

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Направление подготовки 13.16.01 Электро- и теплотехника

Направленность 01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2021 г.

Автор программы



/А.А. Хвостов /

Заведующий кафедрой
прикладной математики и
механики



/ В.И. Ряжских /

Руководитель ОПОП



/ В.И. Ряжских /

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» являются формирование теоретических знаний и практических навыков по использованию законов теплофизики для решения широкого спектра задач в различных областях науки и техники, а также представления о физике тепловых явлений как обобщении наблюдений, практического опыта и эксперимента.

1.2 Задачи освоения дисциплины

- изучение основных понятий и определений технической термодинамики; первый и второй законы термодинамики; термодинамические процессы; термодинамику потока; фазовые переходы, теорию теплообмена; основы расчета теплообменных аппаратов в промышленной теплотехнике; теплопередачу: теплопроводность, конвекционный теплообмен, теплообмен излучением, основы массообмена;

- овладение основами термодинамических расчетов в определении возможности и направленности природных процессов и явлений, навыками работы с литературой по теплофизике, использования ее законов в профессиональной деятельности;

- освоение теории тепло- и массообмена для изучения и регулирования теплового режима производственного оборудования, планирование и интерпретация результатов производственных термометрических работ

- формирования системных и профессиональных компетенций по подготовке будущих специалистов к обеспечению правильной эксплуатации и ремонту энергетического и технологического оборудования, использующего в качестве рабочего тела, теплоносителя или энергоносителя жидкости и газы, к планированию и участию в проведении испытаний технологического оборудования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» относится к дисциплинам вариативной части блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 – владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теплотехники;

ОПК-2 – владением культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий;

ОПК-4 – готовностью организовать работу исследовательского коллектива в области теплофизики и теплотехники;

ПК-4 – Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов и систем электро- и теплоэнергетики с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы и современных технологий по утилизации отходов в энергетике и научно-техническую политику в этой области;

ПК-5 – Углубленное изучение теоретических и методологических основ проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать основы методологии теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теплотехники
	уметь планировать теоретические и экспериментальные исследования в области теплофизики и теплотехники
	владеть методами теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теплотехники
ОПК-2	знать основные возможности информационно-коммуникационных технологий при проведении научных исследований
	уметь применять информационно-коммуникационные технологии при проведении научных исследований
	владеть современными средствами информационно-коммуникационных технологий для проведения научных исследований
ОПК-4	знать принципы организации работы исследовательского коллектива
	уметь оценивать квалификационные характеристики исследовательского коллектива в области теплофизики и теплотехники
	владеть навыками организации работу исследовательского коллектива в области теплофизики и теплотехники
ПК-4	знать научно-техническую политику в области оценки технического состояния объектов и систем электро- и теплоэнергетики
	уметь анализировать и разрабатывать рекомендации по надежной и безопасной эксплуатации теплоэнергетических объектов
	владеть методами оценки технического состояния объектов и систем электро- и теплоэнергетики с применением современного оборудования и приборов

ПК-5	знать теорию и методологические основы проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики
	уметь применять теоретические и методологические методы проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики
	владеть средствами проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» составляет 6 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
Аудиторные занятия (всего)	32	14	18
В том числе:			
Лекции	32	14	18
Практические занятия (ПЗ)	-	-	
Самостоятельная работа	157	58	99
Реферат	-	-	-
Вид промежуточной аттестации		зачет	экзамен 27
Общая трудоемкость	час	216	72
	зач. ед.	6	2
		144	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лек ц	Пра к зан.	Ла б. зан .	СРС	Всего, час
1	Предмет теплофизики. Общие положения теории тепло-	Температурное поле. Тепловой поток. Механизмы переноса теплоты. Закон Фурье. Перенос теплоты в сплошной и дисперсной средах. Дифференциаль-	7			29	36

	обмена	ные уравнения энергии. Постановка задачи расчета поля температур.					
2	Кондуктивный теплообмен	Постановка задачи кондуктивного теплообмена. Уравнение теплопроводности и краевые условия. Стационарная теплопроводность в плоской, цилиндрической и сферической стенке. Неоднородные стационарные задачи теплопроводности, численные методы. Одномерная нестационарная задача теплопроводности, численные методы	7			29	36
3	Конвективный теплообмен	Вынужденная и свободная конвекция. Дифференциальные уравнения теплоотдачи. Постановка задачи конвективного теплообмена. Основы теории подобия. Теоремы подобия. Критерии и числа подобия. Критериальная форма решения задачи конвективного переноса при естественном и вынужденном движении среды. Теплообмен поверхности с внешним ламинарным и турбулентным потоком	9			50	59
4	Радиационный теплообмен	Основные понятия и определения теории радиационного теплообмена. Основные законы излучения АЧТ. Излучение серых и реальных тел. Классификация видов излучения. Угловые коэффициенты излучения и их свойства. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел с диатермической средой. Метод расчета радиационного теплообмена. Потери теплоты излучением через окна. Радиационный теплообмен при наличии экранов. Радиационный теплообмен в мутной среде. Закон Бугера-Бэра. Радиационные характеристики газовых и твердых частиц. Парниковый эффект	9			51	59
Итого			32	-	-	157	216

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать основы методологии теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теплотехники	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь планировать теоретические и экспериментальные исследования в области теплофизики и теплотехники	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теплотехники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать основные возможности информационно-коммуникационных технологий при проведении научных исследований	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять информационно-коммуникационные технологии при проведении научных исследований	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть современными средствами информационно-коммуникационных технологий для прове-	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	дения научных исследований			граммах
ОПК-4	знать принципы организации работы исследовательского коллектива	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь оценивать квалификационные характеристики исследовательского коллектива в области теплофизики и теплотехники	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками организации работы исследовательского коллектива в области теплофизики и теплотехники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-4	знать научно-техническую политику в области оценки технического состояния объектов и систем электро- и теплоэнергетики	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь анализировать и разрабатывать рекомендации по надежной и безопасной эксплуатации теплоэнергетических объектов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами оценки технического состояния объектов и систем электро- и теплоэнергетики с применением современного оборудования и приборов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	знать теорию и методологические основы проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять теоретические и методологические	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотрен-	Невыполнение работ в срок, преду-

	ские методы проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики		ный в рабочих программах	смотренный в рабочих программах
	владеть средствами проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-1	знать основы методологии теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теплотехники	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь планировать теоретические и экспериментальные исследования в области теплофизики и теплотехники	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные	Продемонстрирован верный ход решения	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	ки и теплотехники	ной обла- сти	ответы	всех, но не полу- чен вер- ный ответ во всех задачах	большин- стве задач	
ОПК-2	знать основные воз- можности инфор- мационно- коммуникацион- ных технологий при проведении научных исследо- ваний	Тест	Выполне- ние теста на 90-100%	Выполне- ние теста на 80-90%	Выполне- ние теста на 70-80%	В тесте менее 70% пра- вильных ответов
	уметь применять ин- формационно- коммуникацион- ные технологии при проведении научных исследо- ваний	Решение стандарт- ных прак- тических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения всех, но не полу- чен вер- ный ответ во всех задачах	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения в большин- стве задач	Задачи не решены
	владеть современными средствами ин- формационно- коммуникацион- ных технологий для проведения научных исследо- ваний	Решение приклад- ных задач в кон- кретной предмет- ной обла- сти	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения всех, но не полу- чен вер- ный ответ во всех задачах	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения в большин- стве задач	Задачи не решены
ОПК-4	знать принципы органи- зации работы ис- следовательского коллектива	Тест	Выполне- ние теста на 90-100%	Выполне- ние теста на 80-90%	Выполне- ние теста на 70-80%	В тесте менее 70% пра- вильных ответов
	уметь оценивать квали- фикационные ха- рактеристики ис- следовательского коллектива в об- ласти теплофизи- ки и теплотехники	Решение стандарт- ных прак- тических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения всех, но не полу-	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения в большин- стве задач	Задачи не решены

				чен вер- ный ответ во всех задачах		
	владеть навыками органи- зации работу ис- следовательского коллектива в об- ласти теплофизи- ки и теплотехники	Решение приклад- ных задач в кон- кретной предмет- ной обла- сти	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения всех, но не полу- чен вер- ный ответ во всех задачах	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения в большин- стве задач	Задачи не решены
ПК-4	знать научно- техническую по- литику в области оценки техниче- ского состояния объектов и систем электро- и тепло- энергетики	Тест	Выполне- ние теста на 90-100%	Выполне- ние теста на 80-90%	Выполне- ние теста на 70-80%	В тесте менее 70% пра- вильных ответов
	уметь анализировать и разрабатывать ре- комендации по надежной и без- опасной эксплуа- тации теплоэнер- гетических объек- тов	Решение стандарт- ных прак- тических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения всех, но не полу- чен вер- ный ответ во всех задачах	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения в большин- стве задач	Задачи не решены
	владеть методами оценки технического со- стояния объектов и систем электро- и теплоэнергетики с применением современного оборудования и приборов	Решение приклад- ных задач в кон- кретной предмет- ной обла- сти	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения всех, но не полу- чен вер- ный ответ во всех задачах	Проде- монстри- рован верный ход ре- шения в большин- стве задач	Задачи не решены
ПК-5	знать теорию и методо- логические осно-	Тест	Выполне- ние теста на 90-100%	Выполне- ние теста на 80-90%	Выполне- ние теста на 70-80%	В тесте менее 70% пра-

	вы проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики					ВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ
	уметь применять теоретические и методологические методы проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть средствами проектирования, эксплуатации и развития электро- и теплоэнергетики	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Назовите термические параметры состояния.

1. масса, плотность, удельный вес
2. давление, удельный объем, температура
3. работа, теплоемкость, теплота
4. молекулярная масса, объем, газовая постоянная

Правильный ответ: 2

2. Уравнение состояния идеального газа

$$1. P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

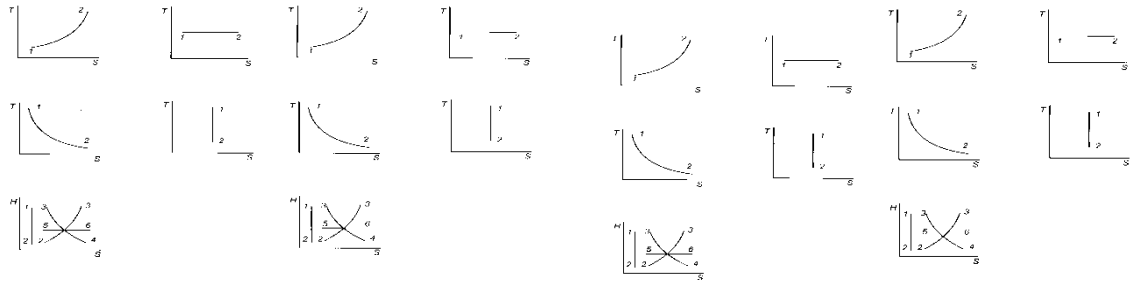
$$2. \frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$3. PV = mRT$$

$$4. L = R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Правильный ответ: 3

3. Где изображен изотермический процесс?



1.

2.

3.

4.

Правильный ответ: 2

4. Чему равна работа в изохорном процессе?

$$L = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

1.

2. $L = 0$

$$3. L = m \cdot P \cdot (V_2 - V_1) \quad 4. L = \frac{m}{\kappa - 1} \cdot (P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2)$$

Правильный ответ: 2

5. Для какого процесса справедливо соотношение $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

1. изобарный

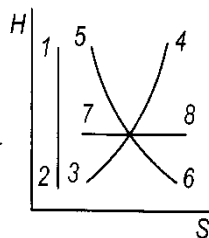
2. изохорный

3. изотермический

4. адиабатный.

Правильный ответ: 2

6. Где изображен адиабатный процесс?



1. 1-2

2. 3-4

3. 5-6

4. 7-8

Правильный ответ: 1

7. В изобарном процессе температура газа при расширении:

1. уменьшается

2. остается постоянной

3. увеличивается

4. равна 0

Правильный ответ: 3

8. Чему равно изменение внутренней энергии в изотермическом процессе?

$$1. \Delta U = c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$$2. \Delta U = 0$$

$$3. \Delta U = c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

4. $\Delta U = c_v \cdot (T_1 - T_2)$

Правильный ответ: 2

9. Чему равно количество теплоты в адиабатном процессе?

1. $q = c_v \cdot (T_2 - T_1)$

2. $q = 0$

3. $q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$

4. $q = R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$

Правильный ответ: 2

10. Какое соотношение верно?

1. $\frac{c_p}{c_v} > 1$ 2. $\frac{c_p}{c_v} < 1$ 3. $\frac{c_p}{c_v} = 1$ 4. $\frac{c_p}{c_v} = 0$

Правильный ответ: 1

11. Чем отличаются массовая c , объемная c' и мольная c_μ теплоемкости?

1. температурой рабочего тела
2. количеством тепла, подводимого к рабочему телу
3. единицей измерения количества рабочего тела
4. параметрами, при которых происходит процесс

Правильный ответ: 3

12. Способы задания состава газовой смеси:

1. массовыми, объемными, мольными долями
2. по химическому составу компонентов
3. по количеству атомов, входящих в состав смеси компонентов
4. по химической активности компонентов

Правильный ответ: 1

13. Аналитическое выражение первого закона термодинамики:

1. $PV = m \cdot R \cdot T$

2. $P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k$

3. $q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$

4. $q = \Delta U + l$

Правильный ответ: 4

14. Назовите калорические параметры состояния

1. теплота, работа, теплоёмкость
2. внутренняя энергия, энтальпия, энтропия
3. молекулярная масса, парциальное давление, температура
4. коэффициент Пуассона, показатель политропы, газовая постоянная

Правильный ответ: 2

15. Какая величина остается постоянной в политропном процессе в идеальном газе?

1. давление
2. температура
3. теплоёмкость
4. объём

Правильный ответ: 3

16. Чему равен показатель политропы в изобарном процессе?

1. $n = \pm \infty$

2. $n = 0$

3. $n = 1$

4. $P = K$

Правильный ответ: 2

17. Площадь под кривой процесса в PV-координатах численно равна

1. теплоте
2. энтальпии
3. работе
4. объёму

Правильный ответ: 3

18. Площадь под кривой процесса в TS-координатах численно равна

1. работе
2. теплоёмкости
3. теплоте
4. температуре

Правильный ответ: 3

19. Если тепло к газу подводится, то энтропия

1. уменьшается
2. увеличивается
3. остается постоянной
4. зависит от изменения температуры

Правильный ответ: 2

20. При увеличении объёма газа работа

1. совершается
2. затрачивается
3. остается постоянной
4. зависит от давления

Правильный ответ: 1

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1) Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно, что парциальное давление углекислого газа бар, а давление смеси бар.

2) Воздух в количестве 5 м³ при давлении $P=3$ бар и температуре $t_1=250$ С нагревается при постоянном давлении до $t_2=1400$ С. Определить количество подведенного к воздуху тепла, считая $C_P = \text{const}$.

3) В помещении объёмом $V = 28$ м³ находится воздух при давлении $P_1 = 740$ мм.рт.ст. и температуре $t_1 = 10$ °С. При подводе тепла давление возросло до $P_2 = 1,35$ бар. Определить количество подведенного тепла.

4) Определить потерю теплоты Q , Вт, через стенку из красного кирпича длиной $l = 5$ м, высотой $h = 4$ м и толщиной $\delta = 0,250$ м, если температуры на поверхностях стенки поддерживаются $t_{c1}=1100$ С и $t_{c2}=400$ С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича $\lambda=0,70$ Вт/(м 0С).

5) Паропровод диаметром 170/160 мм покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя $d_2=30$ мм и второго $d_3=50$ мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны: $\lambda_1=50$, $\lambda_2=0,15$ и $\lambda_3=0,08$ Вт/(м·0С). Температура внутренней поверхности паропровода $t_1=3000$ С и внешней поверхности изоляции $t_4=500$ С. Определить тепловые потери метра длины трубопровода.

6) Смесь метана и азота, находящаяся в баллоне автогазозаправщика, имеет массовый состав $w = 0,9$ и $w = 0,1$. Объем баллона 400 литров. При температуре газовой смеси $t = 10$ °С давление в баллоне равно 200 бар. Вычислить давление в баллоне, если смесь газов нагрелась до $t_2 = 24$ °С. Определить количество подведенной теплоты при нагреве.

7) Покрышка автомобиля закачивается из ресивера компрессора воздухом до абсолютного давления 3,8 бара. Объем покрышки 22 литра, внутренний диаметр штуцера для подачи воздуха 3 мм. Давление воздуха в ресивере 1,6 МПа, температура 18 °С. Определить время заправки покрышки, приняв среднюю температуру воздуха в ней 290 °С.

8) Топка парового котла выполнена из стали и внутри футерована кремнеземным кирпичем. Какова температура наружной стенки топki, если плотность теплового потока через стенку $\dot{q} = 1,38$ кВт/м², а кирпич со стороны пламени нагрелся до $t_{ст1} = 950$ °С? Принять для стенки из кирпича $\delta_1 = 100$ мм и $\lambda = 0,15$ Вт/(м·К), для стенки из стали $\delta_2 = 10$ мм и $\lambda = 18$ Вт/(м·К).

9) По трубе внутренним диаметром 14 мм движется вода со скоростью 0,6 м/с. Вычислить коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы, если средняя по длине трубы температура воды 72 °С, а температура стенки трубы со стороны воды 620 °С.

10) Вычислить лучистый тепловой поток к камере ДВС от продуктов сгорания, если температура смеси газов 2200 К; $p_{CO_2} = 5$ МПа; $p_{H_2O} = 1,2$ МПа; температура стенки камеры 920 К. Диаметр цилиндра 110 мм, высота камеры – 100 мм, материал стенки – чугун.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача № 1. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки толщиной 40 мм, если при разности температур на ее поверхностях в 32 градуса плотность теплового потока равна 14,4 кВт/м². Ответ: $\lambda = 18$ Вт/(м·К).

Задача № 2. Какое количество теплоты в час теряет человек на улице в морозную погоду, если его поверхность теплоотдачи принять равной 1,5 м², а одежду рассматривать как сплошную оболочку с $\delta = 30$ мм; $\lambda = 0,04$ Вт/(м·К) и температурами $t_1 = 30$ °С; $t_2 = -26$ °С. Ответ: $\dot{Q} = 400$ кДж/ч.

Задача № 3. Стены жилого помещения выполнены из красного кирпича, пенобетона и сосновой доски. Толщины слоев соответственно равны: $\delta_1 = 250$ мм, $\delta_2 = 150$ мм и $\delta_3 = 25$ мм. Длина помещения 5 м, ширина 4 м, высота 3,5 м, а общая площадь окон и двери составляет 6,5 м². Каковы потери тепла только через стены в зимнее время года, если температура стен изнутри равна 18 °С и – 30 °С снаружи? Ответ: $\dot{Q} = 950$ Вт.

Задача № 4. Через фургон автомастерской проходит выхлопная труба двигателя из нержавеющей стали толщиной 1,5 мм, длиной 3,5 м и наружным диаметром 50 мм. Труба изолирована прошивным матом из шлаковаты толщиной 15 мм. Какова величина теплового потока подводится в фургон от продуктов сгорания, если температура трубы со стороны выхлопных газов равна 325 °С, а наружная температура изоляции 35 °С? Ответ: $\dot{Q} = 963$ Вт.

Задача № 5. В погребе длиной 4 м и шириной 2,5 м температура потолка равна 4 °С. Каковы потери теплоты в морозную погоду с температурой – 35 °С через перекрытие погреба, если оно состоит из железобетонной плиты толщиной 0,2 м, слоя земли в 1,2 м и снега толщиной 0,45 м? Ответ: $\dot{Q}$

Задача № 6. Потолок жилого помещения длиной 4,5 м и шириной 3,6 м выполнен трехслойным: железобетонная плита толщиной 200 мм, пенопласт ПХВ и сосновая доска толщиной 40 мм. Какова должна быть толщина пенопласта, чтобы потери тепла через потолок были не более 230 Вт при температурах плиты: со стороны помещения 18 0С и – 30 0С наружной стороны доски? Ответ: $\delta_2 = 0,172$ м.

Задача № 7. Перекрытие погреба размерами 4 × 3 м состоит из бетонной плиты $\delta = 250$ мм, шлака котельного $\delta = 800$ мм и снега толщиной 350 мм. Потери тепла через перекрытие составляют 130 Вт. При какой наружной температуре воздуха потолок внутри погреба будет иметь $t = 2$ 0С? Ответ: $t_{нар} = -42$ 0С. 37

Задача № 8. Через бытовое помещение проходит выхлопная труба дизельгенератора длиной 4 м и наружным диаметром 60 мм. Какую толщину изоляции необходимо наложить на трубу, чтобы тепловой поток в помещение не превышал 1,3 кВт? Допустимые температуры под изоляцией и на ее внешней поверхности принять соответственно 470 0С и 44 0С. Для изоляции использовать теплозвукоизоляционные маты из базальтового волокна с оболочкой из кремнеземной ткани $\alpha = 0,037$ Вт/(м·К). Ответ: $\delta = 10,5$ мм.

Задача № 9. В трубках бойлера с внутренним диаметром 25 мм нагревающая вода с температурой 130 0С движется со скоростью 0,4 м/с. Каков коэффициент теплоотдачи, если трубка изнутри нагревается до 95 0С? Ответ: $\alpha = 3140$ Вт/(м² · К)

Задача № 10. По трубе наружным диаметром 30 мм движется горячий воздух со скоростью 13 м/с. Труба выполнена из стали 1Х18Н9Т толщиной стенки 2 мм. Определить температуру на наружной поверхности трубы, если плотность теплового потока $q = 5,2$ кВт/м². Коэффициент кинематической вязкости и коэффициент теплопроводности принять при средней температуре воздуха по длине трубы равной 190 0С. Ответ: $t_{ст} = 66$ 0С

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Взаимодействие молекул. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Упругие и неупругие столкновения.
2. Вывод гидродинамических уравнений из уравнений Больцмана. Вычисление кинетических коэффициентов.
3. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз. Закон Клапейрона—Клаузиуса. Критическая точка и физические свойства системы в окрестности критической точки. Соотношения между критическими показателями.
4. Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства.
5. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации
6. Истечение газа через простое сопло и сопло Лаваля.
7. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе. Бозе-конденсация. Распределение Ферми. Теплоемкость вырожденного ферми-газа.
8. Колебание решетки, спектральная плотность колебаний решетки. Теплоемкость кристаллов.
9. Модели Эйнштейна и Дебая.
10. Конвективный теплообмен: уравнения, граничные условия.
11. Кризис кипения. Методы расчета. Критические плотности теплового потока при кипении. Кризис сопротивления при обтекании тел.

12. Метастабильные состояния. Перегрев, переохлаждение. Давление насыщенных паров над раствором.
13. Модели турбулентности. Методы расчета турбулентных явлений в газе, жидкости и плазме.
14. Н – теорема. Вывод кинетического уравнения Больцмана на основе баланса числа частиц. Идеи метода Чепмена—Энског и Грэда.
15. Неидеальные газы. Разложения по степеням плотности. Вириальные коэффициенты.
16. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус. Явление переноса в плазме.
17. Основные законы радиационного теплообмена.
18. Плёночная и капельная конденсация. Теплообмен при плёночной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Качественное влияние неконденсирующихся газов.
19. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение, смачивание. Осмотическое давление.
20. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии.
21. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц. 22. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука. Вторая вязкость.
23. Сопротивление и теплопередача при ламинарном течении в трубах и каналах. 24. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Термодинамические свойства двухатомного газа с молекулами одинаковых и разных атомов. Закон равнораспределения.
25. Теория флуктуаций. Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона.
26. Теплообмен при кипении. Теплоотдача при пузырьковом кипении в условиях свободной конвекции и при вынужденном течении.
27. Теплопроводность твердых тел. Механизмы теплопроводности в диэлектриках и металлах.
28. Термодинамика поверхности. Поверхностное натяжение и поверхностное давление. Равновесие между поверхностной фазой и газом. Теория образования зародышей при фазовых переходах первого рода.
29. Ударные волны. Законы сохранения на фронте ударной волны. Ударная адиабата.
30. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Эффект Джоуля—Томпсона.
31. Уравнения ламинарного пограничного слоя. Трение и теплообмен при обтекании пластины несжимаемой жидкостью
32. Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Соотношение симметрии кинетических коэффициентов Онсагера.
33. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.
34. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Термическая диссоциация, ионизация, возбуждение.
35. Фазовые переходы первого и второго рода. Термодинамическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.
36. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия.
37. Явление переноса в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и самодиффузия.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Рабочее тело. Основные параметры состояния рабочего тела, их единицы измерения.
2. Уравнение состояния идеального газа.
3. Основные законы идеальных газов
4. Теплоемкость (удельная, массовая, объемная, молярная).
5. Истинная и средняя теплоемкости.
6. Изобарная и изохорная теплоемкости, уравнение Майера.
7. Теплоемкость смеси газов.
8. Работа расширения рабочего тела в координатах $p-v$.
9. Сущность I-го закона термодинамики.
10. Энтальпия газа.
11. Энтропия.
12. Тепловая TS-диаграмма.
13. Процессы изменения состояния идеальных газов в $p-v$ координатах.
14. Процессы изменения состояния идеальных газов в $T-s$ координатах.
15. Сущность и формулировки II-го закона термодинамики. Аналитическая запись II-го закона термодинамики.
16. Понятие реального газа, особенности внутренней энергии реальных газов.
17. Понятие реального газа, сжимаемость реальных газов.
18. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
19. Способы теплопереноса (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).
20. Понятие температурного поля (одномерное, двумерное, трехмерное).
21. Понятие изотермических поверхностей и температурного градиента.
22. Закон Фурье.
23. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, твердых тел.
24. Коэффициент температуропроводности.
25. Условия однозначности для процессов теплопроводности.
26. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го рода.
27. Закон Ньютона-Рихмана.
28. Коэффициент теплоотдачи
29. Теплопроводность однослойной плоской стенки при стационарном режиме.
30. Теплопроводность многослойной плоской стенки при стационарном режиме.
31. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
32. Теплопередача через однослойную плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи.
33. Теплопередача через многослойную плоскую стенку. Понятие термического сопротивления для многослойной плоской стенки.
34. Теплопроводность цилиндрической однослойной стенки.
35. Теплопроводность цилиндрической многослойной стенки.
36. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
37. Критический диаметр тепловой изоляции.
38. Теплообмен излучением, основные понятия.
39. Закон Стефана-Больцмана.
40. Закон Ламберта.
41. Закон Кирхгофа.
42. Закон Планка.
43. Закон Вина.
44. Различные случаи теплообмена излучением (между двумя параллельными стенками; между двумя телами, из которых одно находится внутри другого).

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если аспирант набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если аспирант набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если аспирант набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если аспирант набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Предмет теплофизики. Общие положения теории теплообмена	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ПК-4, ПК-5	Тест, зачет, экзамен
2	Кондуктивный теплообмен	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ПК-4, ПК-5	Тест, зачет, экзамен
3	Конвективный тепломассообмен	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ПК-4, ПК-5	Тест, зачет, экзамен
4	Радиационный теплообмен	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ПК-4, ПК-5	Тест, зачет, экзамен

7.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.**

8. УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Рудобашта, С. П. Теплотехника: учебник / С.П. Рудобашта. – Москва : "Перо", 2015. – 672 с.
2. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник / В. В. Нащокин. – Москва : Книга по требованию, 2013. – 496 с.
3. Кошман, В.С. Словарь терминов и определений по гидравлике, теплотехнике и газовой динамике [Электронный ресурс] : учебное пособие/ В. С. Кошман, А.Т. Манташов. – Пермь : Пермская ГСХА, 2011. – Режим доступа: <http://pgsha.ru/web/generalinfo/library/elib/>. – Загл. с экрана.
4. Панкратов, Г.П. Сборник задач по теплотехнике: учебное пособие / Г.П. Панкратов. – Москва : ИнФолио, 2016. – 252 с.
5. Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>. – Загл. с экрана.
6. Манташов, А.Т. Теплотехника: учебное пособие в 2 ч. Ч. 1: Термодинамика и теплопередача / А.Т. Манташов. – Пермь: Пермская ГСХА, 2009. – 184 с. – Режим доступа: <http://pgsha.ru/web/generalinfo/library/librar/>. – Загл. с экрана.
7. Манташов А. Т. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие: в 2 ч. Ч 2: Теплотехническое обеспечение обитаемости объектов сельскохозяйственного назначения / А. Т. Манташов . – Пермь : Пермская ГСХА, 2011. – Режим доступа: <http://pgsha.ru/web/generalinfo/library/elib/>. – Загл. с экрана.
8. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник / ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – Москва: Книга по требованию. 2012. – 460 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. Microsoft Win Pro 10
2. Acrobat Pro 2017
8. Google Chrome
9. LibreOffice
10. Mozilla Firefox
11. Media Player Classic Black Edition
12. Notepad++
13. Paint.NET
14. PDF24 Creator
15. WinDjView
16. OpenOffice
17. MathCad Express
18. <http://www.edu.ru/> - образовательный портал
19. <http://window.edu.ru>, <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
20. elibrary.ru
21. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
22. www.iprbookshop.ru – электронная библиотека
23. <http://encycl.yandex.ru>, <http://dic.academic.ru> - энциклопедии и словари

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий используется аудитория № 104 учебного корпуса №2, оснащенная плакатами, учебно-методическими материалами, необходимыми для проведения лабораторных работ:

- 8 персональных компьютеров типа mATX 350W/Cel E3400 с монитором, клавиатурой и мышью;
- сервер;
- коммутатор TP Link;
- проектор Epson;
- программное обеспечение Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Теплофизика и теоретическая теплотехника» читаются лекции.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем проведения зачета с оценкой.

Вид учебных занятий	Деятельность аспиранта
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата вне- сения из- менений	Подпись заведующе- го кафедрой, ответ- ственной за реализа- цию ОПОП