаратов; способы повышения эффективности теплообмена; зависимости для определения интенсивности теплообмена в трубах и каналах.

5.2 Способы защиты элементов конструкции от высокой температуры: теплоизоляция; ёмкостное охлаждение; абляционное охлаждение с уносом массы; внешнее проточное или радиационное охлаждение; внутреннее охлаждение в виде завесы или внешнее транспирационное охлаждение.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):**

- Лекции, подготовленные преподавателем в соответствии с разделами 1-5, которые указаны в содержании дисциплины.
- Текущие задания преподавателя на подготовку к практическим занятиям по разделам 1-5, которые указаны в содержании дисциплины.
- Методические указания для студентов по освоению дисциплины «Термодинамика и теплопередача», приведенные в «Приложении 2» к настоящей рабочей программе



**6. Фонд оценочных средств аттестации, обучающихся по дисциплине**  
Фонд оценочных средств результатов проведения контрольной работы и тестирования обучающихся, а также аттестации на экзамене по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» приведен в «Приложении 1» к настоящей рабочей программе.

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

***Основная литература:***

1. Кудинов В.А., Карташов Э.М., Стефанюк Е.В. Термодинамика и теплопередача: учебник // Москва: Изд-во Юрайт, 2021. 454 с.
2. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: учебник / Под редакцией В.И.Крутова и Г.Б. Петражицкого // С. Петербург: Изд-во БХВ-Петербург, 2015. 384 с.
3. Бершадский В.А. Расчёт и анализ термодинамических циклов тепловых машин: учебное пособие // Москва: Изд-во Директ-Медиа, 2019. 55 с.

***Дополнительная литература:***

1. Мухачёв Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача: учебник // Москва: Изд-во Высшая школа, 1991. 496 с.
2. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов: справочник // Москва: Энергоатомиздат, 1987. 296 с.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

***Интернет-ресурсы:***

<http://www.biblioclub.ru/>  
<http://www.rucont.ru/>  
<http://www.znaniyum.com/>  
<http://www.book.ru>  
<http://e.lanbook.com/>  
<http://www.biblio-online.ru>  
[Ebrary](http://e.library.unitech-mo.ru/)  
<http://ies.unitech-mo.ru/>  
<http://unitech-mo.ru/>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины приведены в Приложении 2 к настоящей рабочей программе.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

*Перечень программного обеспечения:* MSOffice, RAMUS.

*Информационные справочные системы:*

1. Электронные ресурсы образовательной среды Университета.
2. Информационно-справочные системы «Консультант+», «Гарант».

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

*Лекционные занятия:*

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран);
- комплект электронных презентаций/слайдов.

*Практические занятия:*

аудитория, оснащенная мультимедийными средствами (проектор, персональный компьютер), демонстрационными материалами (наглядными пособиями);

- рабочее место преподавателя, оснащенное персональным компьютером с доступом в глобальную сеть Интернет;

- рабочие места студентов, оснащенные персональными компьютерами с доступом в глобальную сеть Интернет.

Лабораторные работы выполняются в интерактивном режиме в соответствии с методическими указаниями, изложенными в учебно-методических пособиях.

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)  
«ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА»**

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

**Специализация №21:** Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники

**Уровень высшего образования:** специалитет

**Квалификация (степень) выпускника:** инженер

**Форма обучения:** очная, очно-заочная

Королёв  
2023

## Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Таблица 1

Индекс компетенции	Содержание компетенций	Темы, обеспечивающие формирование компетенций	Результаты изучения дисциплины, обеспечивающие формирование компетенций		
			Трудовые действия	Необходимые умения	Необходимые знания
ОПК-1	Способность применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.	Темы разделов 1 -5	Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности	Знает основы математики, физики, вычислительной техники и программирования
ОПК-4	Способность осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники.	Темы разделов 1 -5	Владением основными методами организации безопасности жизнедеятельности людей, их защиты от возможных последствий	Способностью предусмотреть меры по сохранению и защите экосистемы в ходе своей общественной и профессиональной	Способностью к анализу социально-значимых процессов и явлений.

			аварий, катастроф, стихийных бедствий	деятельности	
ОПК-5	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач.	Темы разделов 1 -5	Иметь навыки: моделирования и проектирования процессов, для решения инженерных задач	Уметь: применять на практике математические и физические модели, методы и средства проектирования и автоматизации инженерных задач.	Знать: методологию и основные методы математического моделирования, классификацию и условия применения моделей, основные методы и средства проектирования информационных и автоматизированных систем, для решения инженерных задач
ОПК-6	Способность осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники.	Темы разделов 1 -5	Владением целостной системой научных знаний в области авиационной и ракетной техники	Способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при	Способностью критически оценивать основные теории и концепции, границы их применения

				решении професси- ональных задач	
--	--	--	--	---	--

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Таблица 2

Код компетенции	Инструмент, оценивающий сформированность компетенции	Этапы и показатель оценивания компетенции	Критерии оценки и шкалы
ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5 ОПК-6	Контрольная работа	А) полностью сформирована – 5 баллов; Б) частично сформирована – 3 или 4 балла; В) не сформирована - 0 балла.	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: 1.Правильный выбор метода решения (1балл). 2.Умение объяснить логический ход решения (2 балла). 3.Получение правильного результата при решении (2 балла).
ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5 ОПК-6	Тестирование	А) полностью сформирована - 90% правильных ответов; Б) частично сформирована - 70% правильных ответов; В) не сформирована - менее 50% правильных ответов.	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: -удовлетворительно от 50% правильных ответов; - хорошо от 70% правильных ответов; - отлично - от 90% правильных ответов.

## 3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 3.1 Примеры вариантов заданий на контрольную работу

В соответствии с исходными данными, приведенными ниже в таблице, требованиями и рекомендациями, изложенными в главе 4 учебного пособия по термодинамике «Расчёт и анализ термодинамических циклов тепловых машин» [3], студент должен:

- определить тип и схему тепловой машины, рабочее тело и вид термодинамического цикла для её функционирования;
- произвести расчёты и анализ параметров термодинамических процессов для оценки возможности реализации цикла;
- определить эффективность исследуемого термодинамического цикла и способ его совершенствования.

Варианты	Заданные значения параметров в процессах								Типы процессов в цикле
	$T_1$	$p_1$	$\kappa$	$n$	$\varepsilon$	$\beta$	$\lambda$	$\rho$	
1	263	0,08	1,4	1,27	7,5	-	3,0	-	1-2, s = c; 2-3, v = c; 3-4, n = c; 4-1, v = c.
2	283	0,10	1,38	1,25	6,5	-	4,3	-	
3	303	0,12	1,36	1,23	5,5	-	4,0	-	
4	263	0,08	1,4	1,36	10	-	-	2,2	1-2, s = c; 2-3, p = c; 3-4, n = c; 4-1, v = c.
5	283	0,10	1,36	1,3	11	-	-	2,0	
6	303	0,12	1,34	1,28	12	-	-	1,8	
7	263	0,08	1,3	1,25	14	-	1,4	2,0	1-2, s = c; 2-3, v = c; 3-4, p = c; 4-5, n = c; 5-1, v = c.
8	283	0,10	1,34	1,3	15	-	1,6	1,8	
9	303	0,12	1,36	1,32	16	-	1,7	1,6	
10	263	0,09	1,4	1,36	-	5,5	-	1,9	1-2, s = c; 2-3, p = c; 3-4, n = c; 4-1, p = c.
11	283	0,10	1,34	1,32	-	6,5	-	1,7	
12	303	0,11	1,30	1,28	-	7,5	-	1,5	
13	263	0,08	1,4	1,36	-	6,5	1,5	-	1-2, s = c; 2-3, v = c; 3-4, n = c; 4-1, p = c.
14	283	0,09	1,34	1,32	-	5,5	1,7	-	
15	303	0,10	1,30	1,28	-	4,5	1,9	-	

Примечания к таблице 3 исходных данных:

- условные обозначения параметров:  $T_1$  и  $p_1$  – температура и давление в 1-ой узловой точке;

- единицы измерений: давления  $p$  - МПа, температуры  $T$  – К, удельного объема  $v$  - м<sup>3</sup>/кг;

- типы процессов в циклах:  $p=c$  – изобарный;  $v=c$  - изохорный;  $s=c$  - адиабатный (изоэнтропный);  $n=c$  политропный;

- основные характеристики процессов:  $\varepsilon$  – степень сжатия,  $\beta$  – степень повышения давления,  $\lambda$  – степень дополнительного повышения давления;  $\rho$  – степень изобарного расширения.

### 3.2 Примеры вопросов для проведения тестирования

1. Определите энергетические параметры, характеризующие состояние термодинамической системы:
  - удельная энергия, удельная теплоёмкость, теплота фазового перехода;
  - энтропия, внутренняя энергия, энтальпия;
  - температура, давление, удельный объём.
2. С помощью какого математического выражения определяют истинное значение удельной теплоёмкости:
  - $c = dq / dt$ ;
  - $c = q_{1-2} / (t_2 - t_1)$ ;
  - $c = \sum c_i \cdot g_i$ .
3. В каком термодинамическом процессе вся подведенная теплота идёт на изменение внутренней энергии:
  - изохорном;
  - изобарном;
  - изотермом.
4. Для какой тепловой машины характерен цикл с изобарным подводом тепла, изображённый на рис.1:
  - двигатель внутреннего сгорания;
  - парогенераторная установка;
  - турбореактивный двигатель.

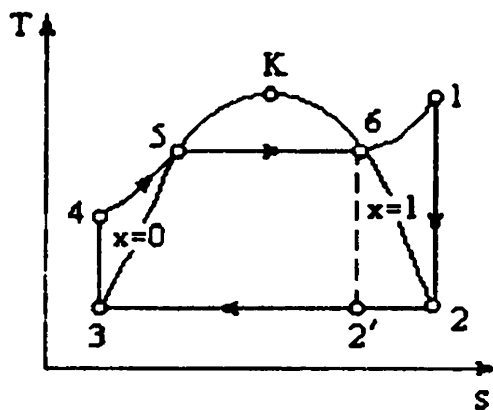


Рис.1

5. Какой тепловой машине соответствует рабочая диаграмма на рис.2:
  - двигателю внутреннего сгорания;
  - газотурбинной установке;
  - ракетному двигателю.



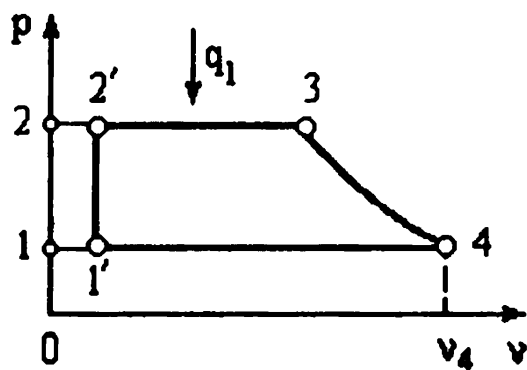


Рис.2

6. От чего зависит термический К.П.Д. цикла ракетного двигателя:
  - от количества тепла, выделившегося в камере сгорания;
  - от величины давления в камере;
  - от степени расширения газа в сопле.
7. Оцените для какого из рабочих веществ в критическом сечении сопла Лавалья скорость звука будет наибольшей при температуре 1000 К:
  - газ кислород;
  - газ метан;
  - газ водород.
8. Что выражает безразмерный критерий Нуссельта:
  - соотношение коэффициентов теплопроводности и вязкости жидкости;
  - соотношение интенсивности теплоотдачи и теплопроводности в потоке жидкости;
  - соотношение подъёмной силы и силы вязкого трения в жидкости.

**4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Формой контроля знаний по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» являются две текущие аттестации в форме теста и контрольной, итоговый контроль осуществляется в форме экзамена.

Таблица 4

Неделя текущего/промежуточного контроля	Вид оценочного средства	Код компетенций, оценивающий знания, умения, навыки	Содержание оценочного средства	Требования к выполнению	Срок сдачи результатов	Критерии оценки по содержанию и качеству с указанием баллов
---	-------------------------	---	--------------------------------	-------------------------	------------------------	---

В соответствии с графиком учебного процесса	Контрольная работа	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5 ОПК-6	Выполнение контрольной работы, соответствующей варианту задания	Выполнение контрольной работы дома	На практических занятиях в аудитории	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: 1.Правильный выбор метода решения (1балл). 2.Умение объяснить логический ход решения (2 балла). 3.Получение правильного результата при решении (2 балла). 4.Задача не решена (0 баллов).
В соответствии с графиком учебного процесса	Тестирование	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5 ОПК-6	35 тестов для ответа на вопросы	Письменно в аудитории в течение 40 минут	В день проведения	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: -удовлетворительно - от 50% правильных ответов; - хорошо - от 70% правильных ответов; - отлично - от 90% правильных ответов.
В соответствии с графиком учебного процесса	Экзамен	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5 ОПК-6	2 вопроса и 1задача в каждом билете	Устно в аудитории в течение 30 минут	В день проведения	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: - полный ответ на вопросы в билете 2 балла; - умение применять полученные знания на практике 1 балл; - результаты работы на практических занятиях 1 балл; - результаты работы по решению задач и тестированию 1 балл.

Итоговое начисление баллов по дисциплине осуществляется в соответствии с разработанной и внедренной балльно-рейтинговой системой контроля и оценивания уровня знаний и внеучебной созидательной активности обучающихся.

## 5. Типовые вопросы, выносимые на экзамен

1. Определение понятий температура, энергия, внутренняя энергия, теплота и работа.
2. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния жидкости. Влияние температурного напора на характер и интенсивность теплообмена при кипении жидкости.

3. Термодинамический процесс и параметры термодинамического состояния (физические и энергетические).
- 4 Механизм теплопередачи при движении кипящего потока, влияние скорости движения на интенсивность теплоотдачи.
  - 5 Первый закон термодинамики. Определение истинной, удельной и средней теплоёмкости рабочего тела.
  - 6 Механизм теплоотдачи при конденсации пара. Влияние размера плёнки конденсата на интенсивность теплоотдачи.
  - 7 Второй закон термодинамики и коэффициент полезного действия в термодинамическом процессе. Определение основного признака обмена энергией в форме теплоты - энтропии.
  - 8 Определение понятия «теплообмен». Основные виды и законы процессов теплообмена.
  - 9 Третий закон термодинамики и обоснование понятия «неисчерпаемость энергии».
  - 10 Математическая формулировка задач теплообмена. Виды краевых условий, используемых при расчётах тепловых процессов.
  - 11 Цикл Карно и его основное преимущество, регенерация теплоты, эксергия теплоты и её определение.
  - 12 Коэффициент теплопроводности и градиент температуры, физические условия реализации теплопроводности.
  - 13 Определение теплоёмкости, газовой постоянной, показателя адиабаты рабочего тела.
  - 14 Тепловой поток и распределение температуры в плоской однослойной и многослойной стенках в результате теплопроводности.
  - 15 Метод исследования изменений состояния идеального газа в термодинамических процессах.
  - 16 Тепловой поток и распределение температуры в цилиндрической однослойной и многослойной стенках в результате теплопроводности.
  - 17 Основные особенности процесса течения газа в сопле и диффузоре. Определение параметров газа при истечении из суживающегося сопла и сопла Лавалья.
  - 18 Нестационарная теплопроводность и определение понятия «коэффициент температуропроводности».
  - 19 Особенности процесса адиабатического дросселирования. Дроссельный эффект.
  - 20 Физические условия реализации конвективной теплоотдачи, коэффициент теплоотдачи и градиент температуры.
  - 21 Определение основных параметров смеси газов.

- 22 Характеристика условий подобия. Критерии подобия, используемые при конвективном теплообмене.
- 23 Термодинамический цикл двигателей внутреннего сгорания. Основные характеристики цикла и их влияние на КПД.
- 24 Механизм и интенсивность теплоотдачи при естественной конвекции.
- 25 Термодинамический цикл газотурбинной установки. Определение характеристик цикла и их влияние на КПД.
- 26 Механизм и интенсивность теплоотдачи при вынужденной конвекции.
- 27 Термодинамический цикл ракетного двигателя. Основные характеристики цикла и их влияние на КПД.
- 28 Механизм теплопередачи. Определение коэффициента теплопередачи и температурного напора.
- 29 Термодинамический цикл паросиловой установки. Основные характеристики цикла и их влияние на КПД.
- 30 Теплообмен излучением и радиационные характеристики тел.
- 31 Определение направленности термодинамических процессов на основе анализа фазовой диаграммы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
- 32 Тепловой поток при теплообмене излучением между телами.
- 33 Диаграмма равновесного состояния водяного пара и её применение для определения характеристик процесса.
- 34 Основные виды теплообменных аппаратов и их параметров, определяемых при тепловом и гидравлическом расчётах.
- 35 Бинарный цикл тепловой машины, виды и особенности его применения.
- 36 Особенности теплового расчёта прямоточного и противоточного теплообменников. Виды зависимостей для среднего коэффициента теплопередачи и среднего температурного напора.
- 37 Уравнение состояния идеального и реального газа.
- 38 Особенности гидравлического расчёта теплообменников. Определение эффективности теплообменного аппарата.
- 39 Политропный процесс: уравнение процесса, соотношение параметров состояния, определение работы в процессе, изменение энтропии.
- 40 Способы тепловой защиты элементов конструкций от воздействия высокотемпературного газа. Механизмы процессов при реализации тепловой защиты.

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
«ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА»**

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

**Специализация №21:** Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники

**Уровень высшего образования:** специалитет

**Квалификация (степень) выпускника:** инженер

**Форма обучения:** очная, очно-заочная

Королёв  
2023

## 1. Общие положения

*Целью изучения дисциплины «Термодинамика и теплопередача»* является формирование у студентов знаний основных закономерностей термодинамики и теплопередачи, методов расчёта тепловых процессов, происходящих в технических устройствах, а также приобретение способностей и навыков в решении технических задач, связанных с профессиональной деятельностью.

*Основными задачами изучения дисциплины являются:*

- ознакомление с основными явлениями и законами, характерными для тепловых процессов в случаях различного действия механизмов передачи тепла и совершения работы, а также вариантов температурного напора;
- ознакомление с физическими процессами взаимодействия жидких и газообразных рабочих тел с твёрдым телом и с моделированием процессов при режимах совершения работы и передачи тепла;
- освоение способов расчётного определения характеристик элементов тепловых и энергетических технических устройств в термодинамических процессах, происходящих при различной интенсивности теплопередачи.

## 2. Указания по проведению практических занятий

Практические занятия, способствующие достижению цели, сформулированной в разделе 1, необходимо проводить в соответствии с рекомендациями, приведенными ниже (практические занятия № 1-8), которые разработаны на основе конкретных тем дисциплины, указанных в разделе 4 программы.

При этом считалось, что целесообразным способом проведения занятий являются групповые обсуждения основных теоретических положений дисциплины и результатов самостоятельного решения студентами задач, подготовленных преподавателем.

### *Занятие № 1.*

Тема: Первый закон термодинамики.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Основные положения и математическое выражение первого закона.
- Теплоёмкость рабочего тела.
- Способы определения газовой постоянной и показателя адиабаты.

Продолжительность занятия - 4/2 часа

### ***Занятие № 2.***

Тема: Второй закон термодинамики.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Основные положения и математическое выражение второго закона.
- Условия получения полезной работы.
- Особенности цикла Карно.

Продолжительность занятия - 4/2 часа

### ***Занятие № 3.***

Тема: Принципы расчёта термодинамических процессов.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Виды и особенности реализации термодинамических процессов.
- Расчётное определение параметров состояния рабочего тела.
- Расчётное определение функций состояния рабочего тела

Продолжительность занятия - 4/2 часа

### ***Занятие № 4.***

Тема: Термодинамические циклы тепловых машин.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Основные условия функционирования тепловых машин.
- Виды термодинамических циклов тепловых машин.
- Методы расчёта термодинамических циклов.
- Влияние основных характеристик циклов на КПД тепловых машин.

Продолжительность занятия - 6/4 часа

### ***Занятие № 5.***

Тема: Теплопроводность.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Механизм процесса теплопроводности и основная расчётная зависимость.
- Способы расчётного распределения температуры в твёрдом теле при стационарном теплопритоке.
- Влияние контактного сопротивления на теплопроводность.
- Особенности расчёта теплопроводности при нестационарном режиме.

Продолжительность занятия - 4/2 часа

### ***Занятие № 6.***

Тема: Конвективный теплообмен.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Механизм процесса и основная расчётная зависимость конвективной теплоотдачи.
- Особенности теплоотдачи при естественной и вынужденной конвекции.
- Виды эмпирических зависимостей для определения коэффициента теплоотдачи.
- Механизм процесса и расчётная зависимость процесса теплопередачи.
- Особенности теплоотдачи при фазовом переходе.

Продолжительность занятий 4/2 часа

### ***Занятие № 7.***

Тема: Лучистый теплообмен.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Механизм процесса и основная расчётная зависимость.
- Влияние радиационных характеристик веществ на теплообмен.
- Виды и особенности теплообмена между телами.

Продолжительность занятия - 2/- часа

### ***Занятие № 8.***

Тема: Вопросы расчёта теплообменных аппаратов и способы



тепловой защиты.

Вид занятия - смешанная форма.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание занятия:

- Виды теплообменных аппаратов.
- Особенности расчёта аппаратов при прямотоке и противотоке.
- Способы тепловой защиты стенок энергоустановок в условиях высокой температуры рабочего тела.
- Особенности расчёта стенок конструкции энергоустановок при наружном охлаждении.

Продолжительность занятия - 4/2 часа

### **3. Указания по проведению лабораторного практикума**

Подготовка к проведению лабораторных работ, осуществление измерений, обработка результатов экспериментов и защита оформленных результатов работы должны осуществляться в соответствии с рекомендациями, изложенными в соответствующих методических пособиях.

Числовые значения параметров, представленных к защите по результатам расчётов или графиков, должны иметь единицы измерений, соответствующие системе СИ.

Ниже приведены основные особенности лабораторных работ (№ 1 – 4), которые могут быть проведены в результате экспериментов на специально оборудованных установках или в интерактивном режиме.

#### ***Лабораторная работа № 1.***

Тема: Термодинамическое состояние рабочего тела.

Цель работы: Исследование термодинамического состояния рабочего тела.

Содержание работы:

- Определение по результатам измерений температуры теплосодержания рабочего тела (жидкости или газа) при теплопритоке или совершении работы.
- Оценка характера и количественного изменения внутренней энергии рабочего тела в каждом из указанных случаев.

Продолжительность работы - 2/ - часа.

#### ***Лабораторная работа № 2.***

Тема: Эффективность превращения тепла в работу.

Цель работы: Исследование эффективности превращения тепла в работу.

Содержание работы:

- Оценка работы, совершаемой при вытеснении жидкости из бака с помощью горячего газа наддува.
- Определение эксергии рабочего тела по результатам измерений температуры объёма жидкости и стенки бака.

Продолжительность работы - 2/2 часа.

### ***Лабораторная работа № 3.***

Тема: Теплопроводность при стационарном режиме.

Цель работы: Исследование теплопроводности при стационарном режиме.

Содержание работы:

- Определение изменений температуры рабочего тела на его границах при стационарном теплопритоке.
- Определение коэффициента теплопроводности твёрдого тела.

Продолжительность работы - 2/ - часа.

### ***Лабораторная работа № 4.***

Тема: Теплообмен при вынужденной конвекции.

Цель работы: Исследование теплообмена при вынужденной конвекции.

Содержание работы:

- Определение изменений разницы температур теплоносителя и твёрдого тела при различных режимах движения теплоносителя.
- Определение коэффициента теплоотдачи жидкого теплоносителя к твёрдому телу.

Продолжительность работы - 2/2 часа.

## **4. Указания по проведению самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов должна быть направлена на использование материалов лекций и научно-технической литературы для углубленного изучения предмета и систематизации знаний.

Ниже в таблице для примера приведены виды самостоятельной работы, которые могут быть предложены студентам по предмету «Термодинамика и теплопередача» для выполнения этой задачи.

Таблица 2

№ п/п	Наименования тем дисциплины	Виды самостоятельной работы
-------	-----------------------------	-----------------------------

1	Разделы 1- 5, перечисленные в главе 4 рабочей программы.	Подготовка ответов на теоретические вопросы и решение задач по каждой из тем разделов 1- 5 с обсуждением на практических занятиях. Выполнение и защита контрольной работы.
2	Научно-исследовательская работа по одной из тем разделов 1- 5, перечисленных в главе 4 рабочей программы.	Подготовка реферата (доклада) на основе углубленного и расширенного изучения одной из тем, предложенных преподавателем, для обсуждения на кафедре или на конференции.

## 5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### *Основная литература:*

1. Кудинов В.А., Карташов Э.М., Стефанюк Е.В. Термодинамика и теплопередача: учебник // Москва: Изд-во Юрайт, 2021. - 454 с.
2. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: учебник / Под редакцией В.И. Крутова и Г.Б. Петражицкого // С. Петербург: Изд-во БХВ-Петербург, 2015. 384 с.
3. Бершадский В.А. Расчёт и анализ термодинамических циклов тепловых машин: учебное пособие // Москва: Изд-во Директ-Медиа, 2019. - 55 с.

### *Дополнительная литература:*

1. Мухачёв Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача: учебник // Москва: Изд-во Высшая школа, 1991. - 496 с.
2. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов: справочник // Москва: Энергоатомиздат, 1987. - 296 с.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

### *Интернет-ресурсы:*

<http://www.biblioclub.ru/>  
<http://www.rucont.ru/>  
<http://www.znaniium.com/>  
<http://www.book.ru>  
<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru>

[Elibrary](#)

<http://ies.unitech-mo.ru/>

<http://unitech-mo.ru/>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **Перечень программного обеспечения:**

MSOffice, RAMUS

### **Информационные справочные системы:**

1. Электронные ресурсы образовательной среды Университета.
2. Информационные справочные системы.