

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



Декан факультета Яременко С.А.
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Техническая термодинамика»

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

Профиль Теплогасоснабжение и вентиляция

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2018

Автор программы


/Китаев Д.Н. /

И.о. заведующего кафедрой
Теплогасоснабжения и
нефтегазового дела


/Тулская С.Г./

Руководитель ОПОП


/Мелькумов В.Н./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование у студентов компетенций, знаний, умений и навыков, обеспечивающих квалифицированное участие в деятельности бакалавра.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Задачи дисциплины: обеспечить знания студентов в области технической термодинамики, одной из базовых общеинженерных дисциплин, что позволяет создать фундамент неформального усвоения материала дисциплин: теплообмен, тепловые сети, теплогенерирующие установки, вентиляция, отопление; развить творческий подход при использовании элементов термодинамического анализа и решении конкретных задач в области теплогоснабжения и вентиляции.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Техническая термодинамика» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Техническая термодинамика» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен организовывать и совершенствовать производственно-технологические процессы строительно-монтажных работ в сфере теплогоснабжения и вентиляции

ПК-3 - Способен управлять производственно-хозяйственной деятельностью в сфере теплогоснабжения, вентиляции

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать законы: Первый закон термодинамики применительно к закрытой системе и к стационарному потоку, второй закон термодинамики и его связь с методами оценки эффективности теплотехнического оборудования, третий закон термодинамики. Законы, связанные с состояниями и процессами различных рабочих веществ идеального газа, газовой смеси, реального газа (пара), двухфазной системы. - величины, характеризующие: состояние термодинамической системы: p , V , T - параметры, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, теплота, работа, теплоем-

	<p>кость и др., и термодинамические процессы;</p> <ul style="list-style-type: none"> - термодинамическую эффективность: термический КПД, внутренний относительный КПД, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент и др.; - конкретное рабочее вещество - степень сухости пара, относительная влажность воздуха, влагосодержание воздуха, <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять первый закон термодинамики для составления энергетического баланса теплотехнических установок или теплового баланса для систем, в которых не производится работа; - использовать уравнение состояния идеального газа, в том числе для газовых смесей; - проводить анализ и расчет термодинамических процессов изменения состояния идеального газа, водяного пара и влажного воздуха; - рассчитывать процессы истечения и дросселирования газов и паров; - проводить анализ эффективности циклов тепловых двигателей; - анализировать теплосиловые циклы в i-S, T-S диаграммах. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками расчета термодинамических параметров рабочих тел; - справочными таблицами, диаграммами состояния рабочих тел; - законами и зависимостями превращения теплоты в работу.
ПК-3	<p>знать</p> <p>законы: Первый закон термодинамики применительно к закрытой системе и к стационарному потоку, второй закон термодинамики и его связь с методами оценки эффективности теплотехнического оборудования, третий закон термодинамики. Законы, связанные с состояниями и процессами различных рабочих веществ идеального газа, газовой смеси, реального газа (пара), двухфазной системы.</p> <ul style="list-style-type: none"> - величины, характеризующие: состояние термодинамической системы: p, V, T - параметры, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, теплота, работа, теплоемкость и др., и термодинамические процессы; - термодинамическую эффективность: термический КПД, внутренний относительный КПД, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент и др.; - конкретное рабочее вещество - степень сухости пара, относительная влажность воздуха, влагосодержание воздуха, теплота парообразования и т.п. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять первый закон термодинамики для состав-

	<p>ления энергетического баланса теплотехнических установок или теплового баланса для систем, в которых не производится работа;</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать уравнение состояния идеального газа, в том числе для газовых смесей; - проводить анализ и расчет термодинамических процессов изменения состояния идеального газа, водяного пара и влажного воздуха; - рассчитывать процессы истечения и дросселирования газов и паров; - проводить анализ эффективности циклов тепловых двигателей; - анализировать теплосиловые циклы в i-S, T-S диаграммах.
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками расчета термодинамических параметров рабочих тел; - справочными таблицами, диаграммами состояния рабочих тел; - законами и зависимостями превращения теплоты в работу.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Техническая термодинамика» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	72	72
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего	Семестры
---------------------	-------	----------

	часов	6
Аудиторные занятия (всего)	20	20
В том числе:		
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	6	6
Самостоятельная работа	151	151
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Идеальные газы	Уравнение состояния идеального газа. Теплоемкость. Смеси газов.	6	6	4	14	30
2	Законы термодинамики	Первый, второй и третий закон термодинамики	6	2	4	14	26
3	Термодинамические процессы	Изопроцессы и их исследование. Политропный процесс. Смешение газов. Интегральный и дифференциальный дроссель эффект. Кривая инверсии. Скорость и расход, критическая скорость. Скорость звука, сопло Лавала.	14	5	2	14	35
4	Термодинамические свойства веществ	Водяной пар. Влажный воздух.	6	4	8	10	28
5	Цикл Карно.	Прямой и обратный цикл Карно. Теорема Карно.	2	1	-	10	13

6	Реальные газы. Дифференциальные уравнения термодинамики.	Качественные особенности реальных газов. Уравнения состояния реальных газов. Уравнения Максвелла, частные производные внутренней энергии и энтальпии, теплоемкости	2	-	-	10	12
Итого			36	18	18	72	144

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Идеальные газы	Уравнение состояния идеального газа. Теплоемкость. Смеси газов.	2	2	1	28	33
2	Законы термодинамики	Первый, второй и третий закон термодинамики	1	1	-	28	30
3	Термодинамические процессы	Изопроцессы и их исследование. Политропный процесс. Смешение газов. Интегральный и дифференциальный дроссель эффект. Кривая инверсии. Скорость и расход, критическая скорость. Скорость звука, сопло Лавалья.	1	2	1	28	32
4	Термодинамические свойства веществ	Водяной пар. Влажный воздух.	1	3	4	26	34
5	Цикл Карно.	Прямой и обратный цикл Карно. Теорема Карно.	1	-	-	26	27
6	Реальные газы. Дифференциальные уравнения термодинамики.	Качественные особенности реальных газов. Уравнения состояния реальных газов. Уравнения Максвелла, частные производные внутренней энергии и энтальпии, теплоемкости	-	-	-	15	15
Итого			6	8	6	151	171

5.2 Перечень лабораторных работ

Определение средней изобарной объемной теплоемкости воздуха.

Определение газовой постоянной идеального газа.

Определение показателя адиабаты воздуха.

Исследование процессов во влажном воздухе.

Определение энтальпии водяного пара методом адиабатного дросселирования.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

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
ПК-1	<p>знать</p> <p>законы: Первый закон термодинамики применительно к закрытой системе и к стационарному потоку, второй закон термодинамики и его связь с методами оценки эффективности теплотехнического оборудования, третий закон термодинамики. Законы, связанные с состояниями и процессами различных рабочих веществ идеального газа, газовой смеси, реального газа (пара), двухфазной системы.</p> <p>- величины, характеризующие: состояние термодинамической системы: p, V, T - параметры, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, теплота, работа, теплоемкость и др., и термодинамические процессы;</p> <p>- термодинамическую эффективность: термический КПД, внутренний относительный КПД, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент и др.;</p> <p>- конкретное рабочее вещество - степень сухости пара, относительная влажность воздуха, влагосодержание воздуха, теплота парообразования и т.п.</p>	Тестирование Лабораторные работы	Выполнено тестирование на положительную оценку. Лабораторные работы выполнены.	Тестирование не выполнено. Лабораторные работы не выполнены.
	<p>уметь:</p> <p>- применять первый закон термодинамики для составления энергетического баланса теплотехнических установок или теплового баланса для систем, в которых не производится</p>	Тестирование Лабораторные работы	Выполнено тестирование на положительную оценку. Лабораторные работы выполнены.	Тестирование не выполнено. Лабораторные работы не выполнены.

	<p>работа;</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать уравнение состояния идеального газа, в том числе для газовых смесей; - проводить анализ и расчет термодинамических процессов изменения состояния идеального газа, водяного пара и влажного воздуха; - рассчитывать процессы истечения и дросселирования газов и паров; - проводить анализ эффективности циклов тепловых двигателей; - анализировать теплосиловые циклы в $i-S$, $T-S$ диаграммах. 			
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками расчета термодинамических параметров рабочих тел; - справочными таблицами, диаграммами состояния рабочих тел; - законами и зависимостями превращения теплоты в работу. 	Тестирование Лабораторные работы	Выполнено тестирование на положительную оценку. Лабораторные работы выполнены.	Тестирование не выполнено. Лабораторные работы не выполнены.
ПК-3	<p>знать</p> <p>законы: Первый закон термодинамики применительно к закрытой системе и к стационарному потоку, второй закон термодинамики и его связь с методами оценки эффективности теплотехнического оборудования, третий закон термодинамики. Законы, связанные с состояниями и процессами различных рабочих веществ идеального газа, газовой смеси, реального газа (пара), двухфазной системы.</p> <ul style="list-style-type: none"> - величины, характеризующие: состояние термодинамической системы: p, V, T - параметры, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, теплота, работа, теплоемкость и др., и термодинамические процессы; - термодинамическую эффективность: термический КПД, внутренний относительный КПД, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент и др.; - конкретное рабочее вещество - степень сухости пара, относительная влажность воздуха, влагосодержание воздуха, теплота парообразования и т.п. 	Тестирование Лабораторные работы	Выполнено тестирование на положительную оценку. Лабораторные работы выполнены.	Тестирование не выполнено. Лабораторные работы не выполнены.

	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять первый закон термодинамики для составления энергетического баланса теплотехнических установок или теплового баланса для систем, в которых не производится работа; - использовать уравнение состояния идеального газа, в том числе для газовых смесей; - проводить анализ и расчет термодинамических процессов изменения состояния идеального газа, водяного пара и влажного воздуха; - рассчитывать процессы истечения и дросселирования газов и паров; - проводить анализ эффективности циклов тепловых двигателей; - анализировать теплосиловые циклы в i-S, T-S диаграммах. 	Тестирование Лабораторные работы	Выполнено тестирование на положительную оценку. Лабораторные работы выполнены.	Тестирование не выполнено. Лабораторные работы не выполнены.
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками расчета термодинамических параметров рабочих тел; - справочными таблицами, диаграммами состояния рабочих тел; - законами и зависимостями превращения теплоты в работу. 	Тестирование Лабораторные работы	Выполнено тестирование на положительную оценку. Лабораторные работы выполнены.	Тестирование не выполнено. Лабораторные работы не выполнены.

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, 6 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	знать законы: Первый закон термодинамики применительно к закрытой системе и к стационарному потоку, второй закон термодинамики и его связь с методами оценки эффективности теплотехнического оборудо-	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	<p>вания, третий закон термодинамики. Законы, связанные с состояниями и процессами различных рабочих веществ идеального газа, газовой смеси, реального газа (пара), двухфазной системы.</p> <p>- величины, характеризующие: состояние термодинамической системы: p, V, T - параметры, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, теплота, работа, теплоемкость и др., и термодинамические процессы;</p> <p>- термодинамическую эффективность: термический КПД, внутренний относительный КПД, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент и др.;</p> <p>- конкретное рабочее вещество - степень сухости пара, относительная влажность воздуха, влагосодержание воздуха, теплота парообразования и т.п.</p>					
<p>уметь:</p> <p>- применять первый закон термодинамики для составления энергетического баланса теплотехнических установок или теплового баланса для систем, в которых не производится работа;</p> <p>- использовать уравнение состояния идеального газа,</p>	<p>Решение стандартных практических задач</p>	<p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>		<p>Задачи не решены</p>

	<p>в том числе для газовых смесей;</p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить анализ и расчет термодинамических процессов изменения состояния идеального газа, водяного пара и влажного воздуха; - рассчитывать процессы истечения и дросселирования газов и паров; - проводить анализ эффективности циклов тепловых двигателей; - анализировать теплосиловые циклы в $i-S$, $T-S$ диаграммах. 					
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками расчета термодинамических параметров рабочих тел; - справочными таблицами, диаграммами состояния рабочих тел; - законами и зависимостями превращения теплоты в работу. 	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
ПК-3	<p>знать законы: Первый закон термодинамики применительно к закрытой системе и к стационарному потоку, второй закон термодинамики и его связь с методами оценки эффективности теплотехнического оборудования, третий закон термодинамики. Законы, связанные с состояниями и процессами различных рабочих веществ идеального газа, газовой смеси, реального газа (пара), двухфазной системы.</p> <ul style="list-style-type: none"> - величины, харак- 	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

<p>термизирующие: состояние термодинамической системы: p, V, T - параметры, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, теплота, работа, теплоемкость и др., и термодинамические процессы;</p> <p>- термодинамическую эффективность: термический КПД, внутренний относительный КПД, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент и др.;</p> <p>- конкретное рабочее вещество - степень сухости пара, относительная влажность воздуха, влагосодержание воздуха, теплота парообразования и т.п.</p>					
<p>уметь:</p> <p>- применять первый закон термодинамики для составления энергетического баланса теплотехнических установок или теплового баланса для систем, в которых не производится работа;</p> <p>- использовать уравнение состояния идеального газа, в том числе для газовых смесей;</p> <p>- проводить анализ и расчет термодинамических процессов изменения состояния идеального газа, водяного пара и влажного воздуха;</p> <p>- рассчитывать процессы истечения и дросселирования</p>	<p>Решение стандартных практически задач</p>	<p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>	<p>Задачи не решены</p>

	<p>газов и паров; - проводить анализ эффективности циклов тепловых двигателей; - анализировать теплосиловые циклы в i-S, T-S диаграммах.</p>					
	<p>владеть: - методиками расчета термодинамических параметров рабочих тел; - справочными таблицами, диаграммами состояния рабочих тел; - законами и зависимостями превращения теплоты в работу.</p>	<p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</p>	<p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>	<p>Задачи не решены</p>

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

- Чаще всего состояние рабочего тела определяется следующими параметрами:
 - удельным объемом
 - только температурой
 - давлением и температурой
 - удельным объемом, давлением и температурой
- Абсолютное давление в случае разряжения определяют по формуле:
 - $p_{абс} = B - p_{вак}$
 - $p_{абс} = B + p_{вак}$
 - $p_{абс} = P/S$
 - $p_{абс} = \gamma h$
- Значение универсальной газовой постоянной R , кДж/(кмоль·К) равно:
 - 83, 14
 - 848
 - 8,314
 - 0,8314
- Давление 10,2 ат равно:
 - 1 МПа
 - 10,2 кгс/см²
 - 760 мм.рт.ст
 - 10 м.вод.ст
- Под идеальным газом понимают:
 - газ, в котором отсутствуют силы притяжения и отталкивания между молекулами
 - газ, в котором молекулы имеют массу, не имеют объема
 - газ, при высокой температуре и малом давлении
 - газ, подчиняющийся уравнению Ван-дер-Ваальса
- Нормальными условиями принято считать:
 - $p=101325$ Па, $T=273,15$ К
 - $p=760$ мм.рт.ст, $t=0$ °С
 - $p=101325$ Па, $t=20$ °С
- Всякий реальный процесс является:
 - неравновесным процессом
 - круговым процессом
 - равновесным
- В законе Дальтона говорится о:
 - массе смеси газов
 - давлении смеси газов
 - объеме смеси газов
 - температуре смеси газов
- Зависимость между изобарной и изохорной теплоемкостями определяется формулой:
 - $C_p + C_v = R$
 - $C_p - C_v = R$
 - $C_v - C_p = R$
 - $C_v / C_p = R$
- Изохорным называется процесс, в котором не изменяется:
 - давление
 - объем
 - температура
 - количество сообщаемой теплоты

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Для изохорного процесса характерно

а) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$ б) $\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$ в) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{v_1}{v_2}$ г) $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

2. Масса водяного пара, содержащегося в 1 м³ влажного воздуха, называется:

- а) абсолютной влажностью воздуха
б) относительной влажностью воздуха
в) степенью насыщения воздуха

3. Уравнение первого закона термодинамики для адиабатного процесса имеет вид:

а) $dq=du$ б) $dq=c_vdT$ в) $dq=pdv$ г) $du=-dl$

4. Термический КПД цикла Карно:

- а) больше 1 б) меньше 1 в) равен 1

5. Энтропия не изменяется:

- а) в изобарном процессе в) в изохорном
б) в изотермическом г) в адиабатном

6. Второй закон термодинамики для обратимых процессов имеет вид:

а) $ds < \frac{dq}{T}$ б) $ds = \frac{dq}{T}$ в) $ds > \frac{dq}{T}$

7. Сопло Лавалю – это устройство для получения скорости истечения:

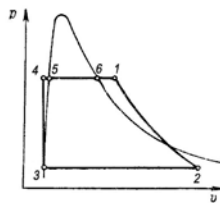
- а) ниже критической б) равной критической в) выше критической

8. Температура водяного пара при дросселировании:

- а) уменьшается б) увеличивается в) не изменяется

9. Процесс перегрева пара в цикле Ренкина (см. рисунок) изображается отрезком:

- а) 4-5
б) 3-4
в) 6-1
г) 5-6
д) 6-1



10. Термический КПД регенеративного цикла с одним отбором пара по сравнению с КПД цикла Ренкина:

- а) больше б) меньше в) одинаков

11. Уравнение состояния для 1 кг идеального газа:

а) $pV = MRT$ б) $p\nu = RT$ в) $pV_\mu = \mu RT$

12. Изменение энтропии в изотермическом процессе записывается в виде:

а) $s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ б) $s_2 - s_1 = R \ln \frac{v_2}{v_1}$ в) $s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$ г)

$s_2 - s_1 = 0$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Водяной пар массой 1 кг с параметрами $P_1=1,3$ МПа изэнтропно расширяется до давления $P_2=0,004$ МПа. Найти параметры в начале и конце процесса, работу расширения и изменение внутренней энергии.
2. В баллоне находится водяной пар с параметрами: $t_1=280^\circ\text{C}$, $P_1=1,5$ МПа. Пар в баллоне охлаждается при $V=\text{const}$ до температуры насыщения. Определить в изохорном процессе изменение внутренней энергии, отводимую теплоту, а также массу пара, если баллон имеет объем, равный $V=1,5\text{ м}^3$, считая водяной пар идеальным газом.
3. Влажный водяной пар имеет при давлении $p = 1,5$ МПа и влагосодержании $x = 0,80$. Какое количество тепла нужно сообщить 1 кг данного пара, чтобы довести его степень сухости при постоянном давлении до $x_2 = 0,95$.
4. Определить количество теплоты, передаваемое от калорифера к воздуху, если теплоемкость воздуха при $t_1=20^\circ\text{C}$ равна $1,004$ кДж/(кг $\cdot^\circ\text{C}$), а при $t_2=100^\circ\text{C}$ - $1,0098$ кДж/(кг $\cdot^\circ\text{C}$), расход воздуха $2,5\text{ м}^3/\text{с}$, плотность воздуха $\rho=1,3$ кг/м 3 .
5. Параметры начального состояния водяного пара: $P=3,0$ МПа, $t=300^\circ\text{C}$. Пар в турбине расширяется адиабатически до давления $P_2=3$ кПа. Построить адиабатический процесс и определить параметры процесса, работу и изменение внутренней энергии.
6. При $p = 0,9$ МПа вода нагрета до степени сухости $x=0,9$. На сколько градусов нужно еще нагреть воду, чтобы началось кипение? Найти давление, удельный объем и плотность воды, если она находится в состоянии кипения и температура ее равна 250°C .
7. Для сушильной установки используют атмосферный воздух при $t=20^\circ\text{C}$ с влагосодержанием $d_1=10\text{ г}/(\text{кг с.в.})$, который предварительно нагревают до $t_2=85^\circ\text{C}$. После калорифера в сушилке воздух охлаждается до $t_3=40^\circ\text{C}$. Требуется определить конечное влагосодержание воздуха, расход воздуха и теплоту на испарение 1 кг влаги.
8. Начальное состояние воздуха на входе в калорифер: температура - $t_1=26^\circ\text{C}$, температура мокрого термометра - $t_m=20^\circ\text{C}$. Нагрев воздуха происходит до $t_2=80^\circ\text{C}$. Определить количество подводимой теплоты и расход сухого воздуха, отнесенного к кг влаги.
9. 1 кг водяного пара при $p = 10$ бар и $t_1 = 240^\circ\text{C}$ нагревается при постоянном давлении до 320°C . Определить затраченное количество тепла, работу расширения и изменение внутренней энергии пара.
10. 1 м 3 пара при давлении $p = 1,0$ МПа и температуре $t = 300^\circ\text{C}$ охлаждается при постоянном объеме до 100°C . Определить количество тепла, отданного паром.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Предмет изучения технической термодинамики. Феноменологический и статистический подходы. Основные определения.
2. Основные термодинамические параметры состояния идеальных газов. Давление, удельный объем.
3. Температура. Способы замера температур. Шкалы температур. Понятие идеального газа.
4. Основные законы идеальных газов. Уравнение состояния. Универсальная и удельная газовые постоянные.
5. Понятие об обратимых и необратимых, равновесных и неравновесных процессах.
6. Работа, теплота и внутренняя энергия.
7. Теплоемкость. Виды теплоемкостей и связь между ними. Определение количества теплоты. Теплоемкость смеси и газовая постоянная.
8. Изохорный процесс идеального газа и его исследование.
9. Изобарический процесс идеального газа и его исследование.
10. Изотермический процесс идеального газа и его исследование.
11. Адиабатический процесс идеального газа и его исследование.
12. Политропный процесс и его исследование.
13. Смеси идеальных газов. Способы задания газовых смесей. Соотношения между массовыми, объемными и мольными долями. Закон Дальтона.
14. Влажный воздух. Классификация. Основные параметры влажного воздуха.
15. I-d-диаграмма влажного воздуха. Определение параметров воздуха.
16. Процесс сушки материалов в I-d диаграмме. Температура точки росы и мокрого термометра.
17. Первый закон термодинамики. Формулировка и математическое представление.
18. Энтальпия. Выражение первого закона термодинамики через энтальпию. Физический смысл изохорной и изобарной теплоемкости.
19. Уравнение первого закона термодинамики для потока.
20. Цикл Карно и его анализ. Теорема Карно.
21. Максимальная работа. Ур-е Гюи-Стодолы. Эксергия.
22. Второй закон термодинамики. Оценка экономичности циклов.
23. Понятие энтропии. Энтропийная T - S -диаграмма. Физический смысл энтропии. Объединенное выражение первого и второго законов.
24. Реальные газы. Ур-е Ван-дер-Ваальса. Диаграмма Эндрюса. Ур-е Майера-Боголюбова.
25. I-S-диаграмма водяного пара.
26. T-S диаграмма водяного пара.
27. P-V диаграмма водяного пара.
28. Определение параметров пара.
29. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
30. Дросселирование газов. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффект.
31. Кривая инверсии. Дросселирование водяного пара в i-S диаграмме.
32. Смешение газов.
33. Истечение. Определение скорости истечения. Расход при истечении.
34. Определение максимального секундного расхода при истечении. Критическая скорость. Сопло Лавалю.
35. Дифференциальные уравнения термодинамики

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен 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 студент набрал менее 6 баллов.

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

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

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

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Идеальные газы	ПК-1, ПК-3	Тест Экзамен Лабораторные работы
2	Законы термодинамики	ПК-1, ПК-3	Тест Экзамен Лабораторные работы
3	Термодинамические процессы	ПК-1, ПК-3	Тест Экзамен Лабораторные работы
4	Термодинамические свойства веществ	ПК-1, ПК-3	Тест Экзамен Лабораторные работы
5	Цикл Карно.	ПК-1, ПК-3	Тест Экзамен
6	Реальные газы. Дифференциальные уравнения термодинамики.	ПК-1, ПК-3	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. **Теплотехника** [Текст]: учебник / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Бастет, 2010 (Ярославль : ОАО "Ярославский полиграфкомбинат", 2010). - 324, [1] с., [1] л. диагр. : ил. - ISBN 978-5-903178-19-3 : 492-00. - 100 экз.
2. **Курносков, А.Т.** Техническая термодинамика: учеб. пособие / А.Т. Курносков, Д.Н. Китаев.; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. - Воронеж, 2007. - 110 с. (102 экз.)
3. **Зеленцов, Д.В.** Техническая термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Зеленцов Д.В.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 140 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20525>.— ЭБС «IPRbooks» (дата обращения 27.06.2018).
4. **Мирам, А. О.** Техническая термодинамика. Тепломассообмен [Текст] : учебник : рек. УМО РФ / Мирам, Андрей Олегович, Павленко, Владимир Александрович. - М. : АСВ, 2011 (М. : ППП "Тип. "Наука"). - 351 с. : ил. - ISBN 978-5-93093-841-8 : 597-00. - 10 экз.
5. **Китаев, Д.Н.** Термодинамические основы производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, КЭС и в районных котельных: метод. указания к выполнению курсовой работы/ Д.Н. Китаев, Г.Н. Мартыненко. - Воронеж, 2021. - 40 с.
6. **Китаев, Д.Н.** Исследование термодинамических параметров газов: метод. указания к лабораторным работам/ Д.Н. Китаев, Г.Н. Мартыненко. - Воронеж, 2021. - 37 с.

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

Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel, AutoCAD, Mathcad,

стройконсультант, Internet Explorer.

<http://www.knigafund.ru>, <http://www.stroykonsultant.com>, <http://elibrary.ru>.
www.rosteplo.ru; <http://www.iprbookshop.ru>.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Плакаты (8 шт.)
2. Справочные таблицы (15 комплектов).
3. i-S диаграммы водяного пара, i-d диаграммы влажного воздуха (15 шт.).
4. Потенциометр.
5. Ваттметр.
6. ЛАТР.
7. Манометры.
8. Термометры сопротивления, манометрические термометры, вакуумметры.
9. Расходомеры.
10. Весы аналитические.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Техническая термодинамика» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета термодинамических параметров рабочих тел. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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.

Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - 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 экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.