


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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
естественнонаучных и
общеобразовательных дисциплин


С.Е. Зюзин
01.09.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.02.02 Физика тепло- и массопереноса

1. Код 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: естественнонаучных и
общеобразовательных дисциплин

6. Составитель программы: Л.И. Матвеева, кандидат технических наук, доцент

7. Рекомендована: Научно-методическим советом Филиала от 22.06.2021, протокол № 8

8. Учебный год: ОФО – 2024-2025 **Семестр:** 8

ЗФО – 2025-2026 **Семестр:** 9

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью учебной дисциплины «Физика тепло- и массопереноса» 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 учебной 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 образовательной программы:

Дисциплина «Физика тепло- и массопереноса» входит в блок Б1 «Дисциплины (модули)» и является дисциплиной по выбору вариативной части образовательной программы. Для изучения дисциплины требуется освоение курсов «Физика», «Математика», «Химия», «Технология машиностроения».

Условия реализации дисциплины для лиц с ОВЗ определяются особенностями восприятия учебной информации и с учетом индивидуальных психофизических особенностей.

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	знает: <ul style="list-style-type: none">– основные законы физики, методы математического анализа и моделирования;– стандартные методы теоретического и экспериментального исследования физических объектов;– основные идеи и методы математики как универсального языка науки и техники, средства моделирования явлений и процессов; умеет: <ul style="list-style-type: none">– использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;– применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;– использовать физические приборы, проводить измерения физических величин, грамотно представлять их результаты; владеет: <ul style="list-style-type: none">– навыками проведения экспериментального исследования физических объектов; профессиональной терминологией, используемой при решении задач.
ПК-18	умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических	знает: <ul style="list-style-type: none">– основные характеристики физико-механических свойств производственных материалов;– технологические показатели;

	показателей используемых материалов и готовых изделий	<p>– методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий;</p> <p>умеет:</p> <p>– использовать знания основных характеристик физико-механических свойств и технологических показателей производственных материалов для проведения стандартных испытаний готовых изделий;</p> <p>владеет:</p> <p>– методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.</p>
--	---	---

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

Форма промежуточной аттестации зачет.

13. Виды учебной работы

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		сем.8
Контактная работа, в том числе:	30	30
лекции	10	10
практические занятия	20	20
лабораторные работы	-	-
Самостоятельная работа	42	42
Форма промежуточной аттестации (зачет -0 час.)	0	0
Итого:	72	72

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		сем.9
Контактная работа, в том числе:	16	16
лекции	8	8
практические занятия	8	8
лабораторные работы	-	-
Самостоятельная работа	52	52
Форма промежуточной аттестации (зачет -4час.)	4	4
Итого:	72	72

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
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</p>

		<p>многослойную. Эквивалентный коэффициент теплопроводности. Теплопроводность при наличии внутренних источников тепла. Нестационарная теплопроводность. Дифференциальное уравнение, краевые условия. Методы решения краевой задачи нестационарной теплопроводности. 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 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.</p> <p>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>
2. Практические занятия		
2.1	Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен.	<p>Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Решение одномерного стационарного уравнения теплопроводности в декартовых и цилиндрических координатах с граничными условиями первого рода.</p> <p>Решение задач на определение плотности теплового потока,</p>

		разности температур, коэффициента теплопроводности, теплового сопротивления, толщины плоской и цилиндрической стенок. Конвективный теплообмен. Приведение системы уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду с использованием критериев подобия. Вычисление критериев подобия. Решение задач на определение коэффициентов теплоотдачи и тепловых потоков. 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.
2.2	Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена.	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 температуропроводности.
2.3	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.
2.4	Теплопередача.	Теплопередача. Решение задач теплопередачи через стенки при граничных условиях третьего рода. Расчет термического сопротивления однородной и многослойной стенок, плоской и цилиндрической. Теплообменные аппараты. Конструкционный и поверочный расчеты рекуперативного теплообменника.
2.5	Массообмен.	Решение задач на расчет параметров влажного воздуха. Расчет плотности диффузионного потока, времени испарения.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
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
	Итого:	10	20	-	42	72

Заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
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
	Контроль (зачет)					4
	Итого:	8	8		52	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приступая к изучению учебной дисциплины, целесообразно ознакомиться с учебной программой дисциплины, электронный вариант которой размещён на сайте БФ ВГУ.

Знание основных положений, отраженных в рабочей программе дисциплины, поможет обучающимся ориентироваться в изучаемом курсе, осознавать место и роль изучаемой дисциплины в подготовке будущего выпускника, строить свою работу в соответствии с требованиями, заложенными в программе.

Основными формами контактной работы по дисциплине являются лекции, практические занятия, посещение которых обязательно для всех студентов (кроме студентов, обучающихся по индивидуальному плану).

Подготовка к практическим занятиям ведется на основе планов практических занятий, которые размещены на сайте филиала. В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить в соответствии с вопросами для повторения конспекты лекций, основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой. Кроме того, следует повторить материал лекций, ответить на контрольные вопросы, изучить образцы решения задач, выполнить упражнения (если такие предусмотрены).

При подготовке к промежуточной аттестации необходимо повторить пройденный материал в соответствии с учебной программой. Рекомендуется использовать конспекты лекций и источники, перечисленные в списке литературы в рабочей программе дисциплины, а также ресурсы электронно-библиотечных систем.

Для достижения планируемых результатов обучения используются интерактивные лекции, групповые дискуссии.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	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 (11.06.2021).

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	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: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466 (11.06.2021)

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
3	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: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-205.pdf >. (11.06.2021)
4	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: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-114.pdf >. (11.06.2021)

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Методические материалы по дисциплине

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение, информационно-справочные системы и профессиональные базы данных**Программное обеспечение:**

Win10, OfficeProPlus 2010;

–STDU Viewer version 1.6.2.0;

–7-Zip;

–GIMP GNU Image Manipulation Program;

–Paint.NET;

–браузеры: Yandex, Google, Opera, Mozilla Firefox, Explorer.

Информационно-справочные системы и профессиональные базы данных:–Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – <http://elibrary.ru/>–Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>–Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru>–Портал машиностроения – <http://www.mashportal.ru/>–Информационно-тематический портал «Машиностроение, механика, металлургия» <http://mashmex.ru/mehanika-mashinostroenie.html>–База данных «Стандарты и регламенты» Росстандарта – <https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts>–Библиотека технической литературы ТехЛит.ру – <http://www.tehlit.ru/list.htm>–Библиотека машиностроителя – <https://lib-bkm.ru/index/0-9>–Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» – <http://biblioclub.ru/>–ООО Политехресурс ЭБС «Электронная библиотека технического вуза» (ЭБС «Консультант студента») – <https://www.studentlibrary.ru/>**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Мультимедийное оборудование (проектор, ноутбук или стационарный компьютер, экран).

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)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-1 умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать: – основные законы физики, методы математического анализа и моделирования; – стандартные методы теоретического и экспериментального исследования физических объектов; – основные идеи и методы математики как универсального языка науки и техники, средства моделирования явлений и процессов;	1 Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. 2 Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена. 3 Теплообмен излучением. 4 Теплопередача. Теплообменные аппараты. 5 Массообмен.	Практическое задание (индивидуальные задания)
	Уметь: – использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; – применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности; – использовать физические приборы, проводить измерения физических величин, грамотно представлять их результаты;	1 Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. 2 Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена. 3 Теплообмен излучением. 4 Теплопередача. Теплообменные аппараты. 5 Массообмен.	Практическое задание (индивидуальные задания)
	Владеть: – навыками проведения экспериментального исследования физических объектов; – профессиональной терминологией, используемой при решении задач.	1 Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. 2 Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена. 3 Теплообмен излучением. 4 Теплопередача. Теплообменные аппараты. 5 Массообмен.	Практическое задание (индивидуальные задания)
ПК-18 умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Знать: – основные характеристики физико-механических свойств производственных материалов; – технологические показатели; – методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий;	1 Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. 2 Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена. 3 Теплообмен излучением. 4 Теплопередача. Теплообменные аппараты. 5 Массообмен.	Практическое задание (индивидуальные задания)
	Уметь:	1 Введение. Способы	Практическое

	– использовать знания основных характеристик физико-механических свойств и технологических показателей производственных материалов для проведения стандартных испытаний готовых изделий;	переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. 2 Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена. 3 Теплообмен излучением. 4 Теплопередача. Теплообменные аппараты. 5 Массообмен.	задание (индивидуальные задания)
	Владеть: – методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.	1 Введение. Способы переноса теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. 2 Теория подобия и ее использование для решения задач теплообмена. 3 Теплообмен излучением. 4 Теплопередача. Теплообменные аппараты. 5 Массообмен.	Практическое задание (индивидуальные задания)
Промежуточная аттестация – зачет			Вопросы к зачету

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

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом дисциплины;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять теоретические знания для решения практических задач в области дисциплины, решать типовые расчётные задачи.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом физики тепло- и массопереноса, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения типовых расчётных задач и практических заданий более высокого уровня сложности в области физики тепло- и массопереноса</i>	<i>Повышенный уровень</i>	зачтено
<i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом физики тепло- и массопереноса, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, применять теоретические знания при решении типовых расчётных задач, допускает незначительные ошибки при решении практических заданий более высокого уровня сложности в области физики тепло- и массопереноса</i>	<i>Базовый уровень</i>	
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами физики тепло- и массопереноса, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, в ряде случаев затрудняется применять теоретические знания при решении</i>	<i>Пороговый уровень</i>	

<i>типовых расчётных задач, не всегда способен решить практические задания более высокого уровня сложности в области физики тепло- и массопереноса</i>		
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при решении типовых расчётных задач либо не имеет представления о способе их решения.</i>	–	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 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 оребренную 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)

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 $\alpha=30^\circ$. 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 кмолья азота было передано 10^3 Дж теплоты. Определить работу расширения при постоянном давлении.

20. Температура воздуха в комнате объемом 70 м^3 была 280 К . После того как протопили печь, температура поднялась до 296 К . Найдите работу воздуха при расширении, если давление постоянной равно 100 кПа .
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 $0,1 \text{ МПа}$, изотермически сжат до давления 1 МПа ?
24. Кислород, занимающий объем 1 л при давлении $1,2 \text{ МПа}$, адиабатически расширился до объема 10 л . Определить работу расширения газа.
25. Водород при нормальных условиях имел объем 100 м^3 . На сколько изменилась внутренняя энергия газа при адиабатическом изменении его объема до 150 м^3 ?

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ.

1. В сосуде объемом 6 л находится при нормальных условиях некоторый двухатомный газ массой $8,3 \text{ г}$. 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 $22,5 \text{ г}$.
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. Количество 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 $1,46 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, а при постоянном объеме - $6,24 \cdot 10^2$ и $1,04 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ 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 $1,43 \text{ кг/м}^3$. 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 $649 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, а при постоянном давлении - $912 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$. 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 $m_1=20 \text{ г}$ гелия и $m_2=8 \text{ г}$ водорода.
17. Никелевый брусок массой 740 г и длиной 222 мм при температуре 50°C опущен в калориметр теплоемкостью 21 Дж/К , содержащий 145 г воды при 0°C . Когда температура установилась, то оказалось, что длина бруска уменьшилась на $0,13 \text{ мм}$. Определите по этим данным удельную теплоемкость никеля $1,8 \cdot 10^5 \text{ К}^{-1}$.

18. В вертикальном цилиндре высотой $h_1=2$ м с теплоизолированными стенками находится гелий массой $m_{\text{He}}=0.32$ 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 $0,2\text{МПа}$ его объем равен $0,4\text{м}^3$. 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 2 г, если пороховой заряд сообщает поршню массой 1 кг начальную скорость 1 км/с.
25. В сосуд сначала налили 200 г воды при температуре 10°C , а затем 100 г 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°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°C , и передает его кипятильнику с водой, имеющему температуру 100°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_2 , 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°C , а нагревателем является кипятильник, в котором находится вода при 100°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°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°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°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°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^3 , 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 1 м^3 и находившегося при давлении $0,2 \cdot 10^6$ Па, нагрели при постоянном давлении, его объем увеличился до 3 м^3 . 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. Определит 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 . Наитии 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 текущей 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: *фронтальных опросов, индивидуальных заданий*. 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 практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

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