

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 03 » апреля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Техническая термодинамика и тепломассообмен
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: бакалавриат
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 08.03.01 Строительство
(код и наименование направления)

Направленность: Строительство (общий профиль, СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Приобретение студентом комплекса знаний о теоретических основах преобразования энергии, законах технической термодинамики и тепломассообмена, формирование умений и навыков термодинамического исследования рабочих процессов, энергетических установок и других теплотехнических устройств, применяемых в отрасли.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Основные законы термодинамики, термодинамические процессы и циклы, свойства рабочих тел (газов и паров), основы расчета энергетических установок.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|--|-----------------|
| ПК-2.11 | ИД-1пк-2.11 | Знает нормативно-техническую документацию по проектированию внутренних инженерных систем (ВИС); основные технические профессиональные компьютерные программные средства для проектирования ВИС; основные требования охраны труда. | Знает нормативно-техническую документацию по проектированию внутренних инженерных систем (ВИС); технические требования к смежным системам, конструкциям; правила оформления проектной и рабочей документации по ВИС; профессиональные компьютерные программные средства для проектирования ВИС; требования охраны труда. | Экзамен |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|---|------------------------|
| ПК-2.11 | ИД-2пк-2.11 | <p>Умеет осуществлять анализ содержания проектных задач; осуществлять и обосновывать выбор типовых проектных решений элементов и узлов ВИС в соответствии с заданием на проектирование; осуществлять расчеты и подбор отопительного и вентиляционного оборудования, а также систем кондиционирования; выбор места размещения тепло-проводов и воздуховодов; использовать со-временное программное обеспечение для разработки технических решений элементов и узлов ВИС.</p> | <p>Умеет осуществлять анализ содержания проектных задач, выбирать методы и средства их решения;осуществлять и обосновывать выбор типовых проектных решений элементов и узлов ВИС в соответствии с функциональными, технологическими, санитарными требованиями, установленными заданием на проектирование;выполнять технические расчеты элементов и узлов ВИС;осуществлять расчеты и подбор отопительного и вентиляционного оборудования, оборудования для систем кондиционирования воздуха и холодильного оборудования, выбор места размещения оборудования, теплопроводов и воздуховодов; выполнять расчет технико-экономических показателей разрабатываемых технических решений элементов и узлов ВИС; определять допустимые варианты изменений разрабатываемых технических решений элементов и узлов ВИС при согласовании с другими решениями в проектной документации; использовать современные информационно-коммуникационные технологии, в том числе программное обеспечение для разработки технических решений</p> | Индивидуальное задание |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|--|---|-----------------|
| | | | элементов и узлов ВИС. | |
| ПК-2.11 | ИД-3пк-2.11 | Владеет навыками анализа типовых проектных решений ВИС; проведения технических расчетов разрабатываемых элементов и узлов ВИС. | Владеет навыками анализа типовых проектных решений элементов и узлов ВИС; разработки вариантов технических решений элементов и узлов ВИС; проведения технических расчетов разрабатываемых элементов и узлов ВИС; согласования разрабатываемых технических решений элементов и узлов ВИС с другими решениями в проектной документации; разработки рабочих чертежей по утвержденным техническим решениям элементов и узлов ВИС. | Курсовая работа |

3. Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы | Всего часов | Распределение по семестрам в часах | |
|--|-------------|------------------------------------|--|
| | | Номер семестра | |
| | | 5 | |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 45 | 45 | |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них: | | | |
| - лекции (Л) | 16 | 16 | |
| - лабораторные работы (ЛР) | 9 | 9 | |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ) | 18 | 18 | |
| - контроль самостоятельной работы (КСР) | 2 | 2 | |
| - контрольная работа | | | |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС) | 63 | 63 | |
| 2. Промежуточная аттестация | | | |
| Экзамен | 36 | 36 | |
| Дифференцированный зачет | | | |
| Зачет | | | |
| Курсовой проект (КП) | | | |
| Курсовая работа (КР) | 18 | 18 | |
| Общая трудоемкость дисциплины | 144 | 144 | |

4. Содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| 5-й семестр | | | | |
| Рабочее тело и его параметры. | 4 | 1 | 3 | 10 |
| Предмет и задачи курса термодинамики и ее метод. Исторические сведения о развитии термодинамики. Законы термодинамики. Термодинамическая система, окружающая среда и взаимодействие между ними. Термодинамическое равновесие и термодинамический процесс. Рабочее тело. Реальный газ и модель идеального газа. Основные параметры состояния. Законы идеального газа. Уравнения состояния для идеального и реального газов (Клапейрона и Ван-Дер-Ваальса). Тепловые свойства рабочих тел, газовая постоянная. Теплоемкость газов, ее виды и взаимосвязь между ними. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Истинная и средняя теплоемкости. Теплоемкость как функция процесса. Изохорная и изобарная теплоемкости, уравнение Майера. Внутренняя энергия и энтальпия газа. Смеси идеальных газов. Способы задания смеси газов, закон Дальтона. Определение плотности смеси, кажущейся относительной молярной массы и газовой постоянной. Теплоемкость смеси газов. | | | | |
| Первый закон термодинамики. | 2 | 2 | 3 | 10 |
| Сущность и уравнение первого закона термодинамики. Слагаемые первого закона: внутренняя энергия, работа и теплота. Определение работы для газового потока и неподвижного газа. Математическая формулировка первого закона для газового потока и неподвижного газа, правило знаков. Равновесные термодинамические процессы и их графическое изображение в P-V диаграмме. Работа расширения-сжатия. Обратимые и необратимые процессы. Круговые термодинамические процессы (циклы). Первый закон термодинамики для цикла. Применение первого закона термодинамики для анализа политропных процессов. Уравнение политропы, показатель политропы, определение работы и теплоты. Теплоемкость процесса. Частные случаи политропного процесса: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы. P-V диаграмма политропных процессов. | | | | |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| Второй закон термодинамики. | 2 | 2 | 3 | 10 |
| Различные формулировки второго закона термодинамики. Прямые и обратные циклы и их эффективность. Идеальный термодинамический цикл Карно и его к.п.д. Теорема Карно. Абсолютная температура. Отрицательные абсолютные температуры и их получение. Энтропия - мера беспорядка и мера качества энергии. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики. Эксергия и максимальная работа. Статистический характер второго закона термодинамики. Термодинамическая вероятность. Уравнение Больцмана. Фундаментальный характер второго закона термодинамики. Иллюстрация второго закона термодинамики на примерах. Тепловые диаграммы T-S и I-S. Изображение процессов на тепловых диаграммах. | | | | |
| Теплопроводность и теплопередача. | 2 | 2 | 3 | 10 |
| Способы распространения теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение, их сравнительный анализ. Теплоотдача и теплопередача. Интенсификация процессов теплообмена. Тепловой поток, плотность теплового потока. Температурное поле, температурный градиент. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности: геометрические, теплофизические, краевые. Тепловые граничные условия. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме и граничных условиях первого и третьего рода. Тепловая изоляция. Теплопроводность при нестационарном режиме. | | | | |
| Конвективный теплообмен. | 4 | 2 | 3 | 13 |
| Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Свободная и вынужденная конвекция. Ламинарный и турбулентный режим течения. Математическая постановка и пути решения краевой задачи конвективного теплообмена. Основы теории подобия. Критериальные уравнения теплоотдачи при свободном и вынужденном движении среды. Отдельные задачи конвективного теплообмена в однофазной среде. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах и каналах. Теплоотдача при свободном движении теплоносителя. Внешнее обтекание тел простой формы. Конвективный теплообмен в замкнутом объеме. Интенсификация теплообмена. | | | | |
| | | | | |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| Теплообмен излучением. Сложный теплообмен. Физическая сущность лучистого теплообмена, виды потоков излучения и радиационные характеристики тел. Основные законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа). Лучистый теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой. Защита от теплового излучения. Сложный теплообмен. Моделирование сложного теплообмена граничными условиями третьего рода. | 2 | 0 | 3 | 10 |
| ИТОГО по 5-му семестру | 16 | 9 | 18 | 63 |
| ИТОГО по дисциплине | 16 | 9 | 18 | 63 |

Тематика примерных практических занятий

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия |
|--------|---|
| 1 | Расчет газовых постоянных, теплоемкостей и параметров состояния идеальных газов и газовых смесей. |
| 2 | Термодинамический анализ политропных процессов. |
| 3 | Расчет прямых и обратных циклов, изображение циклов на термодинамических диаграммах. |
| 4 | Расчет теплопроводности плоской и цилиндрической стенки при стационарном режиме. |
| 5 | Расчет и анализ теплопередачи через многослойную стенку. Выбор тепловой изоляции. |
| 6 | Решение задач конвективного теплообмена при свободном и вынужденном движении среды. |
| 7 | Расчет систем экранирования при стационарном тепловом режиме. |

Тематика примерных лабораторных работ

| № п.п. | Наименование темы лабораторной работы |
|--------|--|
| 1 | Исследование политропных процессов. |
| 2 | Исследование работы компрессора. |
| 3 | Определение коэффициента теплопроводности твердого тела методом трубы. |
| 4 | Исследование теплоотдачи при свободном движении воздуха. |

Тематика примерных курсовых проектов/работ

| № п.п. | Наименование темы курсовых проектов/работ |
|--------|---|
|--------|---|

| № п.п. | Наименование темы курсовых проектов/работ |
|--------|--|
| 1 | Расчет кожухотрубного водо-водяного рекуператора |
| 2 | Расчет секционного водо-водяного подогревателя |

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

| |
|---|
| <p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> |
|---|

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

| |
|---|
| <p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически. 2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. 3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу. 4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции. |
|---|

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

| № п/п | Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц) | Количество экземпляров в библиотеке |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1. Основная литература | | |
| 1 | Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебное пособие для вузов / В. В. Нащокин. - Москва: Аз-book, 2008. | 286 |

| | | |
|---|---|-----|
| 2 | Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебное пособие для вузов / В. В. Нащокин. - Москва: Аз-book, 2009. | 172 |
| 3 | Теплотехника : учебник для вузов / В.Н. Луканин [и др.]. - М.: Высш. шк., 2005. | 4 |
| 4 | Теплотехника : учебник для вузов / В.Н. Луканин [и др.]. - М.: Высш. шк., 2009. | 19 |
| 2. Дополнительная литература | | |
| 2.1. Учебные и научные издания | | |
| 1 | Исаев С. И. Термодинамика : учебник / С. И. Исаев. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. | 33 |
| 2 | Мухачев Г. А. Термодинамика и теплопередача : учебник для вузов / Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. - Москва: Высш. шк., 1991. | 247 |
| 2.2. Периодические издания | | |
| | Не используется | |
| 2.3. Нормативно-технические издания | | |
| | Не используется | |
| 3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины | | |
| | Не используется | |
| 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента | | |
| | Не используется | |

6.2. Электронная учебно-методическая литература

| Вид литературы | Наименование разработки | Ссылка на информационный ресурс | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---------------------------|--|---|---|
| Дополнительная литература | Литвин А. М. Техническая термодинамика : учебник / А. М. Литвин. - Москва Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. | http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib7044 | локальная сеть; авторизованный доступ |
| Основная литература | Бендерский Б.Я. Техническая термодинамика и теплопередача : курс лекций с краткими биографиями ученых : учебное пособие для вузов / Б.Я. Бендерский. - М. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. | http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib2487 | локальная сеть; авторизованный доступ |
| Основная литература | Тихомиров К. В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учебник для вузов / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеенко. - Москва: Стройиздат, 1991 | http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib6277 | локальная сеть; авторизованный доступ |

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Вид ПО | Наименование ПО |
|---|---|
| Операционные системы | MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022) |
| Офисные приложения. | Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567 |
| Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением | ABINS.NET каф.СПМиТМ |

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Наименование | Ссылка на информационный ресурс |
|---|---|
| Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета | http://lib.pstu.ru/ |
| Электронно-библиотечная система Лань | https://e.lanbook.com/ |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks | http://www.iprbookshop.ru/ |
| Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс | http://www.consultant.ru/ |

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

| Вид занятий | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения | Количество единиц |
|----------------------|---|-------------------|
| Курсовая работа | Персональный компьютер | 5 |
| Лабораторная работа | Лабораторное оборудование "Термодинамика и теплообмен" | 12 |
| Лекция | Ноутбук, проектор | 1 |
| Практическое занятие | Персональный компьютер | 5 |

8. Фонд оценочных средств дисциплины

| |
|------------------------------|
| Описан в отдельном документе |
|------------------------------|

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА и ТЕПЛОМАССОБМЕН»

Приложение к рабочей программе дисциплины

| | |
|--|---|
| Направление: | 08.03.01 Строительство |
| Направленность (профиль) образовательной программы: | Теплогазоснабжение и вентиляция |
| Квалификация выпускника: | «Бакалавр» |
| Выпускающая кафедра: | Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение |
| Форма обучения: | Очная |
| Курс: 3 | Семестр: 5 |
| Трудоёмкость: | |
| Кредитов по рабочему учебному плану: | 4 ЗЕ |
| Часов по рабочему учебному плану: | 144 ч. |
| Форма промежуточной аттестации: | |
| Экзамен: 5 семестр | Курсовая работа: 5 семестр |

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Техническая термодинамика и тепломассообмен» является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины (РПД). Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (5-го семестр базового учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине «Техническая термодинамика и тепломассообмен» (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и итогового контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, курсовой работы и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

| Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы) | Вид контроля | | | | |
|--|--------------|-----|--------------|------------|----------|
| | Текущий | | Рубежный | | Итоговый |
| | | ТО | ОЛР | Т/КР | Экзамен |
| Усвоенные знания | | | | | |
| З.1 знать: нормативно-техническую документацию по проектированию внутренних инженерных систем (ВИС); способы и подходы к решению задач теплотехники и теплофизики; основные методы математического и компьютерного моделирования | | ТО1 | | КР1 КР2 | ТВ |
| Освоенные умения | | | | | |
| У.1 уметь: осуществлять анализ содержания проектных задач; осуществлять и обосновывать выбор типовых проектных решений элементов и узлов ВИС; решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания | | ТО2 | ОЛР1 ОЛР2 | | ПЗ |

| Приобретенные владения | | | | | | |
|--|--|--|--------------|--|--|----|
| В.1 владеть: навыками анализа типовых проектных решений ВИС; проведения технических расчетов разрабатываемых элементов и узлов ВИС; навыками решения задач, относящихся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания | | | ОЛР3 ОЛР4 | | | ПЗ |

ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме.

Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 4 лабораторные работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Техническая термодинамика», вторая КР – по модулю 2 «Тепломассообмен».

Типовые задания первой КР:

1. Определить основные термодинамические параметры газовой смеси в изобарном процессе расширения.
2. Рассчитать теоретический политропный цикл двигателя внутреннего сгорания.
3. Рассчитать многоступенчатый идеальный компрессор.

Типовые задания второй КР:

1. Определить коэффициент теплопередачи в процессе охлаждения газа, движущегося в трубопроводе, внешним теплоносителем.
2. Рассчитать тепловые потери с одного погонного метра горизонтальной трубы в процессе конвективного теплообмена.
3. Определить изменение интенсивности лучистого теплообмена при использовании экрана с заданной степенью черноты.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.3. Защита курсовой работы

Типовая тема курсовой работы приведена в РПД. Защита выполненной работы проводится индивидуально каждым студентом.

Типовые вопросы и задания для защиты КР:

1. Классификация теплообменных аппаратов (ТА).
2. Уравнения, лежащие в основе расчёта ТА.
3. Формула для вычисления среднелогарифмического температурного напора в ТА.

4. Критерии Нуссельта, Рейнольдса, Грасгофа и Прандтля.
5. Водяной эквивалент горячей воды в полтора раза больше, чем у холодной воды. Холодная вода в ТА нагревается на 20 °С. На сколько градусов охлаждается горячая вода ?

По результатам защиты курсовой работы выставляется интегральная оценка по 4-х балльной шкале оценивания, которая распространяется на все запланированные образовательные результаты в форме знать, уметь, владеть, указанные в задании на курсовую работу.

Типовые критерии оценки по 4-х балльной шкале оценивания для курсовой работы:

- оценка *«отлично»* выставляется студенту, если в работе содержатся элементы научного творчества и делаются самостоятельные выводы, достигнуты все результаты, указанные в задании, качество оформления отчета соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил отличное владение материалом работы и способность аргументировано отвечать на поставленные вопросы по теме работы;

- оценка *«хорошо»* выставляется студенту, если в работе достигнуты все результаты, указанные в задании, качество оформления отчета соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил хорошее владение материалом работы и способность аргументировано отвечать на поставленные вопросы по теме работы;

- оценку *«удовлетворительно»* выставляется студенту, если в работе достигнуты основные результаты, указанные в задании, качество оформления отчета в основном соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил удовлетворительное владение материалом работы и способность отвечать на большинство поставленных вопросов по теме работы;

- оценку *«неудовлетворительно»* выставляется студенту, если в работе не достигнуты основные результаты, указанные в задании или качество оформления отчета не соответствует установленным в вузе требованиям, или при защите студент проявил неудовлетворительное владение материалом работы и не смог ответить на большинство поставленных вопросов по теме курсовой работы.

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний и практические задания (ПЗ) для проверки освоенных знаний.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС

образовательной программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Термодинамика и предмет ее изучения. Термодинамическая система и окружающая среда. Рабочее тело, модель идеального газа.

2. Первый закон термодинамики – частный случай всеобщего закона сохранения энергии применительно к тепловым процессам.

3. Теплопроводность – механизм диффузии тепла на микроуровне. Основной закон теплопроводности (закон Фурье). Коэффициент теплопроводности и его физический смысл.

4. Явление теплоотдачи с поверхности твердого тела в движущуюся среду. Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл. Основной закон теплоотдачи (закон Ньютона-Рихмана).

5. Лучистый теплообмен – механизм передачи тепла посредством электромагнитных волн. Потoki излучения. Радиационные характеристики тел – коэффициент отражения, коэффициент поглощения и коэффициент пропускания.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Вычислить термический к.п.д. заданного прямого цикла .

2. Рассчитать и представить графически изменение внутренней энергии и энтальпии воздуха в заданном процессе сжатия.

3. Компрессор всасывает $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха при давлении 1 бар и $t = 20^\circ\text{C}$ и сжимает его до давления 5 бар . Определить теоретическую мощность на привод компрессора при политропном сжатии ($n = 1,25$).

4. Изобразить стационарную картину изотермических линий в поперечном и продольных сечениях цилиндрической трубы при нагреве её изнутри.

5. Изобразить графически траектории свободного движения воздуха около поверхности нагретых горизонтальной и вертикальной труб.

Перечень типовых заданий для проверки умений и владений представлен в приложении 1. *Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

Оценка «пять» ставится, если обучающийся правильно отвечает на все теоретические вопросы билета, и приводит верное и аргументированное решение практического задания (задачи).

Оценка «четыре» ставится, если обучающийся верно понимает суть вопросов билета, но допускает незначительные неточности при ответе на теоретические вопросы или при выполнении практического задания.

Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности поставленных вопросов и заданий, но нуждается в наводящих вопросах, а также допускает ошибки в решении задачи.

Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает поставленных заданий, не может ответить на теоретические вопросы билета, а также не справляется или допускает грубые ошибки в решении практического задания.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Приложение 1.

Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения по дисциплине

Вопросы для контроля знаний:

1. Что является основными параметрами состояния термодинамической системы?
2. Какой вид имеет уравнение состояния идеального газа?
3. Что такое термодинамический процесс и термодинамический цикл?
4. Какова формулировка первого закона термодинамики?
5. Какова формулировка второго закона термодинамики?
6. Какие существуют основные виды передачи теплоты?
7. Сформулируйте основной закон теплопроводности.
8. Каков физический смысл и какова размерность коэффициента теплопроводности?
9. Запишите возможные аналитические решения для одномерных и двумерных стационарных задач теплопроводности.
10. Что такое конвективный теплообмен?
11. Что такое цикл Карно, и для чего он используется?
12. В чем заключается преимущество регенерационных циклов перед обычными (на примере цикла Ренкина)?
13. Охарактеризуйте основные схемы движения теплоносителей в теплообменниках.
14. В чем заключается различие между стационарными и нестационарными температурными полями?
15. Что называют коэффициентом теплоотдачи? От каких факторов он зависит?
16. Назовите основные режимы течения теплоносителя.
17. Назовите основные числа (критерии) подобия в теории теплообмена.
18. Что представляют собой критериальные уравнения теплообмена?
19. Что называют критическим диаметром изоляции?
20. Опишите устройство и принцип работы термопары. Какие разновидности термопар Вам известны.
21. В чём различие между обратимыми и необратимыми циклами?
22. Сформулируйте принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики.
23. В чём заключается аналогия между тепловой и рабочей диаграммами?
24. Каков статистический смысл второго закона термодинамики?
25. Перечислите основные типы компрессоров и назовите их основные характеристики.
26. Сформулируйте порядок термодинамического расчёта многоступенчатого идеального компрессора.
27. В чём заключается математическая формулировка задачи конвективного теплообмена?
28. Какие виды условий однозначности вам известны?
29. Каков физический смысл критериев Нуссельта, Рейнольдса, Пекле, Прандтля и Грасгофа?
30. Запишите общий вид уравнения подобия при свободном движении воздуха

вблизи горизонтальной трубы.

Задания для контроля умений:

1. Температура воздуха в аудитории 22 град.С, атмосферное давление 99.5 кПа. Определить плотность воздуха.
2. Определить удельный объем CH_4 , находящегося при температуре 0 град. С и давлении 3МПа.
3. Определить температуру воздуха после политропного расширения с показателем политропы $n = 1.15$ до давления 100 кПа, если начальное давление равняется 200 кПа, а начальный удельный объем $0.0865 \text{ м}^3/\text{кг}$.
4. Запишите первый закон термодинамики для изобарного процесса.
5. Определите цикловую работу одноступенчатого поршневого компрессора ($n = 1.3$), имеющего степень повышения давления 5. Начальное давление 95 кПа при температуре 300 К.
6. Отношение радиусов цилиндрической стенки $R_2/R_1 = 1.5$, разность температур на поверхностях $t_1 - t_2 = 50$ град.С. Определить толщину цилиндрической стенки, если градиент на внутренней поверхности стенки равен 50 К/м.
7. Через плоскую стенку толщиной $S = 1$ м, теплопроводностью 40 Вт/(м К) передается тепловой поток плотностью 5000 Вт/кв.м. Найти внешнюю температуру T_2 , если внутренняя температура $T_1 = 100$ град.С.
8. Определить погонный тепловой поток (Вт/м) с поверхности трубы диаметром 150 мм и длиной 1 м в окружающую среду с температурой 10 град.С, если температура поверхности 100 град.С, коэффициент теплоотдачи 24 Вт/м²/К.
9. Найти коэффициент теплоотдачи нагретой стенки площадью 10 кв.м и температурой 150 град.С, если в окружающую среду температурой 20 град.С передается тепловой поток 500 Вт.
10. Через цилиндрический слой размерами $R_1=0.1$ и $R_2=0.15$ передается тепловой поток. Плотность потока на внутренней поверхности 120 Вт/м². Определить плотность потока на наружной поверхности.
11. Определить подведенную и отведенную теплоту, а также термодинамический КПД цикла Отто при степени сжатия 8, степени повышения давления 5, начальном давлении 100 000 Па и начальной температуре 273 К. Рабочее тело – воздух.
12. Определить подведенную и отведенную теплоту, а также термодинамический КПД цикла Дизеля при степени сжатия 8, степени предварительного расширения 2.6, начальном давлении 90 000 Па и начальной температуре 30 град.С. Рабочее тело – воздух.
13. Определить подведенную и отведенную теплоту, а также термодинамический КПД цикла Тринклера при степени сжатия 8, степени повышения давления 4, степени предварительного расширения 1.5, начальном давлении 110 кПа и начальном удельном объеме $0.88 \text{ м}^3/\text{кг}$. Рабочее тело – воздух.

14. Определить коэффициент теплопроводности плоского слоя, если подведенный тепловой поток равен 10 Вт, площадь слоя 1 м^2 , толщина 0.1 м, а разность температур на наружных поверхностях 3 град. С.
15. Найти внешнюю температуру плоской стенки, если внутренняя температура 80 град.С, толщина 1 м, теплопроводность 40 Вт/(м К), а передаваемая плотность теплового потока 4 кВт/кв.м.
16. Определить коэффициент теплоотдачи с поверхности горизонтальной трубы диаметром 0.05 м, длиной 1 м, если теплопроводность воздуха 0.025 Вт/м/К, а число $Nu = 125$.
17. Определить коэффициент теплоотдачи с поверхности вертикальной трубы диаметром 0.05 м, длиной 1 м, если теплопроводность воздуха 0.027 Вт/м/К, а число $Nu = 8.25$.
18. Определить показатель политропы в процессе расширения от давления 150 кПа до давления 100 кПа, если после расширения емкость была закрыта, и оставшийся воздух, нагревшись, достиг давления в 105 кПа.
19. Определить начальное давление воздуха после политропного расширения с показателем политропы $n = 1.4$ до давления 100 кПа, если температура после расширения упала до -20 град. С. Начальная температура 300 К.
20. Температура воздуха в резервуаре 24 град.С, давление 300500 Па. Определить удельный объем воздуха и его массу, если геометрический объем резервуара 860 л.
21. Вычислить термический к.п.д. заданного прямого цикла .
22. Рассчитать и представить графически изменение внутренней энергии и энтальпии воздуха в заданном процессе сжатия.
23. Компрессор всасывает $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха при давлении 1 бар и $t = 20^\circ\text{C}$ и сжимает его до давления 5 бар. Определить теоретическую мощность на привод компрессора при политропном сжатии ($n = 1,25$).
24. Изобразить стационарную картину изотермических линий в поперечном и продольных сечениях цилиндрической трубы при нагреве её изнутри.
25. Изобразить графически траектории свободного движения воздуха около поверхности нагретых горизонтальной и вертикальной труб.
26. Определить коэффициент теплоотдачи с поверхности вертикальной трубы диаметром 0.015 м, длиной 3 м, если теплопроводность воздуха 0.02 Вт/м/К, а число $Nu = 175$.
27. Вывести формулу для расчёта количества ступеней компрессора Z по известным: начальной температуре T_1 , степени повышения давления π_Σ , показателю политропы сжатия n и предельной величине разогрева газа ΔT .
28. Рассчитать значение показателя политропы сжатия в компрессоре, если нач. температура равна 20°C , нач. давление 1 атм, температура разогрева газа равна 75 К, $\pi_k = 7,5$.
29. Раскройте дифференциальный оператор $\nabla^2 t$, если $t = f(x, y, z, \tau)$.
30. Раскройте дифференциальный оператор $\nabla^2 t$, если $t = f(r, \varphi, z, \tau)$.

Задания для контроля владений:

1. Определить подведенную теплоту в процессе, если изменение внутренней энергии 105 кДж, а работа расширения 200 кДж.
2. Определить энтальпию в процессе, если изменение температуры равно 40 градусов, политропная теплоемкость -1150 Дж/кг/К, а располагаемая работа - 78 Дж/кг.
3. Определить термодинамический КПД, если подведенная теплота 132 кДж, а отведенная теплота 95 кДж.
4. Определить подведенную теплоту, если термодинамический КПД 63%, а в цикле отводится 1225 Дж теплоты.
5. Построить обобщенную рабочую диаграмму цикла Карно.
6. Построить обобщенную тепловую диаграмму цикла Дизеля.
7. Определить удельную газовую постоянную кислорода (O_2).
8. Определить тепловой поток с наружной поверхности цилиндрического ствола орудия, если коэффициент теплопроводности 50 Вт/м/К, градиент температуры по наружной поверхности 10 К/м, внутренний диаметр ствола 100 мм, толщина стенки 8 мм.
9. Записать уравнение нестационарной теплопроводности для одномерного поля температур.
10. Найти температуру среды, если с нагретой стенки площадью 5 кв.м и температурой 150 град.С, если в окружающую среду передается тепловой поток 500 Вт при коэффициенте теплоотдачи 20 Вт/м²/К.
11. Показатель политропы расширения $n = 1.23$, атмосферное давление 99500 Па, избыточное давление после изохорного расширения 120 мм. вод. ст. Определить начальное избыточное давление в условиях лабораторной работы.
12. Цикловая работа некоторого ДВС 1350 кДж, подведенная теплота 2000 кДж. Определить термодинамический КПД.
13. Насколько работа поршневого двухступенчатого компрессора меньше работы эквивалентного одноступенчатого компрессора при степени повышения давления 10, показателе политропы сжатия 1.1. Допустимое повышение температуры в процессе сжатия в двухступенчатом компрессоре 200 град. С. Рабочее тело – воздух. Начальное давление 100 кПа, температура 20 град. С.
14. Определить располагаемую работу некоторого политропного процесса с $n = 1.3$, если работа расширения равна 1.5 МДж.
15. Какова температура воздуха в помещении при проведении замеров, если давление равно 101 кПа, а удельный объем 500 м³/кг.
16. При проведении эксперимента получены следующие данные: политропа сжатия 1.115, начальное давление 99 кПа, начальная температура 27 град. С, конечное давление 400 кПа. Определить конечную температуру. Какова будет температура, если сжатие совершить адиабатно?
17. Чему равен термодинамический КПД, если подведенная теплота 2050 кДж, а отведенная теплота 950 кДж.

18. Чему равна удельная газовая постоянная диоксида углерода (CO_2).
19. Как изменится плотность азота (N_2), если его изобарно нагреть на 20 градусов?
20. Коэффициент теплоотдачи с поверхности вертикальной трубы диаметром 0.05 м, длиной 1 м равен $25 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$. Определить число Nu , если теплопроводность воздуха 0.025 Вт/м/К .
21. Для условий лабораторной работы №3 рассчитать термическое сопротивление цилиндрического слоя испытуемого материала. Сравнить полученное значение с термическим сопротивлением плоского слоя той же толщины.
22. Построить график радиального распределения температуры в слое испытуемого материала по данным лабораторной работы №3.
23. Какова должна быть толщина слоя изоляции, наложенная на трубу диаметром 30 мм, чтобы тепловые потоки в окружающую среду были максимальны? ($\lambda_{\text{из}} = 0,2 \text{ Вт/(м К)}$; $\alpha = 10 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$).
24. Определите показатель степени в уравнении функциональной связи между коэффициентом теплоотдачи и кинематической вязкостью (для условий лабораторной работы №4).
25. Найти температуру абсолютно черного тела, интегральный поток излучения которого равен потоку излучения испытуемого (серого) тела.
26. Найти поток излучения абсолютно черного тела, температура которого равна температуре испытуемого тела.
27. Для испытуемого тела найти коэффициент теплоотдачи излучением и эффективный коэффициент теплоотдачи.
28. Определить величину Q_l для случая, когда испытуемое тело помещено в цилиндрический кожух внутренним диаметром 50 мм. При этом считать, что конвективная составляющая теплового потока остается неизменной, а степень черноты поверхности кожуха такая же, как у испытуемого тела.
29. Как будет выглядеть на графике спектр излучения абсолютно черного тела при той же температуре?
30. Чему равны коэффициенты поглощения, отражения и пропускания для испытуемого тела?