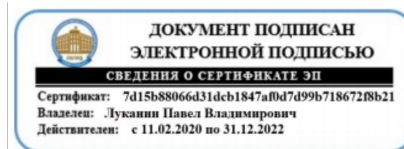


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и
 дизайна»
 (СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.О.25 Техническая термодинамика

Учебный план: _____ ФГОС3++b130301ПТ-12_22-14.plx

Кафедра: Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:
 (специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:
 (специализация) Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

План учебного процесса

| Семестр (курс для ЗАО) | | Контактная работа обучающихся | | | Сам. работа | Контроль, час. | Трудоё мкость, ЗЕТ | Форма промежуточной аттестации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | Лекции | Практ. занятия | Лаб. занятия | | | | |
| 3 | УП | 34 | 17 | 17 | 40 | 36 | 4 | Экзамен |
| | РПД | 34 | 17 | 17 | 40 | 36 | 4 | |
| 4 | УП | 34 | 34 | | 40 | 36 | 4 | Экзамен |
| | РПД | 34 | 34 | | 40 | 36 | 4 | |
| Итого | УП | 68 | 51 | 17 | 80 | 72 | 8 | |
| | РПД | 68 | 51 | 17 | 80 | 72 | 8 | |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Кандидат технических наук, доцент

ассистент

Злобин В.Г.

Шиманский С.Р.

Базулин И.С.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и
тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанной со знаниями фундаментальных законов, являющихся основой функционирования тепловых машин и аппаратов, представлениями о рабочих процессах, протекающих в тепловых машинах и их эффективности, о свойствах рабочих тел и теплоносителей.

1.2 Задачи дисциплины:

- Овладеть основными понятиями технической термодинамики, терминологией, законами, основными термодинамическими процессами, протекающими в тепловых машинах.
- Уметь пользоваться методами расчета термодинамических процессов и экспериментального определения свойств рабочих тел и теплоносителей.
- Усвоить основные направления повышения эффективности тепловых машин и аппаратов.
- Продемонстрировать алгоритм расчета основных термодинамических параметров, с использованием прикладного программного обеспечения, для определения показателей эффективности.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новых знаний и умений.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Математика

Химия

Физика

Материаловедение, технологии конструкционных материалов

Электротехника и электроника

Введение в специальность

Гидрогазодинамика (Газодинамика)

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-3: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Знать: основные законы термодинамики; основные термодинамические соотношения; теплофизические свойства рабочих тел, термодинамические процессы, циклы и их показатели.

Уметь: использовать знания теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем; понимать основные законы термодинамики и термодинамических соотношений.

Владеть: расчетами термодинамических процессов, циклов и их показателей.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий | Семестр (курс для ЗАО) | Контактная работа | | | СР (часы) | Инновац. формы занятий | Форма текущего контроля |
|--|------------------------------|-------------------|---------------|----------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|
| | | Лек. (часы) | Пр. (часы) | Лаб. (часы) | | | |
| Раздел 1. Основные законы термодинамики. | 3 | | | | | | 0 |
| Тема 1. Предмет технической термодинамики и ее задачи. Введение; основные понятия и определения; предмет и метод технической термодинамики; международная система единиц (СИ); основные термодинамические параметры состояния; термодинамическая система; термодинамический процесс; теплота и работа; термодинамическое равновесие. | | 3 | 2 | | 3 | | |
| Тема 2. Уравнения состояния идеальных газов. Основные законы идеального газа; уравнение состояния идеальных газов; универсальное уравнение состояния идеального газа. | | 3 | 2 | | 3 | | |
| Тема 3. Смесь идеальных газов. Основные свойства газовых смесей; способы задания смеси газов; газовая постоянная смеси газов; средняя молярная масса смеси газов; парциальные давления. | | 3 | 2 | | 4 | | |
| Раздел 2. Реальные газы. Первый закон термодинамики. | | | | | | | |
| Тема 4. Реальные газы. Свойства реальных газов; уравнение состояния Ван-дер-Ваальса; анализ уравнения Ван-дер-Ваальса; уравнение состояния для реальных газов М.П. Вукаловича и И.И. Новикова; температурные коэффициенты. | | 3 | 1 | | 3 | | |
| Тема 5. Первый закон термодинамики. Закон сохранения и превращения энергии; внутренняя энергия; аналитическое выражение работы процесса; обратимые и необратимые процессы; аналитическое выражение первого закона термодинамики; энтальпия. | | 3 | 2 | | 3 | | |

| | | | | | |
|--|---|---|----|---|---|
| Раздел 3. Теплоемкость газов. Термодинамические процессы. | | | | | |
| Тема 6. Теплоемкость газов. Энтропия. Основные определения; удельная (массовая), объемная и молярная теплоемкости газов; аналитические выражения для теплоемкостей C_v и C_p ; элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости; истинная и средняя теплоемкости; отношение теплоемкостей C_p и C_v ; определение Q_v и Q_p для идеальных газов по таблицам теплоемкостей; теплоемкость смесей идеальных газов; приближенные значения теплоемкостей; энтропия. вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов; тепловая T-s диаграмма. Лабораторная работа №1 "Определения отношения теплоемкостей C_p к C_v " | 3 | 1 | 5 | 6 | Л |
| Тема 7. Термодинамические процессы идеальных газов. Общие вопросы исследования процессов; изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы. Лабораторная работа №2 "Исследование изотермического процесса", Лабораторная работа №3 "Исследование изобарного процесса", Лабораторная работа №4 "Исследование изохорного процесса", Лабораторная работа №5 "Исследование адиабатного процесса". | 3 | 1 | 12 | 8 | |
| Раздел 4. Второй закон термодинамики. | | | | | |
| Тема 8. Второй закон термодинамики. Основные положения второго закона термодинамики; круговые термодинамические процессы, или циклы; термический КПД и холодильный коэффициент циклов; прямой и обратный обратимый цикл Карно; теорема Карно; свойства обратимых и необратимых циклов и математическое выражение второго закона термодинамики. | 3 | 2 | | 2 | О |
| Тема 9. Энтропия термодинамических процессов. Изменения энтропии в обратимых и необратимых процессах; обобщенный (регенеративный) цикл Карно; принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики; максимальная работа; эксергия. | 3 | 1 | | 2 | |

| | | | | | | |
|---|-----|----|----|------|--|---|
| Раздел 5. Истечение и дросселирование газов и паров. | | | | | | |
| Тема 10. Истечение газов и паров. Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа; работа проталкивания. дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока; располагаемая работа при истечении газа; адиабатный процесс истечения газа; истечение капельной жидкости; скорость истечения и массовый расход идеального газа из суживающегося сопла; анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление; критическая скорость и максимальный расход идеального газа; основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения; случаи истечения идеального газа из суживающегося сопла; истечение идеального газа из комбинированного сопла Лаваля; истечение газов с учетом трения; истечение водяного пара. | 4 | 2 | | 4 | | 0 |
| Тема 11. Дросселирование газов и паров. смешение газов. Дросселирование газа; уравнение процесса дросселирования; исследование процесса дросселирования. эффект Джоуля — Томсона; дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа; кривая инверсии; дросселирование или мятие водяного пара; смешение газов; изменение энтропии идеальных газов при смешении. | 3 | 1 | | 2 | | |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО) | 34 | 17 | 17 | 40 | | |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен) | 2,5 | | | 33,5 | | |
| Раздел 6. Водяной пар (реальный газ). | | | | | | |
| Тема 12. Водяной пар (реальный газ). Основные понятия и определения; диаграмма $p - t$ водяного пара; процессы подогрева жидкости, парообразования и пароперегрева; сухой насыщенный пар; влажный насыщенный водяной пар; уравнение Клапейрона-Клаузиуса; процесс перегрева пара; | 5 | 4 | | 5 | | 0 |
| Тема 13. Термодинамические процессы в парах. Диаграммы $T-s$ и $h-s$ водяного пара; термодинамические процессы в парах. | 4 | 4 | | 5 | | |
| Раздел 7. Циклы паросиловых установок. | | | | | | 0 |

| | | | | | |
|--|----|-----|------|--|---|
| Тема 14. Циклы паросиловых установок. Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса; термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса; удельный расход пара и теплоты; относительный внутренний и абсолютный КПД. | 5 | 4 | 5 | | |
| Тема 15. Способы повышения термического КПД паросиловой установки. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД ПСУ; вторичный перегрев пара. | 4 | 4 | 5 | | |
| Раздел 8. Основы теплофикации. | | | | | |
| Тема 16. Основы теплофикации. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки; тепловой баланс теплофикационной ПСУ; теплофикационные циклы; цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе; цикл ПСУ с противоаварийными турбинами; цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара. | 4 | 4 | 5 | | О |
| Тема 17. Регенеративный цикл паросиловой установки. Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки; уравнение теплового баланса питательного бака и подогревателей. | 4 | 4 | 5 | | |
| Раздел 9. Циклы холодильных и теплонасосных установок. | | | | | |
| Тема 18. Циклы холодильных машин и установок. Цикл паровой компрессионной холодильной машины; цикл воздушной холодильной машины; абсорбционные холодильные установки; цикл парожеткорной холодильной установки. | 4 | 5 | 5 | | О |
| Тема 19. Циклы теплонасосных установок. Цикл пароконденсационного теплового насоса; цикл пароконденсационного экологически чистого теплового насоса. | 4 | 5 | 5 | | |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО) | 34 | 34 | 40 | | |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен) | | 2,5 | 33,5 | | |

| | | | | | |
|--|--|-----|-----|--|--|
| Всего контактная работа и СР по дисциплине | | 141 | 147 | | |
|--|--|-----|-----|--|--|

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения | Наименование оценочного средства |
|-----------------|--|--|
| ОПК-3 | <p>Обучающийся:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Демонстрирует умение читать и разрабатывать технологические схемы, термодинамические процессы, циклы; умеет оценивать параметры технического состояния, распознавать причины нарушений в работе теплотехнических установок и систем. 2. Использует основные законы термодинамики, термодинамические соотношения, термодинамические свойства рабочих тел для расчета параметров работы и технического состояния теплоэнергетического оборудования и устройств. 3. Умеет определять последовательность необходимых действий при выполнении расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей; 4. Владеет методикой разработки технических условий и решений на технологические изменения, реконструкцию, техническое перевооружение и модернизацию теплотехнического оборудования; | <ol style="list-style-type: none"> 1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания |

5.1.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания | Критерии оценивания сформированности компетенций | |
|-----------------------|---|---|
| | Устное собеседование | Письменная работа |
| 5 (отлично) | Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных термодинамических законов, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях при ответе; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь термодинамических процессов для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности и широкую эрудицию в использовании учебного материала. | Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо, может представить его графически. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. |
| 4 (хорошо) | Обучающийся показывает достаточный уровень знаний основных термодинамических законов, ориентируется в основных понятиях и определениях термодинамических процессов; усвоил основную литературу; допускает незначительные погрешности при ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы преподавателя. | Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. |
| 3 (удовлетворительно) | Обучающийся показывает знания учебного материала в минимальном объеме; может сформулировать термодинамические законы, понятия и определения термодинамических процессов, но при этом, допуская большое количество принципиальных ошибок; знаком с основной литературой; допускает | Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает |

| | | |
|----------------------------|---|---|
| | существенные ошибки в ответе на экзамене, но может устранить их под руководством преподавателя | затруднения с его интерпретацией. |
| 2 (неудовлетворительно) | Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные термодинамические законы; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на экзамене существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. | Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Не знает размерности термодинамических величин, не может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи. Обучающийся отказывается выполнять задание |

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п | Формулировки вопросов |
|-----------|---|
| Семестр 3 | |
| 1 | Располагаемая работа при истечении газа, ее расчет |
| 2 | Работа проталкивания. Дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока |
| 3 | Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа |
| 4 | Максимальная работа. Понятие эксергии, потери работоспособности в необратимых процессах и эксергетический КПД |
| 5 | Формулировка и физическая сущность второго закона термодинамики |
| 6 | Обобщенный (регенеративный) цикл Карно |
| 7 | Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах |
| 8 | Свойства обратимых и необратимых циклов. Математическое выражение второго закона термодинамики |
| 9 | Теорема Карно |
| 10 | Обратный обратимый цикл Карно и его термический КПД |
| 11 | Прямой обратимый цикл Карно |
| 12 | Термический КПД и холодильный коэффициент циклов |
| 13 | Основные положения второго закона термодинамики. Круговые термодинамические процессы и циклы |
| 14 | Адиабатный и политропные процессы |
| 15 | Изобарный и изотермический процессы |
| 16 | Общие вопросы исследования термодинамических процессов идеальных газов. Изохорный процесс |
| 17 | Изображение и сопоставление тепловых процессов в Pv и Ts – диаграмма |
| 18 | Энтропия. Вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов. |
| 19 | Теплоемкость смесей идеальных газов. Приближенные значения теплоемкостей |
| 20 | Определение qv и qr для идеальных газов по таблицам теплоемкостей |
| 21 | Истинная и средняя теплоемкости. Отношение теплоемкостей C_p и C_v |
| 22 | Элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости |
| 23 | Аналитические выражения для теплоемкостей C_v и C_p . Зависимость теплоемкости от температуры |
| 24 | Определения удельной (массовой), объемной и молярной теплоемкости газов. Их взаимосвязь |
| 25 | Внутренняя энергия и энтальпия как энергетические функции состояния идеального газа |
| 26 | Общее аналитическое выражение первого закона термодинамики |
| 27 | Обратимые и необратимые термодинамические процессы |
| 28 | Аналитическое выражение работы процесса |
| 29 | Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия |
| 30 | Уравнение состояния для реальных газов М.П. Вукаловича и И.И. Новикова |
| 31 | Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных параметрах состояния. Критические параметры вещества |
| 32 | Pv -диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа (диаграмма Эндрюса) |
| 33 | Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса |
| 34 | Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса |
| 35 | Термодинамические свойства реальных газов |
| 36 | Средняя молярная масса смеси газов. Парциальные давления |

| | |
|-----------|---|
| 37 | Газовая постоянная смеси газов |
| 38 | Способы задания смеси газов. Закон Дальтона |
| 39 | Основные свойства газовых смесей |
| 40 | Универсальное уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная |
| 41 | Уравнение состояния идеальных газов. Удельная газовая постоянная |
| 42 | Понятие об идеальном газе. Основные законы идеальных газов |
| 43 | Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные |
| 44 | Теплота и работа, как разные формы передачи энергии |
| 45 | Термодинамический процесс. Наименование и определяющие признаки |
| 46 | Определения и свойства термодинамических систем |
| 47 | Основные термодинамические параметры состояния. Единицы измерения в системе СИ. |
| 48 | Смещение газов. Изменение энтропии идеальных газов при смешении. |
| 49 | Дросселирование водяного пара. |
| 50 | Дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа. Кривая инверсии. |
| 51 | Исследование процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томпсона. |
| 52 | Дросселирование газа. Уравнение процесса дросселирования. |
| 53 | Истечение газов с учетом трения. Истечение водяного пара. |
| 54 | Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лавалья |
| 55 | Случаи истечения идеального газа из сужающегося сопла |
| 56 | Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения |
| 57 | Критическая скорость и максимальный расход идеального газа |
| 58 | Анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление |
| 59 | Скорость истечения и массовый расход идеального газа из сужающегося сопла |
| 60 | Адиабатный процесс истечения газа. Истечение капельной жидкости |
| Семестр 4 | |
| 61 | Цикл парокompрессионного экологически чистого теплового насоса. |
| 62 | Цикл парокompрессионного теплового насоса. |
| 63 | Цикл пароежекторной холодильной установки. |
| 64 | Абсорбционные холодильные установки. |
| 65 | Цикл воздушной холодильной машины. |
| 66 | Цикл паровой компрессионной холодильной машины. |
| 67 | Холодильная установка, работающая по циклу Карно. Холодильный коэффициент. |
| 68 | Уравнения теплового баланса питательного бака и подогревателей регенеративного цикла ПСУ. |
| 69 | Схема реального регенеративного цикла ПСУ и его изображение в диаграмме T-S. |
| 70 | Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки. |
| 71 | Цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара (с одним производственным или теплофикационным или двумя одновременно). |
| 72 | Цикл ПСУ с противоавтотурбинными турбинами (турбины типа «Р»). |
| 73 | Теплофикационные циклы. Цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе. |
| 74 | Тепловой баланс теплофикационной паросиловой установки. |
| 75 | Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки. |
| 76 | Пути повышения термического КПД паросиловых установок. Вторичный перегрев пара. |
| 77 | Влияние конечного давления P2 на термический КПД ПСУ. |
| 78 | Влияние начальной температуры пара T1 на термический КПД ПСУ. |
| 79 | Влияние начального давления P1 на термический КПД ПСУ. |
| 80 | Удельные расходы пара и теплоты. Относительный внутренний и абсолютный КПД цикла Ренкина. |
| 81 | Термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса. |
| 82 | Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса. |
| 83 | Изотермический и адиабатный термодинамические процессы водяного пара. |
| 84 | Изохорный и изобарный термодинамические процессы водяного пара. |
| 85 | Диаграмма h-S водяного пара. |
| 86 | Диаграмма T-S водяного пара. |
| 87 | Процесс перегрева пара. Параметры перегретого пара. |
| 88 | Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. |

| | |
|----|---|
| 89 | Влажный насыщенный водяной пар. Параметры влажного насыщенного пара. |
| 90 | Сухой насыщенный пар. Полная теплота сухого насыщенного пара. Таблицы сухого насыщенного пара. |
| 91 | Процесс парообразования. Внешняя и внутренняя теплоты парообразования. |
| 92 | Процесс подогрева жидкости. График подогрева жидкости в T-S координатах. |
| 93 | p-V - диаграмма водяного пара. |
| 94 | T-p – диаграмма фазовых переходов вещества. Основные понятия и определения процессов фазовых переходов. |

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Задание №1.

Для идеального газа температурный коэффициент объемного расширения $\beta_r = 1/273,15$ был получен при изобарном нагреве от 0 до 1°C. Определить числовые значения β_r при 200°C и 400°C.

Задание №2.

Из комбинированного сопла газовой турбины вытекают продукты сгорания при давлении $P_2 = 0,13$ МПа. При входе в сопло давление газов равно $P_1 = 0,1$ МПа при температуре 1200К. Массовый расход, газов $m = 0,8$ кг/с. Истечение считать адиабатным, а показатель адиабаты $k = C_p/C_v = 1,35$. Продукты сгорания обладают свойствами воздуха. Трением в канале сопла и входной скоростью пренебречь. Определить минимальное и выходное сечения сопла, а также температуру газов при выходе из сопла.

5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная + Письменная + Компьютерное тестирование Иная

5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- Возможность пользоваться справочными таблицами, разрешенными слайдами схем и рисунков, калькулятором;
- Время на подготовку ответа по билету на экзамене 45 минут.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

| Автор | Заглавие | Издательство | Год издания | Ссылка |
|--|---|---|-------------|---|
| 6.1.1 Основная учебная литература | | | | |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова | Техническая термодинамика [Текст]. Ч.2. Водяной пар. Циклы теплосиловых установок: учебное пособие | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016 | http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/6.pdf |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова | Техническая термодинамика [Текст]. Ч.1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей: учебное пособие | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016 | http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf |
| Крайнов, А. В., Пашков, Е. Н. | Термодинамика и теплопередача. Часть 1. Термодинамика | Томск: Томский политехнический университет | 2017 | http://www.iprbooks.hop.ru/84039.html |
| 6.1.2 Дополнительная учебная литература | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|------|---|
| Козырев, А. В. | Термодинамика и молекулярная физика | Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент | 2012 | http://www.iprbooks.hop.ru/13871.html |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Э.Р. лиев | Исследование термодинамических процессов [Текст]: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов институтов энергетики и автоматизации и безотрывных форм обучения | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016 | http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuidt//2.pdf |
| Комаров, А. А. | Термодинамика и статистическая физика. Руководство к решению задач. Часть 1 | Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби | 2013 | http://www.iprbooks.hop.ru/59892.html |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, М.С. Липатов | Определение отношения теплоемкостей воздуха C_p/C_v [Текст]: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов институтов энергетики и автоматизации и безотрывных форм обучения | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2017 | http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuidt/7.pdf |
| С.В. Горбай, М.С. Липатов | Техническая термодинамика [Текст] : методические указания к выполнению контрольных работ для обучающихся Института безотрывных форм обучения | М-во науки и высшего образования РФ, ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД | 2019 | http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuidt/2019_08_26_01.pdf |

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
3. База данных большой технической библиотеки "Сайт теплотехника" [Электронный ресурс].

URL:<http://teplokot.ru/>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

Диаграмма HS для воды и водяного пара v2.5

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

| Аудитория | Оснащение |
|----------------------|---|
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |

| | |
|-------------------|--|
| Учебная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |
| A-207 | Лабораторные установки для испытания различных конструкций теплообменных аппаратов, лабораторная установка Теплоснабжение с МПСО, лабораторный стенд по исследованию термодинамических процессов |
| A-003 | Лабораторная установка для определения отношения теплоемкостей воздуха, калориметр для определения общей жесткости, термостат вискозиметрический |