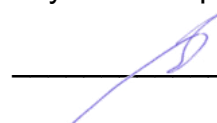


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
БОРИСОГЛЕБСКИЙ ФИЛИАЛ  
(БФ ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан факультета физико-  
математического и естественно-  
научного образования



С.Е. Зюзин  
25.11.2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.ДВ.2.2 Физика тепло- и массопереноса**

**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 в области тепло- и массопереноса, протекающих как в однофазной, так и в двухфазной системах на границе раздела фаз при работе машин и механизмов.

Задачи дисциплины:

- изучение стационарной и нестационарной теплопроводности, а также вопросов конвекционного теплообмена при вынужденном и свободном движении жидкости;

- изучение теплообмена при фазовых превращениях веществ, процессов лучистого теплообмена между твердыми телами и газами;

- получение навыков 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 «Физика тепло- и массопереноса» 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 пре-

доставляется 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><b>знать:</b>  историю развития и современное состояние науки о строении и свойствах материи;  основные законы теплофизики;  обозначения физических величин, единицы их измерения</p> <p><b>уметь:</b>  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><b>владеть:</b>  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><b>знать:</b>  методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p> <p><b>уметь:</b>  применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p> <p><b>владеть (иметь навык(и)):</b>  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
		В том числе в интерактивной форме

Контактная работа, в том числе:	30	8	30
лекции	10	2	10
практические занятия	20	6	20
лабораторные работы		-	
Самостоятельная работа	42	-	42
Форма промежуточной аттестации зачет		-	
Итого:	72	8	72

### Виды учебной работы (заочная форма обучения)

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		В том числе в интерактивной форме	9 семестр
Контактная работа, в том числе:	16	5	16
лекции	8		8
практические занятия	8	5	8
лабораторные работы			
Самостоятельная работа	52		52
Форма промежуточной аттестации зачет	4		4
Итого:	72	5	72

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен.	<p>Возникновение и история развития науки о теплообмене. Виды теплообмена. Роль теплообмена в машиностроении. Связь с технической термодинамикой.</p> <p>Температурное поле, температурный градиент, закон Фурье, тепловой поток, коэффициент теплопроводности, характеристика теплоизоляционных свойств различных материалов. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Граничные условия.</p> <p>Стационарная теплопроводность. Теплопроводность через плоскую и цилиндрическую стенку, однослойную и многослойную. Эквивалентный коэффициент теплопроводности. Теплопроводность при наличии внутренних источников тепла. Нестационарная теплопроводность. Дифференциальное уравнение, краевые условия. Методы решения краевой задачи нестационарной теплопроводности.</p> <p>Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона-Рихмана. Пограничный слой. Система уравнений конвективного теплообмена.</p>
1.2	Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена.	<p>Основы теории подобия. Теоремы подобия. Критерии (числа) подобия и уравнения подобия. Критериальное уравнение конвективного теплообмена.</p> <p>Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режиме течения жидкости в канале. Теплоотдача при вынужденно поперечном омывании одиночных труб и</p>

		<p>трубных пучков. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Теплоотдача при кипении жидкости и конденсации пара. Пузырьковый и пленочный режимы кипения.</p> <p>Решение задач нестационарной теплопроводности на основе теории подобия. Аналитическое описание процесса охлаждения (нагрева) плоской неограниченной пластины. Определение количества тепла, отдаваемого (воспринимаемого) плоской неограниченной пластиной. Анализ решения охлаждения (нагрева) сплошного неограниченного цилиндра. Расчет нестационарного температурного поля для тел конечных размеров. Зависимость температурного поля от числа Фурье. Численные методы решения задач нестационарной теплопроводности. Электротепловая аналогия.</p>
1.3	Теплообмен излучением.	<p>Тепловое излучение и его характеристики: интегральная энергетическая светимость, спектральная плотность, яркость излучения. Эффективное и результирующее излучение. Абсолютно черное и серое тела. Степень черноты. Законы теплового излучения: Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка, Ламберта. Лучистый теплообмен между телами в диатермичной среде. Использование экранов для защиты от излучения. Тепловое излучение в поглощающей среде. Степень черноты газа. Сложный теплообмен. Числа подобия Кирпичева и Больцмана. Технические применения теплообмена излучением.</p>
1.4	Теплопередача. Теплообменные аппараты.	<p>Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки при граничных условиях третьего рода. Критический диаметр тепловой изоляции. Пути интенсификации теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра.</p> <p>Классификация теплообменных аппаратов. Основы теплового расчета рекуперативных теплообменников: уравнения теплового баланса, теплопередачи, коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата. Определение среднего температурного напора теплообменного аппарата. Особенности теплового расчета регенеративных теплообменных аппаратов. Основы технико-экономической оптимизации теплообменных аппаратов.</p>
1.5	Массообмен.	<p>Основные понятия и определения. Виды диффузии. Молекулярная диффузия, закон Фика, Стефановский поток. Дифференциальные уравнения тепло - и массообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Диффузионные числа подобия. Процесс тепло- и массопереноса при испарении жидкости.</p>
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Стационарная теплопроводность.	<p>Решение одномерного стационарного уравнения теплопроводности в декартовых и цилиндрических координатах с граничными условиями первого рода. Решение задач на определение плотности теплового потока, разности температур, коэффициента теплопроводности, теплового сопротивления, толщины плоской и цилиндрической стенок.</p>

2.2	Конвективный теплообмен в однородной среде.	Приведение системы уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду с использованием критериев подобия. Вычисление критериев подобия.
2.3		Решение задач на определение коэффициентов теплоотдачи и тепловых потоков.
2.4	Теплообмен при кипении и конденсации.	Решение задач на определение коэффициента теплоотдачи и количества пара, конденсирующегося в единицу времени на поверхности труб и пучка труб. Определение коэффициента теплоотдачи и тепловой нагрузки при пузырьковом кипении воды.
2.5	Нестационарная теплопроводность.	Обсуждение методов решения задач нестационарной теплопроводности. Решение задач на определение температурного поля в пластине графическим и аналитическим методами. Определение времени нагрева пластины до заданной температуры и количества полученной теплоты. Вычисление коэффициентов тепло- и теплопроводности.
2.6	Теплообмен излучением.	Решение задач на определение излучательной способности поверхности и длины волны, при которой наблюдается ее максимум. Определение истинной температуры и степени черноты. Вычисление плотности теплового потока между двумя излучающими стенками. Расчет тепловых потерь в отсутствие и при наличии экрана.
2.7	Теплопередача.	Решение задач теплопередачи через стенки при граничных условиях третьего рода. Расчет термического сопротивления однородной и многослойной стенок, плоской и цилиндрической.
2.8	Теплообменные аппараты.	Конструкционный и поверочный расчеты рекуперативного теплообменника.
2.9	Массообмен.	Решение задач на расчет параметров влажного воздуха.
2.10		Расчет плотности диффузионного потока, времени испарения.

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	
1.	Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен.	2	4		6	12
2.	Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена.	2	4		9	15
3.	Теплообмен излучением.	2	4		9	15
4.	Теплопередача. Теплообменные аппараты.	2	4		9	15
5.	Массообмен.	2	4		9	15
<b>Итого:</b>		<b>10</b>	<b>20</b>		<b>42</b>	<b>72</b>

### 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. Теплопроводность. Конвективный теплообмен.	2	2		10	14
2.	Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена.	2	2		10	14
3.	Теплообмен излучением.	2	2		10	14
4.	Теплопередача. Теплообменные аппараты.		2		10	12
5.	Массообмен.	2	-		12	14
<b>Итого:</b>		<b>8</b>	<b>8</b>		<b>52</b>	<b>68</b>

#### 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

##### а) основная литература:

№ п/п	Источник
01	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: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=436995">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=436995</a> (21.11.2017).

##### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
02	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. - (Мир физики и техники). - ISBN 978-5-94836-327-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=233466">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=233466</a> (21.11.2017)

##### в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
03	Термодинамика и классическая статистическая физика [Электронный ресурс]: учебное

	пособие для вузов : [для студ. 4 к. д/о физ. фак. Воронеж. гос. ун-та, для специальности 010701 - Физика] / А.Н. Алмалиев [и др.] ; Воронеж. гос. ун-т .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-205.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-205.pdf</a> >. (21.11.2017)
04	Термодинамика и классическая статистическая физика [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов : [для студентов 4 курса днев. отд-ния физ. фак. ВГУ, для направлений 03.03.02 - Физика и 03.03.03 - Радиофизика ] / [А.Н. Алмалиев и др.] ; Воронеж. гос. ун-т .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-114.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-114.pdf</a> >. (21.11.2017)

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Интерактивные материалы (презентации) ко всем темам курса.
2	Комплекты физических задач практической направленности.

## 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, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся
ОПК-1 Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<b>знать:</b> историю развития и современное состояние науки о строении и свойствах материи; основные законы теплофизики; обозначения физических величин, единицы их измерения	Раздел 1 Введение. Способы переноса теплоты Раздел 2 Стационарная теплопроводность Раздел 5 Теплообмен при кипении и конденсации Раздел 7 Теплопередача Раздел 8 Массообмен	Практическое задание (индивидуальные домашние задания) Вопросы к зачету
	<b>уметь:</b>	Раздел 3 Нестациона-	Практическое зада-



	<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>нарная теплопроводность</p> <p>Раздел 4 Конвективный теплообмен в однофазной среде</p> <p>Раздел 6 Теплообмен излучением</p>	<p>ние (индивидуальные домашние задания)</p>
	<p><b>владеть:</b></p> <p>навыками использования научного языка, научной терминологии;</p> <p>навыками выполнения физических измерений и обработки их результатов.</p>	<p>Раздел 4 Конвективный теплообмен в однофазной среде</p> <p>Раздел 6 Теплообмен излучением</p> <p>Раздел 7 Теплопередача</p> <p>Раздел 8 Массообмен</p>	<p>Практическое задание (индивидуальные домашние задания)</p>
<p>Пк-18 Умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий</p>	<p><b>знать:</b></p> <p>методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p>	<p>Раздел 9 Теплообменные аппараты</p>	<p>Практическое задание (индивидуальные домашние задания)</p>
	<p><b>Уметь:</b></p> <p>применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий,</p>	<p>Раздел 9 Теплообменные аппараты</p>	<p>Вопросы к зачету</p>
	<p><b>Владеть::</b></p> <p>методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий</p>	<p>Раздел 9 Теплообменные аппараты</p>	
<p><b>Промежуточная аттестация</b></p>			<p>КИМ (вопросы к за-</p>

### 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, обусловленные 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.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
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.	–	<i>Не зачтено</i>

### 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. Виды теплообмена: теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообмен излучением, сложный теплообмен, теплопередача.
2. Стационарная теплопроводность. Температурное поле, тепловой поток, температурный градиент, закон Фурье, коэффициент теплопроводности, температуропроводность.
3. Дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности без источников и с источниками тепла. Граничные условия. Методы решения.
4. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенок.
5. Нестационарная теплопроводность. Уравнение нестационарной теплопроводности. Краевые условия. Методы решения.
6. Нестационарное температурное поле в плоской пластине – решение задачи в безразмерном виде методом разделения переменных.
7. Решение дифференциального нестационарного уравнения теплопроводности для цилиндра и шара.
8. Нестационарное температурное поле в полуограниченном массиве.
9. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Коэффициент теплоотдачи.
10. Моделирование процессов теплообмена методами теории подобия. Критерии подобия и критериальные уравнения. Условия подобия при конвективном теплообмене.
11. Теплоотдача при свободной конвекции.
12. Теплоотдача при внешнем обтекании тел. Зависимость характера обтекания цилиндра от числа Рейнольдса. Коэффициент сопротивления цилиндра. Способы улучшения обтекания цилиндра.
13. Обтекание пучка труб. Зависимость теплоотдачи от номера ряда, соотношения продольного и поперечного шагов пучка.
14. Теплоотдача при течении жидкости в каналах. Гидравлическое сопротивление при течении в трубе. Первый закон термодинамики для течения в трубе. Математическое описание теплообмена при течении жидкости в круглой трубе.
15. Теплоотдача при кипении жидкости в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы кипения. Теплоотдача при кипении жидкости, движущейся в трубах.
16. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара. Теплообмен при пленочной конденсации пара, движущегося внутри труб. Теплообмен при конденсации пара на поверхности горизонтальных труб и трубных пучков.
17. Основные понятия и определения: интегральная и спектральная плотность излучения, угловая плотность излучения, яркость излучения. Эффективное и результирующее излучение. Законы теплового излучения: Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка, Ламберта.
18. Лучистый теплообмен между телами в диатермичной среде. Теплообмен излучением при наличии экранов.
19. Тепловое излучение в поглощающей среде (газах). Степень черноты газа.
20. Сложный теплообмен. Числа подобия Кирпичева и Больцмана.
21. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки при граничных условиях третьего рода. Критический диаметр тепловой изоляции.
22. Пути интенсификации теплопередачи. Теплопередача через ребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра.
23. Молекулярная диффузия, закон Фика, Стефановский поток.
24. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Конвективный массообмен. Коэффициент массоотдачи. Понятие о диффузионном пограничном слое.
25. Аналогия процессов тепло- и массообмена и использование аналогии для расчета массообменных процессов. Числа Нуссельта и Прандтля.
26. Классификация теплообменных аппаратов. Основы теплового расчета рекуперативных теплообменников: уравнения теплового баланса, теплопередачи, коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата.
27. Определение среднего температурного напора теплообменного аппарата.
28. Особенности теплового расчета регенеративных теплообменных аппаратов

### 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  $S = 2$  м<sup>2</sup>.

#### 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  $\rho$  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  $\rho$  — абсолютная температура и плотность газа в данном слое,  $M$  — молярная масса данного газа.

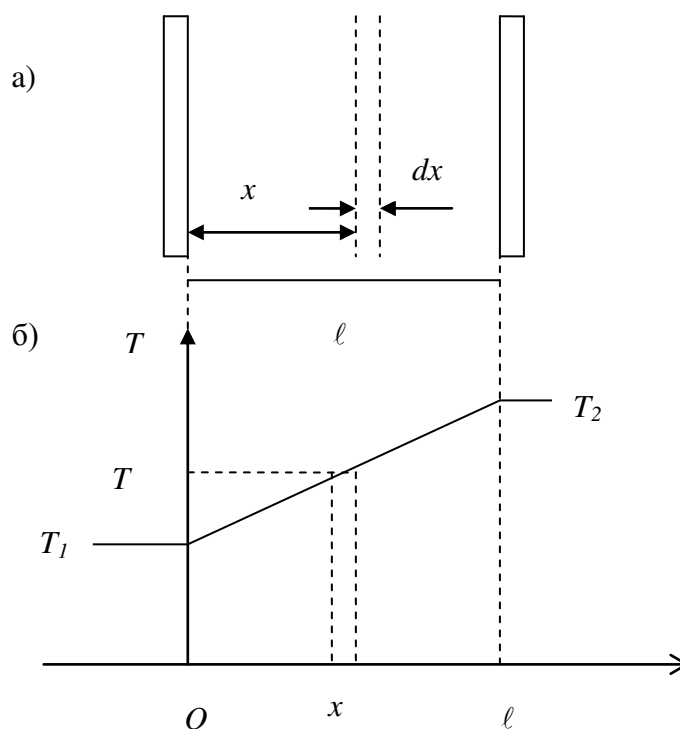


Рис 1.

Так как в (2)  $\rho$ ,  $M$  и  $R$  — величины постоянные, то

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$$

где  $\rho$  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,  $S = 2$  м<sup>2</sup>,  $l = 0,25$  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.

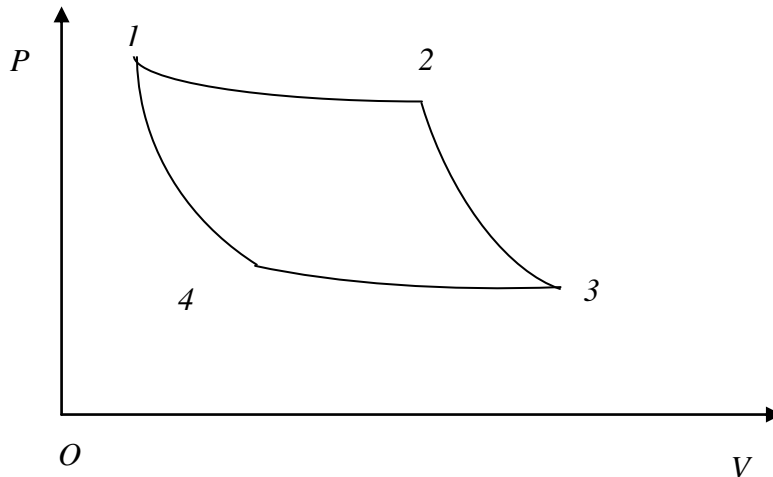


Рис. 2

**Решение.**

Коэффициент полезного действия  $\eta$  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  $\nu$ -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  $\gamma$  - 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,  $K=8,314$  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  $\delta Q$ , полученное системой, идет на приращение внутренней энергии  $dU$  и на производство внешней работы  $\delta A$ .

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

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

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

$\frac{p_1}{p_2} = 1.5$ ), получаем:

$$S_2 - S_1 = \frac{1 \text{к}210^3}{29 \text{к}2 / \text{моль}} 20,785 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \ln 1.5 \approx 290 \text{ Дж} / \text{К}.$$

**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.**

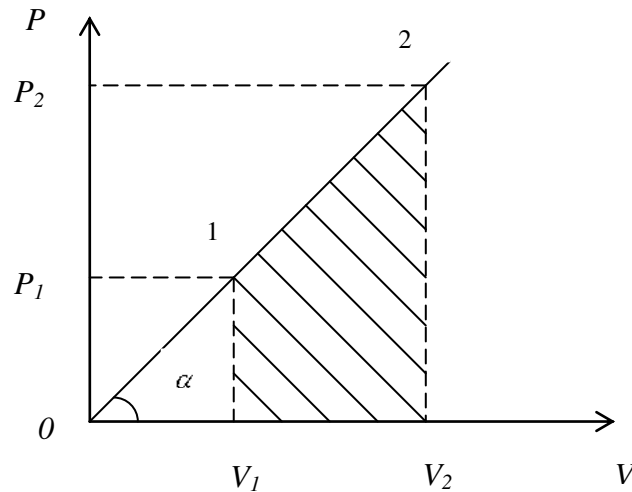


Рис. 3

Выделим на участке прямой две точки 1 и 2, тогда

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

Уравнение процесса

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

используем первый закон термодинамики.

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

где  $Q = \text{cm} \Delta T = C_v \nu \Delta T$  – 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)

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

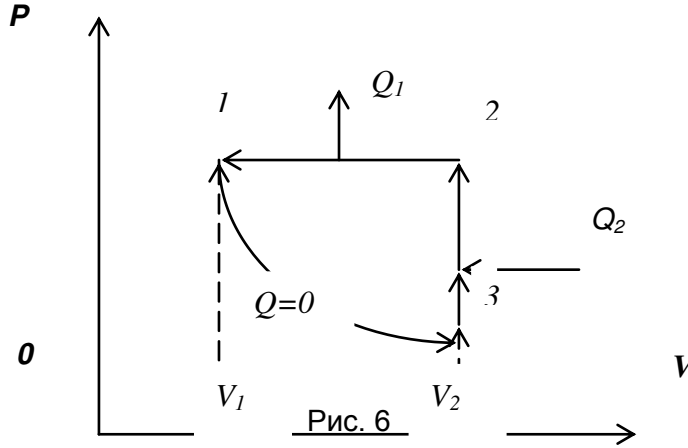


$$C = C_V + \frac{1}{2}R$$

**Пример 5.**

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

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



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

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

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

$A_{12} = p \Delta V$  – 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  $V = const$   $A_{23} = 0$ ;

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

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

$$Q_1 = 2,5\nu RT_1(K-1) = 2,5\nu RT_3 K^{\gamma-1}(K-1)$$

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

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

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

### Задачи для индивидуальных домашних заданий ОСНОВНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

1. Некоторой термодинамической системе передано количество теплоты, равное 100Дж. Как изменилась внутренняя энергия системы, если при этом она совершила работу 300Дж.
2. Термодинамической системе передано количество теплоты, равное 2000Дж, и над ней совершена работа 500Дж. Определите изменение внутренней энергии этой системы.
3. В результате совершения работы внешними силами и теплопередачи внутренняя энергия термодинамической системы увеличилась на 200Дж. Какое количество теплоты было передано термодинамической системе, если при этом внешние силы совершили работу 50 Дж.
4. Какое количество теплоты нужно передать идеальному газу, находящемуся в цилиндре под поршнем, для того чтобы внутренняя энергия газа увеличилась на 100Дж и при этом совершил работу 200 Дж.
5. Определите работу внешних сил над термодинамической системой, если изменение внутренней энергии системы составило 500Дж при передаче ей количества теплоты 400Дж.
6. В результате получения количества теплоты 800 Дж воздух в цилиндре расширился и совершил работу 200 Дж. Как изменилась при этом внутренняя энергия воздуха?
7. Какую работу совершил газ при передаче ему количества теплоты  $10^4$  Дж, если его внутренняя энергия при этом увеличилась на  $2 \cdot 10^4$ Дж?
8. Два моля кислорода очень медленно переводятся из состояния 1 в состояние 2. Какое количество теплоты необходимо подвести к газу, если в координатах  $p, V$  процесс изображается прямой линией. В состоянии 1 газ характеризуется параметрами  $p_1=1$  атм.,  $V_1=24,6$  л,  $T_1= 300$ К, а в состоянии 2 параметрами  $p_2=3p_1$ ;  $V_2=2V_1$ .
9. В баллоне вместимостью 1л находится кислород под давлением  $10^7$  Па и температуре  $T_1=300$ К. К газу подводят количество теплоты 8,35 кДж. Определите температуру газа после нагревания.
10. Санки массой  $m=5$ кг скатываются с горы, которая образует с горизонтом угол  $\alpha=30^\circ$ С. Пройдя расстояние  $l=50$ м, санки развивают скорость  $v=4,1$ м/с. Вычислите количество теплоты, выделенное при трении полозьев о снег.
11. Гелий в цилиндре под подвижным поршнем при давлении  $10^5$ Па занимает объем 12л. Какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы объем возрос в 3 раза? Молярная теплоемкость гелия при постоянном давлении 20,8 Дж/(моль К).
12. Для изобарного нагревания газа в количестве 800 моль на 500 К ему сообщили количество теплоты 9,4 МДж. Определите работу газа и приращение его внутренней энергии.

13. Кислород массой 160 г нагревают при постоянном давлении от 320 до 340 К. Определить количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.
14. 1 кмоль азота, находящийся при нормальных условиях, расширяется адиабатически от объема  $V_1$  до  $V_2 = 5V_1$ . Найти изменение внутренней энергии газа и работу, совершенную газом при расширении.
15. На тележку массой  $M$ , идущую без трения со скоростью  $v_0$  по горизонтальным рельсам, не упруго падает с высоты  $h$  тело массой  $m$ . Сколько тепла выделилось при ударе? . Какое количество теплоты нужно сообщить 1 кмолью кислорода, чтобы он совершая работу в 1000 Дж: а) при изотермическом процессе; б) при изобарическом процессе?
16. Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить углекислому газу массой 220 г, чтобы нагреть его на 20 К: а) при постоянном объеме; б) при постоянном давлении.
17. Какое количество теплоты нужно сообщить 1 кмолью кислорода, чтобы он совершая работу в 1000 Дж: а) при изотермическом процессе; б) при изобарическом процессе?
18. Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить углекислому газу массой 220 г, чтобы нагреть его на 20 К: а) при постоянном объеме; б) при постоянном давлении.
19. При нагревании 1 кмоль азота было передано  $10^3$  Дж теплоты. Определить работу расширения при постоянном давлении.
20. Температура воздуха в комнате объемом  $70 \text{ м}^3$  была 280 К. После того как протопили печь, температура поднялась до 296 К. Найдите работу воздуха при расширении, если давление постоянной равно 100кПа.
21. Объем аргона, находящегося при давлении 80 кПа, увеличился от 1 до 2 л. На сколько изменится внутренняя энергия газа, если расширение производилось при постоянном давлении?
22. На сколько изменится внутренняя энергия аргона, если его объем увеличился от 1 до 2 л без теплообмена с внешней средой? Начальное давление газа 80 кПа.
23. Сколько теплоты выделится, если азот массой 1 г, взятый при 280 К под давлением 0,1 МПа, изотермически сжат до давления 1 МПа?
24. Кислород, занимающий объем 1 л при давлении 1,2 МПа, адиабатически расширился до объема 10 л. Определить работу расширения газа.
25. Водород при нормальных условиях имел объем 100 м<sup>3</sup>. На сколько изменилась внутренняя энергия газа при адиабатическом изменении его объема до 150 м<sup>3</sup>?

### **ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ.**

1. В сосуде объемом 6 л находится при нормальных условиях некоторый двухатомный газ массой 8,3 г. Определить молярные и удельные теплоемкости этого газа при постоянном объеме и при постоянном давлении.
2. Трехатомный газ под давлением 240 кПа и температуре 20°C занимает объем 10 л. Определить молярные и удельные теплоемкости этого газа при постоянном давлении и постоянном объеме, если масса газа 22,5 г.
3. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме неона и водорода, принимая эти газы за идеальные.
4. Отношение теплоемкостей углекислого газа составляет 1,33. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме этого газа.
5. Вычислить молярные теплоемкости смеси двух газов - одноатомного и двухатомного. Количества вещества одноатомного и двухатомного газов равны соответственно 0,4 и 0,3 моль.

6. Вычислить удельные теплоемкости смеси неона и водорода, если масса неона составляет 80% массы смеси, а масса водорода - 20%. Удельные теплоемкости неона и водорода при постоянном давлении равны  $1,04 \cdot 10^3$  и  $1,46 \cdot 10^4$  Дж/кг·К, а при постоянном объеме -  $6,24 \cdot 10^2$  и  $1,04 \cdot 10^4$  Дж/кг·К соответственно.
7. Каковы удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме смеси газов, содержащей кислород массой 10 г и азот массой 20 г.
8. Найти отношение удельных теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме для смеси газов, содержащей 10 г гелия и 4 г водорода.
9. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях составляет  $1,43$  кг/м<sup>3</sup>. Найти удельные теплоемкости этого газа при постоянном давлении и при постоянном объеме.
10. Молярная масса некоторого газа составляет 30 кг/моль, отношение теплоемкостей 1,4. Найти удельные теплоемкости этого газа при постоянном давлении и при постоянном объеме.
11. Найти удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме для газовой смеси, состоящей из 3 кмоль аргона и 2 кмоль азота.
12. Удельная теплоемкость некоторого газа при постоянном объеме  $649$  Дж/кг·К, а при постоянном давлении -  $912$  Дж/кг·К. Определить молярную массу этого газа и число степеней свободы молекулы.
13. Рассчитать теоретическое значение удельных теплоемкостей газообразного пропана.
14. Найдите удельную теплоемкость водорода гелия и кислорода при постоянном давлении.
15. Найдите удельную теплоемкость серы, железа, меди, ртути и алюминия. Сравните с табличными данными (при температуре от 20 до 100°C).
16. Найти отношение  $C_p/C_v$  для смеси газов, состоящей из  $m_1=20$ г гелия и  $m_2=8$ г водорода.
17. Никелевый брусок массой 740г и длиной 222 мм при температуре 50°C опущен в калориметр теплоемкостью 21 Дж/К, содержащий 145г воды при 0°C. Когда температура установилась, то оказалось, что длина бруска уменьшилась на 0,13мм. Определите по этим данным удельную теплоемкость никеля  $1,8 \cdot 10^5$  К<sup>-1</sup>.
18. В вертикальном цилиндре высотой  $h_1=2$  м с теплоизолированными стенками находится гелий массой  $m_{He}=0.32$ г при температуре  $T_1=27^\circ\text{C}$ . На какой высоте окончательно установится поршень массой  $m=40$  кг, опущенный сверху и движущийся в цилиндре без трения, если над поршнем вакуум?
19. В цилиндре поршень находится некоторая масса гелия. К газу подвели количество теплоты, равное 14кДж. На сколько изменится внутренняя энергия газа? Какова работа расширения? Процесс происходит изобарно.
20. Чему равна молярная теплоемкость идеального газа в процессе, в котором давление пропорционально объему газа:  $p=\alpha V$ , если молярная теплоемкость газа при постоянном объеме равна  $C_1$ ?
21. В цилиндре с поршнем находится неон. При начальном давлении 0,2МПа его объем равен 0,4м<sup>3</sup>. Найдите давление газа, если его объем адиабатно увеличился в три раза.
22. Какова должна быть степень сжатия воздуха, чтобы его температура возросла с 20 до 800°C? Сжатие считать адиабатным. Воздух считать двухатомным газом
23. В цилиндре поршень находится некоторая масса водорода. К газу подвели количество теплоты, равное 14кДж. На сколько изменится внутренняя энергия газа? Какова работа расширения? Процесс происходит изобарно.
24. Возьмем толстостенный цилиндр, закрытый с обеих сторон, с перемещающимся в нем поршнем. По одну сторону от поршня помещается пороховой заряд, а по другую – газ. При

взрыве пороха поршень «выстреливается» и производит адиабатное сжатие газа в цилиндре. Вычислите максимальную температуру сжатого водорода массой 2г, если пороховой заряд сообщает поршню массой 1кг начальную скорость 1 км/с.

25. В сосуд сначала налили 200г воды при температуре 10°C, а затем 100г воды при температуре 50°C. Определить температуру смеси. Нагреванием сосуда пренебречь.

## ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

1. В результате кругового процесса газ совершил работу в 1 Дж и передал охладителю теплоту в количестве 4,2 Дж. Определить термический КПД цикла.
2. Определить работу идеальной тепловой машины за один цикл, если она в течение цикла получает от нагревателя количество теплоты 2095 Дж. Температура нагревателя 500 К, холодильника 300 К.
3. Температура нагревателя идеальной тепловой машины  $T=7^\circ\text{C}$ , а холодильника  $27^\circ\text{C}$ . Количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя за 1 с, равно 60 кДж. Вычислите КПД машины и количество теплоты, отдаваемое холодильнику за 1 с.
4. Температура нагревателя тепловой машины, работающей по циклу Карно, 480 К, температура холодильника 390 К. Какова должна быть температура нагревателя при неизменной температуре холодильника, чтобы к. п. д. машины увеличился в 2 раза?
5. За счет 1 кДж теплоты, получаемой от нагревателя, машина, работающая по циклу Карно, совершает работу 0,5 кДж. Температура нагревателя 500 К. Определить температуру холодильника.
6. При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу 200 Дж. Температура нагревателя 375 К, холодильника 300 К. Определить количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя.
7. Газ, совершающий цикл Карно,  $2/3$  теплоты, полученной от нагревателя, отдает охладителю. Температура охладителя 280 К. Определить температуру нагревателя.
8. Газ совершает цикл Карно. Температура охладителя 290 К. Во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя повысится от 400 до 600 К?
9. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в три раза выше, чем температура охладителя. Нагреватель передал газу теплоту 42 кДж. Какую работу совершил газ?
10. Определить, на сколько процентов изменится к.п.д. прямого цикла Карно, если температура нагревателя 894 К, а температура холодильника уменьшилась от 494 до 394 К.
11. Совершая прямой цикл Карно, газ отдал холодильнику 0,25 теплоты, полученной от нагревателя. Определить температуру холодильника, если температура нагревателя 500 К.
12. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. При этом 80% количества теплоты, получаемого от нагревателя, передается холодильнику. Машина получает от нагревателя количество теплоты  $Q_1 = 6,28$  кДж. Найти к. п. д. цикла и работу, совершаемую за один цикл.
13. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя 470 К, температура охладителя 280 К. При изотермическом расширении газ совершает работу 100 Дж. Определить к. п. д. цикла, а также теплоту, которую газ отдает охладителю при изотермическом сжатии.
14. Газ совершает цикл Карно. Работа изотермического расширения 5 Дж. Определить работу изотермического сжатия, если к. п. д. цикла 0,2.

15. Тепловая машина работает по циклу Карно, к. и. д. которого 0.2. Каков будет к. п. д. этой машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении?
16. Двухатомный газ совершает цикл Карно. Объем газа после изотермического расширения 12 л, а после последующего адиабатического расширения 16 л. Найти к.п.д. цикла.
17. Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, к. п. д. которого 30 %. Каков будет к. п. д. тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно?
18. Идеальная машина, работающая по обратному циклу Карно, забирает тепло от воды, имеющей начальную температуру  $0^{\circ}\text{C}$ , и передает его кипятивнику с водой, имеющему температуру  $100^{\circ}\text{C}$ . Сколько воды превращается в пар при образовании льда массой 1 кг?
19. Идеальная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу  $A = 37$  кДж. При этом она берет тепло от тела с температурой  $t_2 = -10^{\circ}\text{C}$  и передает тепло телу с температурой  $t_1 = 17^{\circ}\text{C}$ . Найти к. п. д. цикла, количество теплоты  $Q_1$ , отнятое у холодного тела за один цикл, и количество теплоты  $Q_1$ , переданное более горячему телу за один цикл.
20. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя 470К, температура холодильника 280К. При изотермическом расширении газ совершает работу 100Дж. Определить КПД цикла и количество теплоты, отданное холодильнику.
21. В результате кругового процесса газ совершил работу 1Дж и передал охладителю теплоту 4,2Дж. Определить термический КПД цикла.
22. Двухатомный газ совершает цикл Карно. Объем в конце изотермического расширения равен 12л, а в конце адиабатного расширения-16л. Найти термический КПД цикла.
23. При работе идеальной холодильной машины по обратному Циклу Карно холодильником служит вода при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , а нагревателем является кипятивник, в котором находится вода при  $100^{\circ}\text{C}$ . Какое количество воды будет заморожено в холодильнике, если в кипятке 1кг воды превратится в пар?
24. Наименьший объем газа, совершающего цикл Карно, равен 153л, объем газа в конце изотермического сжатия 600л. Найти наибольший объем газа и термический КПД цикла. Начертить график цикла.
25. При работе идеальной холодильной машины по обратному циклу Карно теплота отнимается от тела, находящегося при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ , и передается телу, имеющему температуру  $+20^{\circ}\text{C}$ . Найти отношение теплоты, отнимаемой за один цикл от охлаждаемого тела, к энергии, потребляемой машиной за один цикл.

### ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ

1. Найти изменение энтропии 4 кг свинца при охлаждении его от  $327$  до  $0^{\circ}\text{C}$ .
2. Как изменится энтропия при изотермическом расширении 0,1 кг кислорода, если при этом объем его изменится от 2,5 до 10 л?
3. Определить изменение энтропии при изобарическом нагревании 0,1 кг азота от  $17$  до  $100^{\circ}\text{C}$ .
4. В результате изохорического нагревания водорода массой 1кг давление газа увеличилось вдвое. Определить изменение энтропии.
5. Найти изменение энтропии при изобарическом расширении азота массой 4 г от объема 5 л до объема 9 л.
6. Лед массой 100 г, находящийся при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$ , превращается в пар. Определить изменение энтропии при этом.
7. Объем гелия, масса которого 2 кг, увеличился в 5 раз: а) изотермически; б) адиабатически. Каково изменение энтропии в этих случаях?

8. Железо массой 1 кг при температуре 100°C находится в тепловом контакте с таким же куском железа при 0°C. Чему будет равно изменение энтропии при достижении равновесной температуры 50°C? Считать, что молярная теплоемкость железа равна 25,14 Дж/моль·К.

9. Расплавленный свинец массой 640 г при температуре плавления вылили на лед. Найти изменение энтропии при этом процессе.

10. Найти изменение энтропии при нагревании 100 г воды от 0 до 100°C и последующем превращении воды в пар той же температуры.

11. Кислород массой 10 г нагревают от температуры 50°C до температуры 150 °С. Найти изменение энтропии, если нагревание происходит: а) изохорически; б) изобарически.

12. В результате нагревания 22 г азота его термодинамическая температура увеличилась от  $T_1$  до  $T_2 = 1,2 T_1$ , а энтропия увеличилась на 4,19 Дж/К. При каких условиях проводилось нагревание азота (при постоянном объеме или при постоянном давлении)?

13. Воздух объемом 1 м<sup>3</sup>, находящийся при температуре 0°C и давлении 98 кПа, изотермически расширяется от объема  $V$  до объема  $V_2 = 2V$ . Найти изменение энтропии при этом процессе.

14. Один моль идеального газа изобарически нагревается от 20°C до 600°C, при этом газ поглощает  $1,2 \cdot 10^7$  Дж тепла. Найти число степеней свободы молекулы газа, приращение внутренней энергии газа, работу газа, изменение энтропии.

15. Азот массой 200г расширяется изотермически при температуре 280К так, что объем газа увеличился в 2 раза. Определить изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную газом при расширении, количество теплоты, полученное газом, изменение энтропии.

16. Когда 2кг кислорода, занимавшего объем 1м<sup>3</sup> и находившегося при давлении  $0,2 \cdot 10^6$  Па, нагрели при постоянном давлении, его объем увеличился до 3м<sup>3</sup>. Затем этот газ нагревали при постоянном объеме, пока его давление не увеличилось до  $0,5 \cdot 10^6$ Па. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и количество теплоты, переданной газу. Определить изменение энтропии газа.

17. В двух теплоизолированных баллонах, объемы которых  $V_1$  и  $V_2$ , находятся газы, у молекул которых число степеней свободы одинаковое. Давления в баллонах  $p_1$  и  $p_2$  и температуры  $T_1$  и  $T_2$ . Баллоны соединены трубкой, имеющие кран. Когда кран открыли, произошло перемешивание газов и установились общее давление  $p$  и общая температура  $T$ . Найти значение давления  $p$  и температуры  $T$ . Определить изменение энтропии.

18. Определить увеличение внутренней энергии смеси из 8г гелия и 16 г кислорода при её нагревании на 5 К.

19. Воздух массой 1кг 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?

#### **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

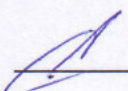
Профиль подготовки: Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

Дисциплина: Б1.В.ДВ.2.2 Физика тепло и массопереноса

Форма обучения: очная, заочная

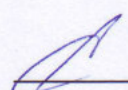
Ответственный исполнитель

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

 Н. В. Моторина 25.11.2017

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

 Н. Ф. Ртищев 25.11.2017

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