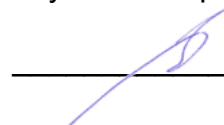


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БОРИСОГЛЕБСКИЙ ФИЛИАЛ
(БФ ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета физико-
математического и естественно-
научного образования



С.Е. Зюзин

25.11.2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.2.1 Теплофизика

1. Шифр и наименование направления подготовки:

15.03.01 Машиностроение

2. Профиль подготовки:

Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

3. Квалификация выпускника:

Бакалавр

4. Форма обучения:

очная, заочная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра прикладной математики, информатики, физики и методики их преподавания

6. Составители программы:

С. Е. Зюзин, кандидат физико-математических наук, доцент

7. Рекомендована:

научно-методическим советом Наименование факультета (протокол № 3 от 23.11.2017 г.)

8. Семестр(ы): 8 (очная форма обучения), 9 (заочная форма обучения)

9. Цель и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения дисциплины является формирование знаний о тепловых свойствах различных материалов и тепловых процессах, приводящих к изменению технологических характеристик оборудования.

Задачи дисциплины:

дать представление о тепловых свойствах твердых, жидких и газообразных веществ;

рассмотреть тепловые процессы, которые влияют на работу и характеристики оборудования;

формировать навыки определения теплофизических свойств материалов расчетными и экспериментальными методами;

формировать навыки работы с различными источниками информации, анализа и обобщения необходимых сведений с целью совершенствования процессов и оборудования машиностроительных производств.

При проведении учебных занятий по дисциплине обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Теплофизика» входит в дисциплины по выбору вариативной части блока Б1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Требования к входным знаниям, умениям и навыкам: студент должен

знать: основные физические законы, теории, фундаментальные эксперименты;

уметь: решать стандартные задачи по механике, теплофизике, электродинамике;

владеть: навыками работы с учебным лабораторным оборудованием

При её изучении используются знания и навыки, полученные в ранее освоенных дисциплинах: Математика, Физика, Химия.

Знания, полученные при освоении данной дисциплины, необходимы для изучения таких дисциплин, как Технология конструкционных материалов, Технологическое оборудование Технологическая оснастка, Технология машиностроения, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

Для реализации дисциплины для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и (или) инвалидов созданы следующие условия. При реализации программы дисциплины в образовательном процессе для удовлетворения особых образовательных потребностей обучающихся с ОВЗ используются современные методы электронного обучения и дистанционные образовательные технологии. Изучение дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами предполагает обеспечение сочетания on-line и off-line технологий, а также индивидуальных и коллективных форм работы в учебном процессе, осуществляемом с использованием дистанционных образовательных технологий. Обучающиеся с ограниченными возможностями и инвалиды здоровья могут изучать дисциплину по индивидуальному учебному плану в установленные сроки с учетом их особенностей и образовательных потребностей. При составлении индивидуального плана обучения предусмотрены различные варианты проведения занятий: в профессиональной образовательной организации (в академической группе и индивидуально), на дому с использованием дистанционных образовательных технологий. Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей (устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т. п.). При необходимости

обучающимся предоставляется дополнительное время для подготовки ответа при прохождении аттестации.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p>знать: историю развития и современное состояние науки о строении и свойствах материи; основные законы теплофизики; обозначения физических величин, единицы их измерения</p> <p>уметь: использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; использовать законы физики при истолковании трактовать физические явления на основе теоретических положений и законов физики; анализировать информацию из различных источников с разных точек зрения, структурировать, оценивать, представлять в доступном для других виде; самостоятельно пополнять знания путем работы с учебной, научно-популярной и научной литературой;</p> <p>владеть: навыками использования научного языка, научной терминологии; навыками выполнения физических измерений и обработки их результатов.</p>
ПК-18	Умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	<p>знать: методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p> <p>уметь: применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p> <p>владеть (иметь навык(и)): методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2/72.

Форма промежуточной аттестации: зачет

13. Виды учебной работы (очная форма обучения)

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		8 семестр

Контактная работа, в том числе:	30	30
лекции	10	10
практические занятия	20	20
лабораторные работы		
Самостоятельная работа	42	42
Форма промежуточной аттестации зачет		
Итого:	72	72

Виды учебной работы (заочная форма обучения)

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		9 семестр
Контактная работа, в том числе:	16	16
лекции	8	8
практические занятия	8	8
лабораторные работы		
Самостоятельная работа	52	52
Форма промежуточной аттестации зачет	4	4
Итого:	72	72

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Термодинамическая система. Уравнение состояния. Первый закон термодинамики.	Термодинамическая система. Основные термодинамические параметры. Уравнение состояния идеального газа. Теплофизические свойства газовой смеси. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Теплоемкость, ее зависимость от температуры и вида процесса. Первый закон термодинамики. Уравнения первого закона термодинамики. Энтальпия. Анализ термодинамических процессов с помощью первого начала термодинамики. Изопараметрические процессы. Адиабатный процесс. Политропные процессы.
1.2	Второй закон термодинамики. Энтропия.	Исторические формулировки второго начала термодинамики. Энтропия. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Необратимый адиабатный процесс. Эксергия как мера работоспособности. Статистическое истолкование второго закона термодинамики. Энтропия и вероятность. Пределы применимости второго закона термодинамики. Изменение энтропии идеального газа. Энтропийные диаграммы идеального газа.
1.3	Термодинамические свойства реальных веществ. Термодинамика пара и влажного воздуха.	Фазовая диаграмма. Правило фаз Гиббса. Теплота фазового перехода. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Реальный газ. Уравнение Ван - дер - Ваальса. Критические параметры веществ. Принцип соответственных состояний. Термодинамическое подобие. Уравнение Вукаловича-Новикова. Водяной пар. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Энтропийные диаграммы состояний водяного пара. Графическое изображение основных термодинамических процессов с водяным паром.

		Абсолютная и относительная влажность воздуха. Термодинамические параметры влажного воздуха. id -диаграмма влажного воздуха. Графическое изображение термодинамических процессов во влажном воздухе. Измерение относительной влажности и точки росы с помощью психрометра и гигрометра.
1.4	Термодинамика газового потока	Уравнение первого закона термодинамики для потока. Располагаемая работа. Адиабатные течения. Параметры полного адиабатного торможения потока. Скорость и расход газа (пара) при истечении из сужающегося сопла. Критический режим истечения. Сопло Лавала. Течение с трением. Течение по длинным трубам. Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Кривая инверсии. Использование процесса дросселирования в технике.
1.5	Термодинамические циклы.	Цикл Карно, его термический КПД. Теоремы Карно. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Циклы с изохорным и изобарным подводом теплоты. Цикл со смешанным подводом теплоты. Принципиальная схема паротурбинной установки (ПТУ). Идеальный цикл ПТУ (цикл Ренкина) и его термический КПД. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла, методы повышения КПД. Применение пара высоких параметров. Действительный цикл с необратимым адиабатным расширением пара в турбине. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Регенеративные циклы. Компрессоры. Виды и назначение компрессоров. Одноступенчатый поршневой компрессор, его индикаторная диаграмма. Преимущества многоступенчатого сжатия. Центробежные компрессоры.
2. Практические занятия		
2.1	Основные термодинамические параметры. Уравнение состояния термодинамической системы.	Уравнение состояния идеального газа. Теплофизические свойства газовой смеси.
2.2	Первый закон термодинамики	Уравнения первого закона термодинамики. Анализ термодинамических процессов с помощью первого начала термодинамики.
2.3	Теплоемкость	Вычисление значений теплоемкостей газов и их смесей.
2.4	Второй закон термодинамики	Расчет изменения энтропии в различных термодинамических процессах.
2.5	Реальный газ	Расчет постоянных Ван-дер-Ваальса на основе критических параметров газа. Вычисление параметров реального газа.
2.6	Термодинамика пара и влажного воздуха.	Определение параметров пара и влажного воздуха 1) аналитическим методом 2) по таблицам и диаграммам.
2.7	Термодинамические циклы.	Определение термических КПД циклов Дизеля и Отто.
2.8	Термодинамические циклы.	Определение термического КПД цикла ПСУ
2.9	Теплопроводность	Расчет теплового сопротивления, коэффициента теплопроводности и распределения температуры для многослойной плоской стенки.
2.10	Конвективный теплообмен и теплообмен излучением	Расчет коэффициентов теплоотдачи плоской стенки и трубы.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего
1.	Термодинамическая система. Уравнение состояния. Первый	2	6	-	4	12

	закон термодинамики.					
2.	Второй закон термодинамики. Энтропия.	2	2	-	4	8
3.	Термодинамические свойства реальных веществ. Термодинамика пара и влажного воздуха.	2	4	-	6	12
4.	Термодинамика газового потока	2	-	-	4	6
5.	Термодинамические циклы.	2	4	-	6	12
6.	Теплопроводность	-	2	-	6	8
7.	Конвективный теплообмен и теплообмен излучением	-	2	-	6	8
8.	Методы измерения теплофизических свойств веществ	-	-	-	6	6
Итого:		10	20	-	42	72

Разделы дисциплины и виды занятий (заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение. Способы переноса теплоты.	0,5			4	4,5
2.	Стационарная теплопроводность.	1	1		4	6
3.	Нестационарная теплопроводность.	1	1		4	6
4.	Конвективный теплообмен в однофазной среде.	1	1		7	9
5	Теплообмен при кипении и конденсации.	1	1		7	9
6	Теплообмен излучением.	1	1		7	9
7	Теплопередача.	1	1		7	9
8	Массообмен.	1	1		7	9
9	Теплообменные аппараты.	0,5	1		5	6,5
Итого:		8	8		52	68

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Ведение конспекта лекций должно сопровождаться графическими построениями, раскрывающими основные положения и методы курса. Заголовки тем и разделов должны быть выделены, чертежи и схемы выполнены карандашом. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практическом занятии.
Практические занятия	В процессе освоения дисциплины студенты выполняют контрольные работы. Решение каждой задачи необходимо сопровождать краткими пояснениями о том, какие законы используются для решения, какие математические преобразования приводят к результату и т.п.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету и экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, отработанные методы решения задач и приобретенные навыки анализа и проверки выполненных решений.

Для достижения планируемых результатов обучения используются интерактивные лекции.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

№ п/п	Источник
01	Кикоин, И.К. Молекулярная физика / И.К. Кикоин, А.К. Кикоин. – учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2008. – 480 с.
02	Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 3 т. Т.1. Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. – СПб.: Лань, 2007. – 432 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
03	Кудасова, С.В. Курс лекций по общей физике : учебное пособие для бакалавров / С.В. Кудасова, М.В. Солодихина. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - 174 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-6909-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436995 (28.11.2017).
04	Молекулярная физика : учебное пособие для вузов по физ., техн. и пед. направлениям и специальностям / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. — Изд. 3-е, стер. — СПб. [и др.] : Лань, 2007. — 480 с. : ил. ; 21 см. — (Лучшие классические учебники) (Классическая учебная литература по физике) (Учебники для вузов. Специальная литература). — ISBN 9785811407378. ISBN 978-5-8114-0737-8. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=185 >. (21.11.2017)

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
05	Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2012. - 560 с. [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466 (21.11.2017)

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	<i>Комплекты физических задач практической направленности</i>

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Сетевые технологии (федеральный портал «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru>).

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийный проектор, экран, ноутбук. Учебная база лабораторий физики, химии, компьютерные классы.

19. Фонд оценочных средств:

19.1 Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний,	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наиме-	Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и

	умений, навыков)	нование)	промежуточной аттестации обучающихся
ОПК-1 Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p>знать:</p> <p>историю развития и современное состояние науки о строении и свойствах материи;</p> <p>основные законы теплофизики;</p> <p>обозначения физических величин, единицы их измерения</p>	<p>Раздел 1 Основные термодинамические параметры. Уравнение состояния термодинамической системы</p> <p>Раздел 2 Первый закон термодинамики</p> <p>Раздел 4 Второй закон термодинамики</p> <p>Раздел 5 Реальный газ</p> <p>Раздел 9 Теплопроводность</p>	<p>Практическое задание (индивидуальные домашние задания)</p> <p>Вопросы к зачету</p>
	<p>уметь:</p> <p>использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;</p> <p>использовать законы физики при истолковании</p> <p>трактовать физические явления на основе теоретических положений и законов физики;</p> <p>анализировать информацию из различных источников с разных точек зрения, структурировать, оценивать, представлять в доступном для других виде;</p> <p>самостоятельно пополнять знания путем работы с учебной, научно-популярной и научной литературой;</p>	<p>Раздел 3 Теплоемкость</p> <p>Раздел 6 Термодинамика пара и влажного воздуха</p> <p>Раздел 7 Термодинамика газового потока</p> <p>Раздел 8 Термодинамические циклы</p>	<p>Практическое задание (индивидуальные домашние задания)</p>
	<p>владеть:</p> <p>навыками использования научного языка, научной терминологии;</p> <p>навыками выполнения физических измерений и обработки их результатов.</p>	<p>Раздел 7 Термодинамика газового потока</p> <p>Раздел 8 Термодинамические циклы</p> <p>Раздел 10 Конвективный теплообмен и теплообмен излучением</p>	<p>Практическое задание (индивидуальные домашние задания)</p>
Пк-18 Умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показате-	<p>знать:</p> <p>методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p>	<p>Раздел 11 Измерение теплофизических свойств вещества</p>	<p>Практическое задание (индивидуальные домашние задания)</p>
	<p>уметь:</p>	<p>Раздел 11 Измере-</p>	<p>Вопросы к зачету</p>

лей используемых материалов и готовых изделий	применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,	ние теплофизических свойств вещества	
	владеть: методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Раздел 11 Измерение теплофизических свойств вещества	
Промежуточная аттестация			КИМ (вопросы к зачету)

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент умеет соединять знания из различных разделов курса, умеет профессионально прокомментировать физический факт, умеет устанавливать связь теоретических представлений о законах электродинамики с результатами известных экспериментов. Полно, правильно и логически безупречно излагает теоретический материал, может обосновать свои суждения. Владеет необходимым математическим аппаратом. Способен объяснить суть физического явления. Без затруднений применяет теоретические знания при анализе конкретных задач и вопросов. Свободно подбирает (составляет сам) примеры, иллюстрирующие теоретические положения. Сопровождает ответ сведениями по истории вопроса; ориентируется в смежных темах курса, знает основную литературу по своему вопросу.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Студент хорошо владеет теорией вопроса; видит взаимосвязь различных разделов курса, может их объяснить. Может найти примеры, иллюстрирующие ответ, умеет использовать УМК. Хорошо владеет профессиональной терминологией, в случае неверного употребления термина может сам исправить ошибку. В основном полно, правильно и логично излагает теоретический материал, может обосновать свои суждения. Применяет теоретические знания при анализе фактического материала, может приводить собственные примеры, иллюстрирующие теоретические положения. Допускается 1-2 недочета в изложении и речевом оформлении ответа. Демонстрирует хороший уровень понимания вопросов по теме. Обладает правильной физической речью.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Студент правильно воспроизводит основные положения теории, демонстрирует понимание этих положений, иллюстрирует их примерами. Умеет использовать знания при характеристике фактического материала. В то же время в ответе могут присутствовать следующие недочеты: а) допускает неточности в определении понятий, терминов, законов (но исправляет их при помощи наводящих вопросов экзаменатора); б) излагает материал недостаточно полно; в) не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения; г) излагает материал недостаточно последовательно; д) допускает ошибки в речи. Отвечая на конкретный вопрос, не учитывает различные варианты обучения, обусловлен-	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>

ные целями, условиями и индивидуальными особенностями аудитории. Проявляет ассоциативные знания лишь при условии наводящих вопросов экзаменатора. С трудом соотносит теорию вопроса с практическим примером, подтверждающим правильность теории. Даёт неверные примеры, путается при изложении существа физического факта. Слабо владеет профессиональной терминологией, допускает много ошибок и не умеет их исправить.		
Не понимает суть вопроса, механически повторяет текст лекций или учебника, не умеет найти нужное подтверждение в защиту или опровержение определённой позиции, не знает, не умеет соотнести теорию с практикой. Не владеет терминологией, подменяет одни понятия другими. Не понимает сути наводящих вопросов.	–	Не зачтено

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

19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Термодинамическая система. Основные термодинамические параметры. Уравнение состояния идеального и реального газов.
2. Смесь идеальных газов. Способы задания состава смеси. Молярная масса и газовая постоянная смеси.
3. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия газа. Теплота и работа. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам. Энтальпия.
4. Основные термодинамические процессы и их анализ. Изобарный, изохорный, изотермический, адиабатный, политропный процессы.
5. Теплофизические свойства идеальных газов и смесей газов. Молярные теплоемкости идеального газа. Зависимость теплоемкости от температуры. Средняя теплоемкость.
6. Обратимость и необратимость тепловых процессов. Второе начало термодинамики. Энтропия и ее изменение в термодинамических процессах.
7. Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля-Томсона. Уравнение процесса дросселирования.
8. Истечение идеального газа через сопла. Вычисление скорости и расхода для сужающегося сопла. Критический режим истечения. Сопло Лаваля.
9. Круговые процессы (циклы). Цикл Карно. Теоремы Карно. Газосиловые циклы (двигатели внутреннего сгорания и газотурбинных устройств).
10. Паросиловые циклы (цикл Ренкина, цикл с промежуточным перегревом пара, регенеративные циклы).
11. Циклы и схемы холодильных установок.
12. Компрессоры. Индикаторная диаграмма поршневого компрессора.
13. Способы передачи тепла. Теплопроводность. Закон Фурье. Градиент температуры. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.
14. Теплопроводность тел правильной геометрической формы (неограниченной пластины, цилиндра, шара, сферической)
15. Основы теории подобия. Критерии подобия и критериальные уравнения.
16. Режимы течения жидкостей и газов. Гидромеханический и термический пограничные слои.
17. Уравнение конвективной теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи.
18. Методы измерения температуры.
19. Калориметрия. Определение теплоемкости.
20. Экспериментальное определение коэффициентов тепло- и температуропроводности.

19.3.2 Перечень практических заданий (индивидуальные домашние задания) Примеры решения задач

Пример 1

Определить массу воздуха, заключенного в пространстве между оконными рамами при нормальном атмосферном давлении, если температура линейно меняется от $t_1 = -10^\circ\text{C}$ у наружного стекла до $t_2 = +20^\circ\text{C}$ у внутреннего. Считать, что конвекционных токов в пространстве нет. Расстояние между рамами $\ell = 0,25$ м и площадь рамы $S = 2$ м².

Решение.

Мысленно разделим объем воздуха на бесконечно тонкие слои, параллельные стеклам (рис. 1,а). Температуру в любом из слоев можно выразить формулой (рис. 1,б).

$$t = t_1 + ax$$

или (по абсолютной шкале температур)

$$T = T_1 + ax \quad (1)$$

где x — расстояние данного слоя от наружного стекла, a — коэффициент пропорциональности. Из краевого условия ($T = T_2$ при $x = \ell$) находим:

$$a = \frac{T_2 - T_1}{\ell}.$$

Так как давление p во всех слоях одинаково, то изменение плотности ρ от слоя к слою происходит из-за изменения температуры. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева имеем:

$$p = \rho \frac{RT}{M} \quad (2)$$

где R — универсальная газовая постоянная, T и ρ — абсолютная температура и плотность газа в данном слое, M — молярная масса данного газа.

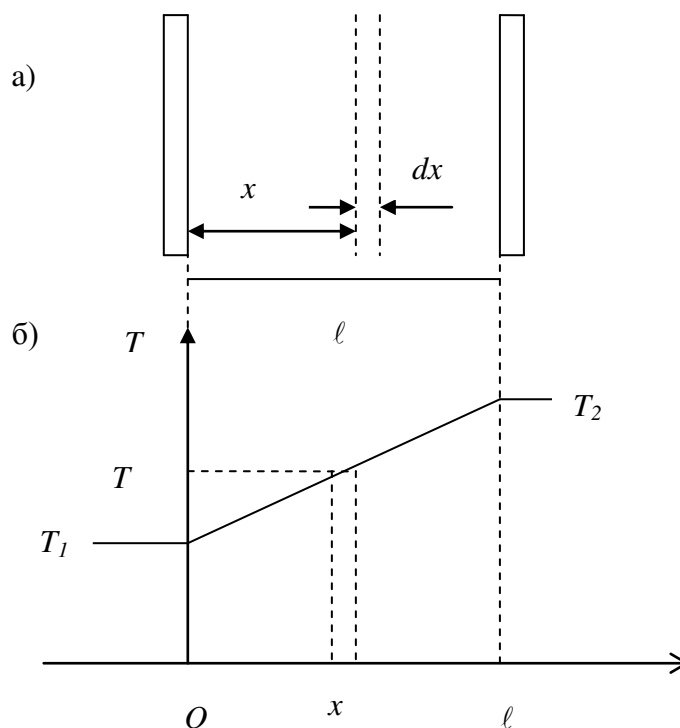


Рис 1.

Так как в (2) ρ , M и R — величины постоянные, то

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$$

где ρ и T — параметры для произвольного слоя. Используя соотношение (1), получим:

$$\rho = \frac{\rho_1 T_1}{T_1 + ax} \quad (3)$$

Уравнение Менделеева – Клапейрона для элементарного слоя записывается так

$$pdV = \frac{dm}{M} RT, \quad (4)$$

Где $dV=Sdx$. Из (1) и (4) получим:

$$dm = \frac{MpS}{R} \frac{dx}{T_1 + \alpha x}.$$

Производя интегрирование и учитывая, что

$$\alpha = \frac{T_2 - T_1}{l},$$

Получаем для полной массы воздуха M' :

$$M' = \int_0^{M'} dm = \frac{MpS}{R} \int_0^l \frac{dx}{T_1 + \alpha x} = \frac{MpSl}{R(T_2 - T_1)} \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Подставляя значения величин $M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $\rho = 1,013 \cdot 10^5$ Па, $S = 2$ м², $l = 0,25$ м, $R = 8,314$ Дж/(моль·К), $T_2 = 293$ К, $T_1 = 263$ К, получаем:

$$M' = \frac{29 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль} \cdot 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 2 \text{ м}^2 \cdot 0,25 \text{ м}}{8,314 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)} \cdot 30 \text{ К}} \ln \frac{296 \text{ К}}{263 \text{ К}} = 0,636 \text{ кг}.$$

Пример 2

Один моль кислорода совершает цикл Карно в интервале температур от 27 до 327°С. Известно, что отношение максимального давления к минимальному за цикл равно 20. Определить КПД цикла, количество теплоты Q_1 , полученное от нагревателя за цикл, количество теплоты Q_2 , отданное холодильнику за цикл, работу A , совершаемую газом за цикл.

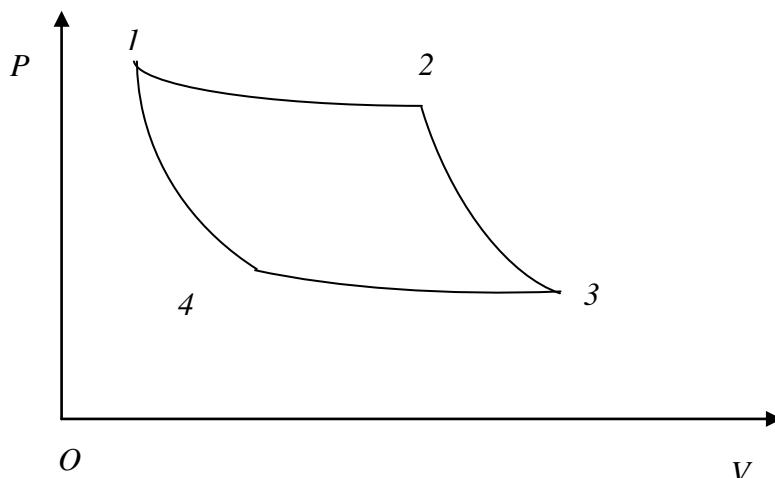


Рис. 2

Решение.

Коэффициент полезного действия η тепловой машины определяется формулой:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (1)$$

Если рабочим телом служит идеальный газ, то КПД цикла Карно зависит только от температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 :

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (2)$$

Следовательно, для всех обратимых циклов

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (3)$$

При изотермическом процессе внутренняя энергия идеального газа остается постоянной. Поэтому количество получаемой газом теплоты равно работе $A_{1,2}$ газа совершаемой газом при переходе из состояния 1 в состояние 2. Работа $A_{1,2}$ газа при изотермическом процессе может быть выражена так:

$$Q_1 = A_{1,2} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (4)$$

где ν -число молей газа, R - универсальная газовая постоянная, T_1 -температура нагревателя, p_1 -давление газа в состоянии 1, p_2 -давление газа в состоянии 2. Из состояния 2 в состояние 3 газ переходит, расширяясь адиабатически. Температуры и давления газа, совершаемого адиабатический процесс, согласно уравнению Пуассона связаны между собой соотношением:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right),$$

где γ - отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме (для кислорода как двухатомного газа $\gamma=1,4$), p_3 - давление газа в состоянии 3. Отсюда получаем следующее выражение для конечного выражения p_3

$$p_3 = p_2 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}, \quad (5)$$

Согласно условию отношение максимального давления p_1 к минимальному давлению p_3 за цикл равно n , с учетом (5) имеем:

$$n = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_1}{p_2} \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}},$$

откуда

$$\frac{p_1}{p_2} = n \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}, \quad (6)$$

Подставив это выражение в равенство (4), получим:

$$Q_1 = \nu RT_1 \ln \left[\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \right], \quad (7)$$

Из равенства (3) получим: $Q_2 = Q_1 \frac{T_2}{T_1}$, (8)

Работа A , совершаемая рабочим телом тепловой машины за цикл, равна:

$$A = Q_1 - Q_2, \quad (9)$$

Подставляя значения величин $\nu=1$ моль, $R=8,314$ Дж/(моль К), $T_1=600$ К, $T_2=300$ К,

$n=20$, $\gamma=7/5$, $\frac{\gamma}{1-\gamma} = -\frac{7}{2}$, получаем:

$$\eta = \frac{600\text{K} - 300\text{K}}{600\text{K}} = 0,5$$

$$Q_1 = 1 \text{ моль } 8,314 \text{ Дж/(моль К)} 600 \text{ К} \ln \left[20 \frac{600\text{K}^{-7/2}}{300\text{K}} \right] \approx 2,9 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = 2,9 \cdot 10^3 \text{ Дж} \frac{300\text{K}}{600\text{K}} = 1,45 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$A = 2,9 \cdot 10^3 \text{ Дж} - 1,45 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 1,45 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

Пример 3

Воздух массой 1 кг сначала сжимают адиабатически так, что объем уменьшается в 6 раз, а затем его изохорически нагревают, пока давление не увеличится в 1,5 раза. Определить общее изменение энтропии воздуха.

Решение.

Разность значений энтропии системы в двух равновесных состояниях 1 и 2 определяется формулой:

$$S_1 - S_2 = \int \frac{dQ}{T}, \quad (1)$$

где S_1 и S_2 - значения энтропии системы соответственно в состояниях 1 и 2, Q - количество теплоты, полученное системой при элементарном квазистатическом переходе, T - температура системы, при которой было получено элементарное количество теплоты dQ .

При адиабатическом процессе $dQ = 0$ и, следовательно, $\Delta S_{ад} = 0$. Найдем изменение энтропии при изохорном изменении давления системы.

Согласно первому началу термодинамики

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (2)$$

Уравнение (2) дает математическую формулировку первого начала термодинамики. Оно утверждает, что тепло δQ , полученное системой, идет на приращение внутренней энергии dU и на производство внешней работы δA .

Для произвольной массы газа элементарное изменение внутренней энергии определяется формулой

$$dU = \frac{m}{M} c_v dT,$$

где M - масса 1 моль газа, c_v - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме, dT - изменение температуры газа. Элементарная работа равна:

$$\delta A = p dV,$$

где p - давление газа, dV - элементарное изменение объема, поэтому:

$$\delta Q = \frac{m}{M} c_v dT + p dV. \quad (2, a)$$

Так как при изохорическом процессе $dV = 0$, то

$$\delta Q = \frac{m}{M} c_v dT.$$

Следовательно,

$$S_2 - S_1 = \frac{m}{M} c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

или

$$S_2 - S_1 = \frac{m}{M} c_v \ln \frac{T_1}{T_2}. \quad (3)$$

Считая воздух идеальным газом, можно для изохорического процесса применить закон Шарля:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (4)$$

тогда

$$S_2 - S_1 = \frac{m}{M} c_v \ln \frac{p_1}{p_2}, \quad (5)$$

где p_1 и p_2 - давление воздуха соответственно в начале и конце изохорического процесса.

Подставляя значения величин ($m = 1 \text{ кг}$, $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $c_v = 20,785 \text{ Дж/моль К}$,

$\frac{p_1}{p_2} = 1.5$), получаем:

$$S_2 - S_1 = \frac{1 \text{ кг} \cdot 10^3}{29 \text{ кг/моль}} \cdot 20,785 \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}} \ln 1.5 \approx 290 \text{ Дж/К}.$$

Пример 4.

1 моль газа расширяется так, что зависимость между P и V линейная, т.е. $P=\alpha \cdot V$. Молярная теплоемкость газа при $P=\text{const}$ равна C_p . Определить теплоемкость газа при данном процессе.
Решение.

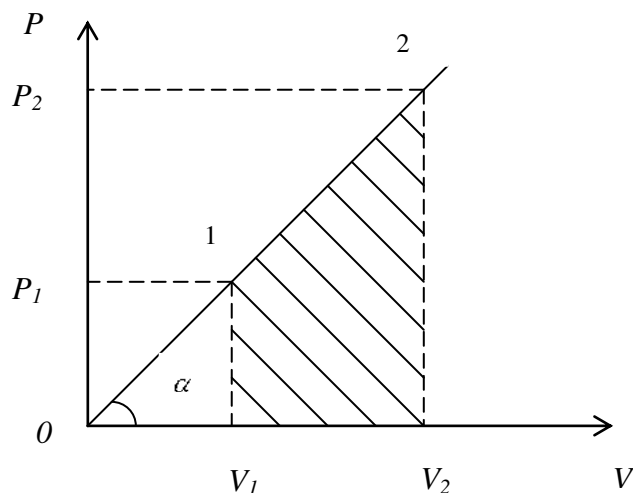


Рис. 3

Выделим на участке прямой две точки 1 и 2, тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$$

Уравнение процесса

$$p = \operatorname{tg} \alpha \cdot V$$

используем первый закон термодинамики.

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

где $Q = \nu \Delta T = C_p \Delta T$ – количество теплоты, полученное газом;

$\Delta U = \frac{i}{2} \nu RT$ – изменение внутренней энергии газа (i – число степеней свободы молекулы).

A – работа газа

Теплоемкость одного моля газа при изохорном процессе

$$C_v = \frac{i}{2} R,$$

тогда

$$\Delta U = C_v \nu \Delta T \quad (2)$$

Вычислим работу газа графически

$$A = \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

Выполняем замены, используя уравнение Менделеева – Клапейрона

$$pV = \nu RT$$

$$A = \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T \quad (3)$$

Подставляем (2) и (3) в (1)

$$C_p \nu \Delta T = C_v \nu \Delta T + \frac{1}{2} \nu \Delta T$$

$$C = C_v + \frac{1}{2} R$$

Пример 5.

Тепловая машина совершает цикл, показанный на рисунке 6. (3 – 1 – адиабатное сжатие).

Показатель адиабаты - γ , а $\frac{V_2}{V_1} = K$. Определит КПД цикла?

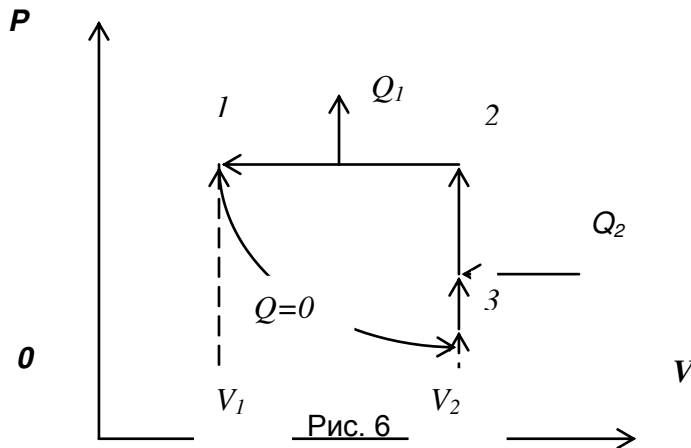


Рис. 6

Решение.

Коэффициент полезного действия цикла

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 - полученное количество тепла, Q_2 - отданное количество тепла.

1) Рассмотрим изобарный процесс 1 – 2:

при $p = \text{const}$ объем газа увеличивается, значит $T \uparrow$ - система получает тепло. Вычислим $Q_{1-2} = Q_1$ по I закону термодинамики:

$$Q_1 = Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{12}$$

$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ – изменение внутренней энергии;

$A_{12} = p \Delta V$ – работа газа при изобарном процессе, которую через уравнение Менделеева – Клапейрона запишем:

$$A_{12} = \nu R \Delta T = \nu R(T_2 - T_1)$$

тогда

$$Q_1 = 1,5\nu R \Delta T + \nu R \Delta T = 2,5\nu R \Delta T = 2,5\nu R(T_2 - T_1).$$

2) Рассмотрим изохорный процесс 2 – 3 :

при $V = \text{const}$ $A_{23} = 0$;

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2),$$

тогда

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2).$$

Здесь $T_3 < T_2$ $Q_{23} < 0$ - система отдает тепло

$$Q_2 = |Q_{23}| = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_3).$$

3) Вычислить температуру состояния газа 1, 2 и 3.

Состояния 1 и 3 связывают адиабатический процесс.

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_3 V_2^{\gamma-1} \quad T_1 = T_3 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = T_3 \cdot K^{\gamma-1}$$

Состояния 1 и 2 связывает закон Гей – Люссака

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1} \quad T_2 = T_1 \cdot \frac{V_2}{V_1} = T_1 \cdot K$$

В этом случае

$$Q_1 = 2,5\nu R T_1 (K-1) = 2,5\nu R T_3 K^{\gamma-1} (K-1)$$

$$Q_2 = 1,5 \nu RT_3 (K^\gamma - 1)$$

$$\eta = \frac{2,5 \nu RT_3 K^{\gamma-1} (K - 1) - 1,5 \nu RT_3 (K^\gamma - 1)}{2,5 \nu RT_3 K^{\gamma-1} (K - 1)}$$

$$\eta = 1 - \frac{3(K^\gamma - 1)}{5(K^\gamma - K^{\gamma-1})}$$

Задачи для индивидуальных домашних заданий

Смеси газов

1. Смесь идеальных газов состоит из 8 кг CO_2 , 10 кг N_2 и 2 кг O_2 . В начальном состоянии объем смеси $V_1 = 16 \text{ м}^3$, а температура $t_1 = 57^\circ \text{C}$. В результате адиабатного сжатия давление смеси возрастает до значения $p_2 = 0,6 \text{ МПа}$. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

2. Смесь идеальных газов задана объемными долями: $r_{\text{CO}_2} = 0,6$; $r_{\text{N}_2} = 0,3$; $r_{\text{O}_2} = 0,1$. Общая масса смеси $M = 20 \text{ кг}$. В начальном состоянии объем смеси $V_1 = 15 \text{ м}^3$, а температура $t_1 = 47^\circ \text{C}$. В результате адиабатного сжатия давление смеси возрастает до значения $p_2 = 0,9 \text{ МПа}$. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

3. Смесь идеальных газов состоит из 30 кг CO_2 , 24 кг N_2 и 6 кг O_2 . В начальном состоянии объем смеси $V_1 = 1,7 \text{ м}^3$, а температура $t_1 = 330^\circ \text{C}$. В результате адиабатного расширения температура газа уменьшается до $t_2 = 10^\circ \text{C}$. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и давление смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

4. Смесь идеальных газов задана объемными долями: $r_{\text{CO}_2} = 0,3$; $r_{\text{N}_2} = 0,25$; $r_{\text{O}_2} = 0,45$. Общая масса смеси $m = 20 \text{ кг}$. В начальном состоянии параметры смеси $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ и $t_1 = 40^\circ \text{C}$. В результате адиабатного сжатия объем смеси уменьшается до значения $V_2 = 7,0 \text{ м}^3$. Определить объем смеси в начальном состоянии, температуру и давление смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость смеси не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

5. Смесь идеальных газов состоит из 15 кг CO_2 , 12 кг N_2 и 3 кг O_2 . В начальном состоянии объем смеси $V_1 = 20 \text{ м}^3$, а давление $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$. В результате адиабатного сжатия температура смеси возрастает до значения $t_2 = 327^\circ \text{C}$. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

6. Смесь идеальных газов состоит из 3,2 кг CO_2 , 4,0 кг N_2 и 0,8 кг O_2 . В начальном состоянии параметры смеси $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$ и $t_1 = 370^\circ \text{C}$. В результате адиабатного расширения давление смеси уменьшается до $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$. Определить объем смеси в начальном и конечном состояниях, температуру и плотность смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов

не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

7. Смесь идеальных газов задана объемными долями: $r_{CO_2} = 0,3$; $r_{N_2} = 0,25$; $r_{O_2} = 0,45$. Общая масса смеси $m = 10$ кг. В начальном состоянии объем смеси $V_1 = 3,5$ м³, а давление $p_1 = 0,3$ МПа. В результате адиабатного расширения объем смеси увеличился до значения $V_2 = 7$ м³. Определить температуру смеси в начальном состоянии, давление и температуру смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Принять, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

8. Смесь идеальных газов задана объемными долями: $r_{CO_2} = 0,2$; $r_{N_2} = 0,36$; $r_{O_2} = 0,2$. Общая масса смеси $m = 10$ кг. В начальном состоянии объем смеси $V_1 = 4$ м³, а температура $t_1 = 387$ °С. В результате адиабатного расширения давление смеси уменьшается до значения $p_2 = 0,1$ МПа. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

9. Смесь идеальных газов состоит из 20 кг N_2 , 16 кг CO_2 и 4 кг O_2 . В начальном состоянии параметры смеси $p_1 = 0,1$ МПа, а температура $t_1 = 60$ °С. В результате адиабатного сжатия давление газа возрастает до $p_2 = 0,5$ МПа. Определить объем смеси в начальном и конечном состоянии, температуру и плотность смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диаграммах.

10. Смесь идеальных газов задана объемными долями: $r_{CO_2} = 0,4$; $r_{N_2} = 0,25$; $r_{O_2} = 0,35$. Общая масса смеси $m = 10$ кг. В начальном состоянии параметры смеси $p_1 = 0,9$ МПа и $t_1 = 330$ °С. В результате адиабатного расширения объем смеси увеличился до значения $V_2 = 7,5$ м³. Определить объем смеси в начальном состоянии, температуру и давление смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость смеси не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в pV - и TS – диа- граммах.

Циклические процессы

11. Воздух из начального состояния 1 ($t_1 = 1600$ °С и $p_1 = 4$ МПа) изохорно охлаждается до температуры $t_2 = 200$ °С, а затем изотермически сжимается до состояния 3, в котором $p_3 = p_1$. Показать процессы 1-2-3 в pV - и TS -диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

12. Кислород из начального состояния 1 изотермически сжимается до состояния 2, а затем в изохорном процессе охлаждается до состояния 3, в котором $p_3 = p_1$. В точке 2 параметры кислорода $t_2 = 1200$ °С и $p_2 = 6$ МПа, в точке 3 температура $t_3 = 300$ °С. Показать процесс 1-2-3 в pV - и TS -диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные значение работы, теплоты, изменения внутренней энергии и энтропии кислорода в процессах 1-2, 2-3 и 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

13. Воздух из начального состояния 1 изотермически сжимается до состояния 2, а затем в изобарном процессе расширяется до состояния 3, в котором $v_3 = v_1$. Параметры воздуха в точке 2 $p_2 = 0,5$ МПа и $t_2 = 200$ °С. Температура воздуха в состоянии 3 $t_3 = 1400$ °С. Показать процесс 1-2-3 в pV - и TS -диаграммах. Определить значения p , t , и v кислорода в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

14. Кислород из состояния 1 изотермически расширяется до состояния 2, в котором $p_2 = 0,1$ МПа и $t_2 = 1000$ °С, а затем сжимается в изобарном процессе до объема $v_3 = v_1$.

Температура кислорода в состоянии 3 $t_3 = 300^\circ\text{C}$. Показать процесс 1-2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v кислорода в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости кислорода от температуры.

15. Воздух из начального состояния 1 ($t_1 = 300^\circ\text{C}$ и $p_1 = 0,1\text{МПа}$) в изобарном процессе нагревается до температуры $t_2 = 1600^\circ\text{C}$, а затем изотермически сжимается до состояния 3, в котором $v_3 = v_1$. Показать процессы 1-2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

16. Воздух из начального состояния 1 ($t_1 = 100^\circ\text{C}$ и $p_1 = 0,1\text{МПа}$) в изохорном процессе нагревается до температуры $t_2 = 1400^\circ\text{C}$, а затем изотермически расширяется до состояния 3, в котором $p_3 = p_1$. Показать процессы 1-2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

17. Азот из состояния 1 ($t_1 = 100^\circ\text{C}$ и $p_1 = 0,1\text{МПа}$) в изобарном процессе расширяется до состояния 2, в котором $t_2 = 900^\circ\text{C}$, а затем изотермически переводится в состояние 3, в котором $v_3 = v_1$. Показать процессы 1-2 и 2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

18. Кислород из состояния 1 изотермически расширяется до состояния 2, в котором $p_2 = 0,1\text{МПа}$ и $t_2 = 200^\circ\text{C}$, а затем в изохорном процессе нагрева переходит в состояние 3, в котором $p_3 = p_1$ и $t_3 = 1400^\circ\text{C}$. Показать процесс 1-2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v кислорода в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости кислорода от температуры.

19. Азот из состояния 1 ($t_1 = 1000^\circ\text{C}$ и $p_1 = 6\text{МПа}$) в изохорном процессе охлаждается до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$, а затем изотермически сжимается до состояния 3, в котором $p_3 = p_1$. Показать процессы 1-2 и 2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

20. Воздух из состояния 1 ($t_1 = 1400^\circ\text{C}$ и $p_1 = 0,5\text{МПа}$) в изобарном процессе охлаждается до температуры $t_2 = 200^\circ\text{C}$, а затем изотермически расширяется до состояния 3, в котором $v_3 = v_1$. Показать процессы 1-2 и 2-3 в pV - и TS - диаграммах. Определить значения p , t , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

Свойства пара

21. Влажный пар аммиака из состояния 1 ($p_1 = 0,615\text{МПа}$, $x_1 = 0,2$) в изохорном процессе переходит в состояние 2, где его температура $t_2 = 40^\circ\text{C}$. Определить значения p , t , v , s , u , x в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2 показать в pV -, TS - и iS - диаграммах.

22. Влажный пар диоксида углерода из состояния 1 ($t_1 = -40^\circ\text{C}$, $x_1 = 0,1$) в изохорном процессе переходит в состояние 2, где его температура $t_2 = 15^\circ\text{C}$. Определить значения p , t , v , s , u , x в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2-3 показать в pV -, TS - и iS - диаграммах.

23. Влажный пар хладагента R12 из состояния 1 ($t_1 = 20^\circ\text{C}$, $x_1 = 0,91$) адиабатически расширяется до состояние 2, где его температура $t_2 = -15^\circ\text{C}$. Определить значения p , t , v , s , u , x в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2-3 показать в pV -, TS - и iS - диаграммах.

24. Сухой пар аммиака с начальной температурой $t_1 = 50^\circ\text{C}$ в результате охлаждения при постоянном объеме переходит в двухфазное состояние 2, в котором $t_2 = 10^\circ\text{C}$.

Затем в изобарном процессе аммиак нагревается до состояния 3, в котором степень сухости аммиака $x_3 = 0.8$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2-3 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

25. Влажный пар диоксида углерода из состояния 1 ($t_1 = 15^\circ\text{C}$, $x_1 = 0.67$) адиабатно расширяется до состояния 2, в котором $t_2 = -40^\circ\text{C}$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2. Процесс 1-2 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

26. Влажный пар аммиака из состояния 1 ($t_1 = 40^\circ\text{C}$, $x_1 = 0.5$) адиабатно расширяется до состояние 2, в котором $t_2 = 10^\circ\text{C}$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

27. Влажный пар хладагента R12 из состояния 1 ($t_1 = -15^\circ\text{C}$, $x_1 = 0.3$) в изохорном процессе переходит в состояние 2, в котором $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

28. Сухой пар диоксида углерода с начальной температурой $t_1 = 15^\circ\text{C}$ адиабатно расширяется до состояния 2, в котором $t_2 = -50^\circ\text{C}$. Затем в изобарном процессе отвода теплоты диоксид углерода переходит в состояние 3, в котором степень сухости $x_3 = 0.25$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2-3 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

29. Сухой пар хладагента R12 с начальной температурой $t_1 = 30^\circ\text{C}$ адиабатно расширяется до состояние 2, в котором $t_2 = -20^\circ\text{C}$. Затем в изобарном процессе отвода теплоты хладагент переходит в состояние 3, в котором степень сухости $x_3 = 0.3$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2-3 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

30. Влажный пар хладагента R12 из состояния 1 ($t_1 = 15^\circ\text{C}$, $x_1 = 0.1$) в изохорном процессе подвода теплоты нагревается до температуры $t_2 = 30^\circ\text{C}$, а затем в изобарном процессе переходит в состояние 3 со степенью сухости $x_3 = 0.6$. Определить значения p, t, v, s, u, h в состояниях 1 и 2, а также удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2-3 показать в pV -, TS - и iS -диаграммах.

31. Начальное состояние водяного пара задано параметрами $p_1 = 0,3$ МПа и $t_1 = 250^\circ\text{C}$. Из этого состояния пар охлаждается при постоянном давлении до состояния сухого пара $x_2 = 1$, а затем адиабатно расширяется до удельного объема $v_3 = 5$ м³/кг. Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и 3, удельные количества теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в TS - и iS -диаграммах.

32. Начальное состояние водяного пара задано параметрами $p_1 = 0.1$ МПа и $x_1 = 0.9$. Из этого состояния пар адиабатно сжимается до состояния сухого пара $x_2 = 1$ и далее при постоянном давлении нагревается до температуры $t_3 = 350^\circ\text{C}$. Определить параметры пара в точках 1, 2, 3, удельные количества теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Показать процесс 1-2-3 в TS - и iS - диаграммах.

33. Водяной пар в начальном состоянии имеет параметры $p_1 = 1,5$ МПа и $x_1 = 0.76$. Из этого состояния при постоянном объеме пар нагревается до температуры $t_2 = 550^\circ\text{C}$ и далее при неизменной температуре расширяется до удельного $v_3 = 2,0$ м³/кг. Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и 3, удельные количества теплоты и работу расширения пара в процессе 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в TS - и iS - диаграммах.

34. Начальное состояние водяного пара задано параметрами $t_1 = 600^\circ\text{C}$ и $p_1 = 3$ МПа. Из этого состояния пар адиабатно расширяется до состояния сухого пара ($x_2 = 1$), а затем при постоянном давлении охлаждается до степени сухости $x_3 = 0,8$. Определить параметры пара в состояниях 1, 2, 3, удельные количество теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Показать процессы в TS - и iS - диаграммах.

35. Водяной пар из начального состояния с $p_1 = 2,0$ МПа и $t_1 = 600^\circ\text{C}$ (при постоянном объеме) охлаждается до температуры $t_2 = 300^\circ\text{C}$, а затем адиабатно переводится в состояние 3 со степенью сухости $x_3 = 0,9$. Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и 3, удельные количества теплоты и работу расширения пара в процессе 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в TS - и iS - диаграммах.

36. Водяной пар в начальном состоянии имеет параметры $p_1 = 0,01$ МПа и $x_1 = 0,9$. Из этого состояния пар адиабатно сжимается до давления $p_2 = 2,0$ МПа и затем при постоянном давлении охлаждается до температуры $t_2 = 250^\circ\text{C}$. Определить параметры па-

ра в состояниях 1, 2 и 3 удельные количества теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в TS- и iS- диаграммах.

37. Начальное состояние водяного пара задано параметрами $t_1 = 550$ °C и $p_1 = 2$ МПа. Из этого состояния при постоянном давлении пар переходит в двухфазное состояние с $x_2 = 0,8$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях, удельную работу сжатия. Показать процесс в TS- и iS- диаграммах.

38. Сухой насыщенный водяной пар с начальной температурой $t_1 = 160$ °C адиабатно сжимается так, что объем пара уменьшается в 10 раз. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях, удельную работу сжатия и изменение энтальпии пара в процессе. Показать процесс в TS- и iS- диаграммах.

39. Водяной пар с начальными параметрами $p_1 = 0,005$ МПа и $t_1 = 150$ °C сжимается при постоянной температуре и переходит в двухфазное состояние со степенью сухости $x_2 = 0,9$. Определить начальные и конечные параметры пара, удельные количество теплоты и работу сжатия процесса. Показать процессы в TS- и iS- диаграммах.

40. Начальное состояние водяного пара задано параметрами $p_1 = 0,26$ МПа и $t_1 = 250$ °C. Из этого состояния пар охлаждается при постоянном давлении до состояния сухого пара $x_2 = 1$, а затем адиабатно расширяется до удельного объема $v_3 = 10$ м³/кг. Определить параметры пара в состояниях 1, 2, 3, удельные количество теплоты и работу расширения процесса. 1-2-3. Показать процессы в TS- и iS- диаграммах.

Влажный воздух

41. В идеальную сушильную камеру подается 50 кг/с влажного воздуха при параметрах $W_1 = 5\%$ и $t_1 = 90$ °C. Относительная влажность воздуха на выходе из камеры $W_2 = 60\%$. Определить массовый и объемный расход влажного воздуха на выходе из камеры. Принять давление в камере $B = 0,1$ МПа. Задачу решить с использованием hd- диаграммы и привести схему решения.

42. Определить массовый и объемный расход влажного воздуха на входе в идеальную сушильную камеру, если известно, что в камере испаряется 10 кг воды в секунду, параметры влажного воздуха на выходе из камеры $W_2 = 60\%$ и $t_2 = 45$ °C, а изменение влагосодержания воздуха в камере $\Delta d = 20$ г/(кг сух. возд.). Принять давление в камере $B = 0,1$ МПа. Задачу решить с использованием hd- диаграммы и привести схему решения.

43. В сушильную установку подается 50 кг/с влажного воздуха с параметрами $B_1 = 0,1$ МПа, $W_1 = 40\%$ и $t_1 = 25$ °C. Определить объемный расход влажного воздуха на входе в установку и количество воды, испаряющейся из высушиваемого материала в секунду, если изменение влагосодержания воздуха в установке $\Delta d = 19$ г на 1 кг сухого воздуха.

44. Влажный воздух поступает в идеальную сушильную камеру при $W_1 = 10\%$ и $t_1 = 70$ °C и выходит из камеры при относительной влажности $W_2 = 90\%$. Приняв давление в камере $B = 0,1$ МПа, определить плотность влажного воздуха на выходе из камеры и количество сухого воздуха, необходимого для испарения 1000 кг воды из высушиваемого материала. При расчете использовать hd- диаграмму и привести схему решения.

45. Влажный воздух на входе в идеальную сушильную установку имеет относительную влажность $W_1 = 50\%$ и температуру и $t_1 = 15$ °C. В калорифере он подогревается до $t_2 = 90$ °C. Затем в сушильной камере во влажный воздух испаряется вода в количестве 20 г на 1 кг сухого воздуха. Приняв давление в сушильной камере $B = 0,1$ МПа, определить температуру и плотность влажного воздуха на выходе из сушильной камеры и расход теплоты на испарения 1 кг. Задачу решить с использованием hd- диаграммы и привести схему решения.

46. Влажный воздух на входе в сушильную установку имеет параметры $W_1 = 50\%$ и $t_1 = 15$ °C. Объемный расход влажного воздуха на входе с $V_{31} = 50$. Определить количество воды, испаряемой этим воздухом в секунду из высушиваемого материала, если изменение влагосодержания в камере $\Delta d = 20$ г на 1 кг сухого воздуха. Задачу решить с использованием hd- диаграммы. Принять давление $B = 0,1$ МПа.

47. Определить необходимый объемный расход влажного воздуха на входе в сушильную установку для испарения из материала 10 кг воды в секунду, если параметры влажного воздуха на входе в установку $W_1 = 40\%$ и $t_1 = 25$ °C, а изменение влагосодержания воздуха в сушильной камере составляет $\Delta d = 20$ г/(кг сух. возд.). Принять давление $B = 0,1$ МПа.

48. Расход сухого воздуха через идеальную сушильную установку составляет 50 кг/с. Определить объемный расход влажного воздуха на входе в установку, на входе в сушильную камеру и на выходе из нее, если $W_1 = 40\%$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 80^\circ\text{C}$ и $W_3 = 80\%$. Принять давление $P = 0,1$ МПа. Задачу решить с использованием h_d - диаграммы.

49. Влажный воздух поступает в сушильную установку с параметрами $t_1 = 25^\circ\text{C}$ и $W_1 = 80\%$, а выходит из нее с параметрами $t_2 = 55^\circ\text{C}$ и $W_2 = 50\%$. Определить массовый и объемный расход воздуха на выходе из установки, если из высушиваемого материала испаряется 2,8 кг воды в секунду. Принять давление $P = 0,1$ МПа. Задачу решить с использованием h_d - диаграммы.

50. Влажный воздух массой 5 кг с параметрами $t_1 = 10^\circ\text{C}$ и $W_1 = 70\%$, адиабатно смешивается с 10 кг влажного воздуха, параметры которого $t_2 = 60^\circ\text{C}$ и $W_2 = 40\%$. Определить влагосодержание, относительную влажность, температуру и плотность образовавшегося при смешении влажного воздуха. Принять давление воздуха до и после смешения $P = 0,1$ МПа.

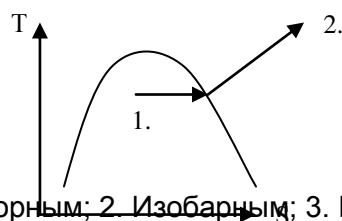
51. К соплу парциальной газовой турбины подводятся продукты сгорания топлива с начальными параметрами $p_1 = 1,3$ МПа и $t_1 = 550^\circ\text{C}$. В сопле давление понижается до $p_2 = 0,2$ МПа. Потерями напора пренебречь. Считая продукты сгорания идеальным газом с $R = 280$ Дж/(кг К) и $k = 1,33$, определить:

- 1) какой тип сопла применен в турбине;
- 2) параметры и скорость газа в выходном сечении сопла;
- 3) расход газа, если минимальный диаметр сопла $d_{\min} = 10$ мм.

Тест для самоконтроля по дисциплине «Теплофизика»

1. В изохорном процессе воздух нагревается на 100°C . Определите конечное давление - P_2 , если начальные параметры: давление $P_1 = 3$ бара, температура $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Выберите правильный вариант ответа.
1. $P_2 = 3$ бара; 2. $P_2 = 4$ бара; 3. $P_2 = 5$ бар; 4. $P_2 = 6$ бар.
2. В обратимом изотермическом процессе расширения при температуре $t = 227^\circ\text{C}$ к рабочему телу подводится теплота $Q = 2,5$ МДж. Определите изменение энтропии в процессе. Выберите правильный вариант ответа.
1. $S_2 - S_1 = 2$ кДж/К; 2. $S_2 - S_1 = 3$ кДж/К; 3. $S_2 - S_1 = 4$ кДж/К; 4. $S_2 - S_1 = 5$ кДж/К.
3. Определите работу обратимого цикла Карно, если теплота в количестве $Q_1 = 1$ кДж подводится к рабочему телу при температуре $t_1 = 327^\circ\text{C}$, а отвод теплоты осуществляется при температуре $t_2 = 27^\circ\text{C}$. Выберите правильный вариант ответа.
1. $L = 2$ кДж; 2. $L = 1,5$ кДж; 3. $L = 1$ кДж; 4. $L = 0,5$ кДж.
4. Определите энтальпию влажного пара при степени сухости $x = 0,5$, если энтальпия насыщенной жидкости $i' = 350$ КДж/кг, а теплота парообразования $r = 2300$ КДж/кг.
1. $i = 1600$ КДж/кг; 2. $i = 1500$ КДж/кг; 3. $i = 1400$ КДж/кг; 4. $i = 1300$ КДж/кг.
5. Определите термический КПД цикла Ренкина без учета насоса, если энтальпии пара: перед турбиной $i_1 = 3400$ КДж/кг, после турбины $i_2 = 1800$ КДж/кг, а энтальпия конденсата $i_2' = 200$ КДж/кг.
1. КПД = 0,4; 2. КПД = 0,45; 3. КПД = 0,5; 4. КПД = 0,55/
6. Определите абсолютный внутренний КПД турбины, если ее относительный внутренний КПД равен 0,9, а термический КПД цикла Ренкина составляет 40 %.
1. Абс. вн. КПД = 0,36; 2. Абс. вн. КПД = 0,34; 3. Абс. вн. КПД = 0,32; 4. Абс. вн. КПД = 0,30.

7. Для адиабатного процесса справедливо соотношение:
 1. $(P_1/P_2) = (V_2/V_1)^k$; 2. $(P_2/P_1) = (V_2/V_1)^k$; 3. $(P_2/P_1) = (V_2/V_1)^{1/k}$; 4. $(P_1/P_2) = (V_2/V_1)^{1/k}$.
8. В адиабатном процессе расширения идеального газа совершается работа, определяемая выражением:
 1. $L = R(T_2 - T_1)$; 2. $L = C_p(T_2 - T_1)$; 3. $L = C_n(T_2 - T_1)$; 4. $L = C_v(T_1 - T_2)$.
9. Теплота политропного процесса определяется по одному из следующих выражений:
 1. $q = C_v(T_2 - T_1)$; 2. $q = C_p(T_2 - T_1)$; 3. $q = C_n(T_2 - T_1)$; 4. $q = R(T_2 - T_1)$.
10. Теплоемкость политропного процесса определяется по формуле (n – показатель политропы, k – показатель адиабаты):
 1. $C_n = C_v(n - 1)/(n - k)$; 2. $C_n = C_v(n - k)/(n - 1)$; 3. $C_n = C_v(k - n)/(n - 1)$; 4. $C_n = C_v(n - k)/(1 - n)$.
11. Коэффициент полезного действия термодинамического цикла – это:
 1. Отношение совершаемой работы к подведенной теплоте;
 2. Отношение совершаемой работы к отведенной теплоте;
 3. Отношение отведенной теплоты к подведенной;
 4. Отношение подведенной теплоты к совершаемой работе.
12. Термодинамический КПД цикла Карно, совершаемого между двумя источниками теплоты, по сравнению с КПД любого другого цикла, совершаемого между теми же источниками, всегда:
 1. Меньше; 2. Равен; 3. Больше; 4. Не больше.
13. Совместное выражение I и II законов термодинамики имеет вид:
 1. $Tds = du + pdv$; 2. $Tds \geq du + pdv$; 3. $Tds < du + pdv$; 4. $Tds \leq du + pdv$.
14. Изменение энтропии в необратимом адиабатном процессе определяется выражением:
 1. $s_2 - s_1 < 0$; 2. $s_2 - s_1 > 0$; 3. $s_2 - s_1 = 0$; 4. $s_2 - s_1 \geq 0$.
15. Уравнение Ван-дер-Ваальса определяется выражением:
 1. $(p + a)(v - b) = RT$; 2. $(p + a/v)(v - b) = RT$; 3. $(p + a/v^2)(v - b) = RT$; 4. $(p + a)(v - b/v^2) = RT$.
16. Процесс водяного пара, изображенный на графике, является:



1. Изохорным; 2. Изобарным; 3. Изотермическим; 4. Политропным.
17. Если влажный воздух охлаждать при постоянном влагосодержании, то его относительная влажность...:
 1. Не изменяется; 2. Уменьшается; 3. Увеличивается; 4. Изменяется произвольно.

18. Если при постоянной температуре влажного воздуха увеличивать его относительную влажность, то показания сухого – t_c и мокрого – t_m термометров будут изменяться следующим образом:
1. t_c и t_m – уменьшатся;
 2. t_c не изменится, t_m – увеличится;
 3. t_c не изменится, t_m – уменьшится;
 4. t_c и t_m – увеличатся.
19. Какое из приведенных выражений определяет второе начало термодинамики?
1. $dS = dQ/T$;
 2. $dS \leq dQ/T$;
 3. $dS \geq dQ/T$;
 4. $dS < dQ/T$.
20. В каком из процессов идеального газа теплота равна изменению энтальпии?
1. Изобарном;
 2. Изотермическом;
 3. Изохорном;
 4. Адиабатном.
21. При адиабатном дросселировании потока не изменяется его ...:
1. Энтальпия;
 2. Энтальпия;
 3. Внутренняя энергия;
 4. Удельный объем.
22. Какой процесс сжатия газа в компрессоре наиболее экономичен:
1. Адиабатный;
 2. Политропный;
 3. Изотермический;
 4. Изохорный.
23. В цикле Отто двигателя внутреннего сгорания теплота подводится в следующем процессе:
1. Изобарном;
 2. Изохорном;
 3. Изотермическом;
 4. Адиабатном.
24. В цикле Дизеля двигателя внутреннего сгорания теплота подводится в следующем процессе:
1. Изобарном;
 2. Изохорном;
 3. Изотермический;
 4. Адиабатном.
25. Сравниваются коэффициенты полезного действия (КПД) двух циклов двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты: а) при $V = \text{const}$ и б) при $P = \text{const}$, при одинаковых степенях сжатия. Выберите вариант ответа:
1. КПД а) < КПД б);
 2. КПД а) = КПД б);
 3. КПД а) \approx КПД б);
 4. КПД а) > КПД б).
26. Как влияет снижение степени повышения давления в газотурбинной установке на ее термодинамический КПД?
1. Не влияет;
 2. Увеличивает;
 3. Незначительно;
 4. Уменьшает.
27. Паросиловая установка, работающая по циклу Ренкина, включает в себя основное оборудование, работающее в следующей последовательности:
1. Котел – турбина – насос – конденсатор – котел;
 2. Турбина – котел – конденсатор – насос – турбина;
 3. Котел – турбина – конденсатор – насос – котел;
 4. Котел – конденсатор – насос – турбина – котел.
28. Повышение давления пара перед турбиной оказывает на термический КПД цикла Ренкина, следующее влияние:
1. Повышает;
 2. Понижает;
 3. Не влияет;
 4. Влияет незначительно.
29. Холодильный коэффициент – это отношение...:
1. Затраченной работы к теплоте, отданной горячему источнику;
 2. Теплоты, отданной горячему источнику, к затраченной работе;

3. Теплоты, отведенной от холодного источника, к теплоте отданной горячему источнику;
4. Теплоты, отведенной от холодного источника, к затраченной работе.

30. Какое из приведенных выражений определяет первое начало термодинамики?
 1. $dq = du - vdp$; 2. $dq = du + vdp$ 3. $dq = du + pdv$; 4. $dq = du - pdv$.

31. Если теплоемкость линейно зависит от температуры ($c = a + bt$), то её средняя величина между t_1 и t_2 определяется следующим выражением:

1. $C_m = a - \frac{b(t_1 - t_2)}{2}$; 2. $C_m = a + \frac{b(t_1 + t_2)}{2}$; 3. $C_m = a + \frac{b(t_1 - t_2)}{2}$; 4. $C_m = a - \frac{b(t_1 + t_2)}{2}$.

32. Кажущаяся молекулярная масса идеальной смеси, компоненты которой имеют молекулярные массы - μ_i и объемные доли - r_i , определяется по формуле:

1. $\mu_{см} = \frac{1}{\sum r_i \mu_i}$; 2. $\mu_{см} = \sum \mu_i / r_i$; 3. $\mu_{см} = \sum \mu_i \cdot r_i$; 4. $\mu_{см} = \sum r_i / \mu_i$.

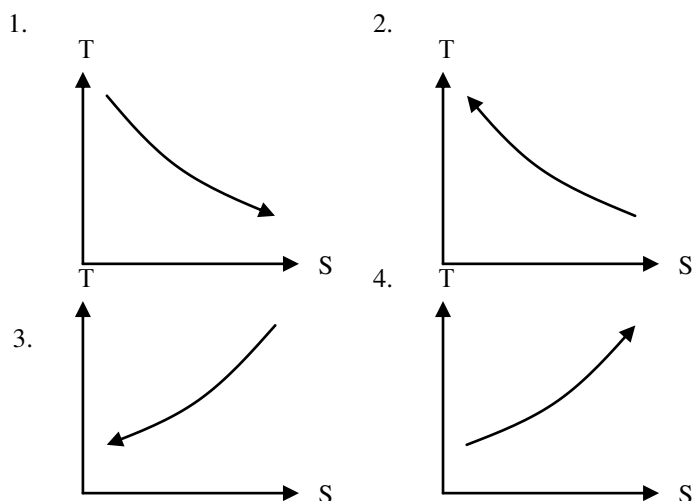
33. Внутренняя энергия идеального газа зависит от следующих величин:

1. Температуры и объема;
2. Температуры;
3. Температуры и давления;
4. Давления и объема.

34. Между изобарной - C_p и изохорной - C_v теплоемкостями идеального газа существует связь, которая определяется выражением:

1. $C_v + R = C_p$; 2. $R - C_v = C_p$; 3. $C_p + C_v = R$; 4. $C_v - C_p = R$.

35. Изохорный подвод теплоты изображается в TS – диаграмме следующим графиком:



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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестаций.

Текущий контроль успеваемости проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущий контроль успеваемости проводится в формах: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа), лабораторных работ. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/специальность: 15.03.01 Машиностроение


Профиль подготовки: Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

Дисциплина: Б1.В.ДВ.2.1 Теплофизика

Форма обучения: очная, заочная

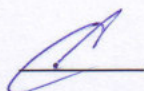
Ответственный исполнитель

Декан факультета
физико-математического и естественно-
научного образования

 С. Е. Зюзин 25.11.2017

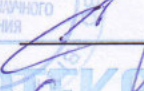
Исполнители

Доцент кафедры прикладной математики,
информатики, физики и методики
их преподавания

 С. Е. Зюзин 25.11.2017


СОГЛАСОВАНО

Декан факультета
физико-математического и естественно-
научного образования

 С. Е. Зюзин 25.11.2017

Заведующий библиотекой


М.П.

 Н. В. Моторина 25.11.2017

Представитель
профильной организации,
директор по производству
ООО «Грибановский
машиностроительный завод»

М.П.

М.П.

 Н. Ф. Ртищев 25.11.2017



Программа рекомендована НМС факультета физико-математического и естественно-научного образования протокол № 3 от 23.11.2017 г.