

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ «БЕЛЭНЕРГО»
УО «МИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
КОЛЛЕДЖ»



УТВЕРЖДАЮ

Директор

МГЭК

А.А. Новиков

20 24 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

**Методические указания по выполнению домашней контрольной работе для
учащихся заочной формы получения образования**

5-04-0712-05 «Техническая эксплуатация оборудования тепловых
электрических станций»

(шифр и название специальности)

Разработал преподаватель

(подпись)

Ю.П.Плеско

(ФИО)

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии
специальных теплотехнических предметов

(наименование цикловой комиссии)

Протокол № 8 от 21.03.2024 г.

Председатель цикловой комиссии

(подпись)

Ю.П.Плеско

(ФИО)

Согласовано
Методист колледжа

(подпись)

О.В.Какорина

(ФИО)

Заведующий заочным отделением

(подпись)

А.А.Куцов

(ФИО)

Год издания 2024

Содержание

Содержание	2
Пояснительная записка	3
2 Содержание учебного предмета	5
3 Методические указания по выполнению домашней контрольной работы	10
4 Задания для домашних контрольных работ	19
5 Оценка результатов учебной деятельности	30
Рекомендуемая литература	32
Приложения	1

УО "МГЭС"

Пояснительная записка

Методические указания по изучению учебного предмета «Теоретические основы теплотехники» и выполнению домашней контрольной работы разработаны в соответствии с образовательным стандартом средне специального образования для специальности 5-04-0712-05 «Техническая эксплуатация оборудования тепловых электрических станций».

Цели изучения учебного предмета «Теоретические основы теплотехники»:
обучающая:

формирование знаний основных законов термодинамики и теплопередачи в профессиональной деятельности;

формирование умения решать теоретические задачи, используя основные законы термодинамики и теплообмена, рассчитывать состояния рабочих тел, термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства;

формирование умений проводить измерения при выполнении лабораторных работ;

формирование навыков расчёта процессов конвективного тепло- и массопереноса, передачи тепла излучением и молекулярной теплопроводностью, выбора тепловой защиты и организации систем охлаждения, проведения теплофизических измерений;

формирование у будущих специалистов профессиональной компетентности в области технической термодинамики и теплопередачи;

воспитательная:

формирование стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;

формирование убеждений социальной значимости своей будущей профессии;

формирование высокой мотивации к выполнению профессиональной деятельности;

формирование работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами;

развивающая:

способствовать развитию психофизиологических профессионально значимых свойств личности;

способствовать развитию умения выделять главное, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;

создавать условия для развития технического, творческого мышления;

способствовать профессиональному и личностному развитию (самостоятельно работать, осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач).

Знания, полученные при изучении данного предмета, будут использованы в процессе изучения следующих предметов: «Котельные установки тепловых электрических станций», «Теплотехнические измерения», «Турбинные установки тепловых электрических станций», «Автоматические системы управления и защиты оборудования на ТЭС», «Контроль выбросов на тепловых электрических станциях».

Для контроля усвоения программного учебного материала предусмотрено проведение домашней контрольной работы, тематика и перечень вопросов определяется цикловой комиссией учреждения образования.

Для итогового контроля знаний обучающихся учебным планом предусмотрено проведение экзамена, перечень вопросов для которого определяется цикловой комиссией учреждения образования.

В результате изучения предмета «Теоретические основы теплотехники» обучающийся должны знать:

знать на уровне представления:

историю и основные направления развития теплотехники;

исходные положения термодинамики;

основные положения теории теплообмена;

знать на уровне понимания:

термодинамику идеального газа;

термодинамические свойства и процессы реальных газов, воды и водяного пара;

термодинамические основы циклов тепловых двигателей, холодильных машин, тепловых насосов и способы повышения их экономичности;

параметры и свойства влажного воздуха;

методику расчёта теплообмена в процессах теплопроводности, теплопередачи, конвективного теплообмена, теплообмена излучением, сложного теплообмена;

основные принципы расчёта теплообменных аппаратов;

уметь:

определять параметры газа, пара, влажного воздуха и производить расчёты процессов изменения их состояния;

пользоваться таблицами термодинамических свойств воды и водяного пара, диаграммами при расчётах термодинамических процессов;

выполнять простейшие расчёты теплообменных аппаратов. В программе учебного предмета «Теоретические основы теплотехники» приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся.

2 Содержание учебного предмета

Введение. Цели и задачи учебного предмета, её характеристика и связь с другими специальными предметами.

Раздел 1. Техническая термодинамика

Тема 1.1 Основные положения технической термодинамики.

Вопросы для самоконтроля:

Объясните, что изучает техническая термодинамика.

На каких основных законах базируется техническая термодинамика?

Что такое рабочее тело?

Почему в качестве рабочего тела используются вещества в газообразном (парообразном) состоянии?

Что такое параметр состояния?

Что такое термодинамической системе?

Тема 1.2 Понятия о термодинамическом процессе, законы идеального газа.

Вопросы для самоконтроля:

Какой газ называется идеальным?

Что такое нормальные физические условия?

Какой термодинамический процесс называется обратимым?

Объясняет сущность основных законов идеального газа, уравнения состояния идеального газа.

Тема 1.3 Смеси идеальных газов.

Вопросы для самоконтроля:

Какими способами может быть задана смесь идеальных газов?

Что такое кажущаяся молярная масса смеси идеальных газов?

Сформулируйте закон Дальтона. В каком случае справедлив этот закон?

Что такое парциальное давление и парциальный объем?

Тема 1.4 Теплоёмкость. Определение количества теплоты.

Вопросы для самоконтроля:

Что такое истинная и средняя теплоёмкости?

Какова связь между истинной и средней теплоёмкостями?

Как вычислить теплоту процесса с помощью каждой из этих теплоёмкостей?

Как связаны изобарная и изохорная теплоёмкости идеального газа?

Почему теплоёмкость при постоянном давлении всегда больше теплоёмкости при постоянном объёме?

Тема 1.5 Первый закон термодинамики.

Вопросы для самоконтроля:

Как вычисляется теплота и работа? Функциями чего являются эти величины?

Дайте определение внутренней энергии, энтальпии и энтропии.

Сформулируйте первый закон термодинамики.

Запишите аналитическое выражение первого закона термодинамики.

Тема 1.6 Термодинамические процессы

Вопросы для самоконтроля:

Дайте определение основным термодинамическим процессам.

Напишите уравнения основных процессов (изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного).

Изобразите процессы (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный) в P, v -диаграмме.

Запишите уравнение первого закона термодинамики для процесса (изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного).

Тема 1.7 Второй закон термодинамики. Энтропия и T, s -диаграмма.

Вопросы для самоконтроля:

Какой цикл называется прямым, а какой обратным?

С помощью, каких величин определяют степень совершенства прямых и обратных циклов?

Из каких процессов состоит цикл Карно?

В чем сущность второго закона термодинамики?

Приведите формулировки второго закона термодинамики.

Тема 1.8 Реальные газы. Водяной пар.

Вопросы для самоконтроля:

Какой пар называется влажным и сухим насыщенным, какой - перегретым?

Что такое фундаментальная (главная) тройная точка вещества?

Чем отличаются процессы испарения и кипения?

Что такое степень сухости?

Опишите процесс получения перегретого пара из состояния насыщенной жидкости.

Как рассчитываются удельный объем, энтропия и энтальпия влажного насыщенного пара?

При каких условиях протекает процесс парообразования?

Изобразите линии основных процессов в h, s - диаграмме.

Как с помощью таблиц воды и водяного пара определить состояние влажного насыщенного пара?

Какие линии называются нижней и верхней пограничной кривой?

Какие параметры называются критическими?

Как определяется удельный объем и др. параметры на h, s -диаграмме?

Тема 1.9 Истечение газов и паров.

Вопросы для самоконтроля:

Что такое работа проталкивания?

Запишите уравнение неразрывности потока в дифференциальной форме.

Что такое располагаемая работа?

Для осуществления, каких процессов используют сопла и диффузоры?

В каких случаях процесс течения можно считать адиабатным?

В каких случаях необходимо использовать комбинированное сопло Лаваля?

Как учитывается влияние трения на скорость течения газа или пара?

Тема 1.10 Дросселирование газов и паров.

Вопросы для самоконтроля:

Что называется процессом дросселирования?

В чем заключается Эффект Джоуля-Томсона?

Как изменяются параметры реальных газов до и после дросселирования?

Как изменяются параметры идеального газа при дросселировании?

На что затрачивается работа расширения при дросселировании?

Покажите с помощью h,s -диаграммы, как изменяется состояние водяного пара при дросселировании.

Тема 1.11 Термодинамическая работа компрессора

Вопросы для самоконтроля:

Каковы особенности работы центробежных и осевых компрессоров?

Изобразите в p,v - координатах изотермический, адиабатный процессы сжатия в компрессоре.

Изобразите индикаторную диаграмму одноступенчатого и поршневого компрессоров в координатах p, v и T, s .

Как влияет наличие вредного пространства на производительность компрессора?

В чем заключается преимущество многоступенчатого сжатия газа в компрессоре?

Как вычисляется необходимое число ступеней сжатия в многоступенчатом компрессоре?

Тема 1.12 Газовые циклы тепловых двигателей.

Вопросы для самоконтроля:

Почему в идеальном цикле ГТУ отвод теплоты принимается изобарным?

Изобразите принципиальную схему ГТУ без регенерации и с регенерацией теплоты.

Какими методами можно повысить термический КПД ГТУ?

Тема 1.13 Циклы паросиловых установок.

Вопросы для самоконтроля:

Почему в паросиловых установках не используется цикл Карно?

Почему основным рабочим телом паросиловых установок служит водяной пар?

Изобразите цикл Ренкина в p , v -, T , s - и h , s - координатах.

Изобразите принципиальную схему паросиловой установки Ренкина.

Как влияют начальные параметры пара на термический КПД цикла Ренкина?

Изобразите в координатах T , s цикла паросиловой установки с предельной регенерацией.

Изобразите в координатах T , s цикл паросиловой установки с промежуточным перегревом пара.

Тема 1.14 Циклы холодильных установок.

Вопросы для самоконтроля:

Что такое холодильный коэффициент?

Изобразите принципиальную схему воздушной холодильной установки и ее идеальный цикл в p , v -или T , s -координатах.

Каково назначение детандера в воздушной холодильной установке и почему его нельзя заменить дроссельным вентилем?

Какие преимущества имеет пароконденсационная холодильная установка по сравнению с воздушной?

Какими свойствами должны обладать хладагенты?

Тема 1.15 Влажный воздух.

Вопросы для самоконтроля:

Что называется влажным воздухом?

Как определяется влагосодержание влажного воздуха?

В каком случае влажный воздух называется насыщенным, а в каком - ненасыщенным?

Как определяется энтальпия влажного воздуха?

Что такое относительная влажность?

Как определить состояние влажного воздуха с помощью психрометра?

Что такое точка росы?

[1],(с. 5-59);[2],(с. 20-206); [3],(с. 6-67); [4],(с. 119-233);[6],(с. 40-87); [7],(с. 8-167).

Раздел 2. Основы теории теплопередачи

Тема 2.1 Основные виды теплопередачи

Вопросы для самоконтроля:

Изложите задачи теории теплообмена?

Сформулируйте определение теплопередачи.

Перечислите виды переноса тепла.

Количественные характеристики переноса теплоты.

Тема 2.2 Теплопроводность

Вопросы для самоконтроля:

Дайте определение понятиям «температурное поле», «изотермическая поверхность».

Дайте определение понятию «градиентом температуры».

Какую роль играет коэффициент теплопроводности в расчётах теплопроводности твёрдых тел?

Дайте объяснение понятиям: тепловой поток, плотность теплового потока, линейная плотность теплового потока; приведите их единицы.

Запишите уравнение теплового потока через плоскую и цилиндрическую поверхность методом теплопроводности, поясните составляющие уравнения, и их размерность?

Сформулируйте закон теплопроводности Фурье. Дайте пояснение к величинам, входящим в выражение закона; приведите единицы измерения этих величин.

Тема 2.3 Теплопередача между стенкой и жидкостью.

Вопросы для самоконтроля:

Сформулируйте определение сложного теплообмена - теплоотдачи.

Сформулируйте закон теплоотдачи Ньютона-Рихмана.

Дайте пояснение к величинам, входящим в аналитическое выражение закон теплоотдачи Ньютона-Рихмана.

Тема 2.4 Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки.

Вопросы для самоконтроля:

Сформулируйте определение сложного теплообмена - теплопередачи.

Раскрывает физический смысл коэффициента теплопередачи.

Запишите уравнение теплового потока через плоскую и цилиндрическую поверхность в процессе теплопередачи

Объясняет методику определения коэффициента теплопередачи, термического сопротивления, в процессе теплопередачи однослойной, многослойной плоской и цилиндрической стенки при стационарном режиме.

Тема 2.5 Конвективный теплообмен.

Вопросы для самоконтроля:

Что называется конвективным теплообменом?

Что называется естественной и вынужденной конвекцией?

Что характеризуют критерии подобия: Рейнольдса Нуссельта, Грасгофа, Прандтля?

Как определяются критерии подобия: Рейнольдса, Нуссельта, Грасгофа, Прандтля?

При каких значениях критерия Рейнольдса возникает ламинарный, турбулентный и переходный режимы?

Чем характеризуется ламинарный, турбулентный и переходный режимы?

Как определить тепловой поток при конвективном теплообмене?

Тема 2.6 Теплообмен излучением.

Вопросы для самоконтроля:

Природа лучистой энергии. На какие части делится лучистый поток?

Что называется коэффициентом поглощения, отражения и пропускаемости?

Какое тело называется абсолютно белым, абсолютно черным, абсолютно прозрачным?

Что называется интенсивностью излучения?

Перечислите основные законы излучения.

Сформулируйте закон Планка, Вина, Стефана — Больцмана, Кирхгофа.

Какое тело называется серым?

Что называется степенью черноты?

Как осуществляется лучистый теплообмен между параллельными пластинами?

Тема 2.7 Сложный теплообмен.

Вопросы для самоконтроля:

Перечислите виды сложного теплообмена.

Как определяется тепловой поток, плотность теплового потока при сложном теплообмене.

Тема 2.8 Теплообменные аппараты.

Вопросы для самоконтроля:

Что называется теплообменным аппаратом?

На какие группы делятся теплообменные аппараты?

По каким схемам осуществляется движение теплоносителей?

Запишите основное уравнение теплового баланса.

Изобразите графики изменения температур теплоносителей в аппаратах с прямотоком и противотоком.

Как определяется среднеарифметический температурный напор?

[1], (с. 62-86); [3], (с. 78-107); [4], (с. 4-33); [6], (с. 90-105); [7], (с. 170-336); [8], (с. 5-216).

3 Методические указания по выполнению домашней контрольной работы

Согласно учебному плану, обучающемуся - заочнику, изучающему учебный предмет «Теоретические основы теплотехники» необходимо выполнить одну домашнюю контрольную работу. Для успешного выполнения домашней контрольной работы, необходимо изучить учебный предмет, который состоит из двух основных разделов.

Введение.

Данная тема является вводной и должна дать понятие о значимости данного учебного предмета. Знать об историческом развитии и проблемах современной теплотехники. Иметь представление о роли отечественных и зарубежных учёных в развитии теплоэнергетики, о современном состоянии и перспективе развития отрасли.

Раздел 1. Техническая термодинамика.

В разделе рассматриваются закономерности взаимного превращения теплоты в работу. Он устанавливает взаимосвязь между тепловыми, механическими и химическими процессами, которые совершаются в тепловых и холодильных машинах, изучает процессы, происходящие в газах и парах, а также свойства этих тел при различных физических условиях.

Тема 1.1 Основные положения технической термодинамики.

При изучении темы необходимо сформировать представление о технической термодинамике и ее методах. Следует уделить внимание изучению основных свойств идеального газа. Знать основные понятия о рабочем теле, термодинамической системе, параметрах состояния, равновесном и неравновесном состояниях. Научится выполнять расчёты по определению параметров состояния идеального газа.

[1],(с. 5-8); [3],(с. 6-11);[7],(с. 8-9).

Пример 1

В сосуде объёмом 0,9 м³ находится 1,5 кг окиси углерода (CO). Определить удельный объём и плотность окиси углерода.

Решение

Удельный объём:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0,9}{1,5} = 0,6 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Плотность:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,5}{0,9} = 1,67 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ответ: $v = 0,6 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $\rho = 1,67 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Тема 1.2 Понятия о термодинамическом процессе, законы идеального газа.

При изучении темы необходимо сформировать представление о нормальных условиях протекания процессов. Следует уделить внимание изучению основных понятий о термодинамическом процессе, об обратимости и необратимости процессов. Изучить основные законы идеального газа, уравнения состояния идеального газа. Научится выполнять расчёты, используя основные законы идеального газа.

[1],(с. 8-10); [3],(с. 11-14); [7],(с. 13-17).

Пример 2

0,5 м³ воздуха находится в сосуде при температуре 120°С. Подключённый к сосуду вакуумметр показывает разрежение 700 мм вод.ст. при барометрическом давлении 750 мм рт. ст. Определить массу газа в сосуде.

Решение

Абсолютное давление газа:

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{б}} - p_{\text{в}} = 750 \cdot 133,3 - 700 \cdot 9,81 = 93108 \text{ Па.}$$

Абсолютная температура воздуха:

$$T = t + 273 = 120 + 273 = 393 \text{ К.}$$

Газовая постоянная воздуха:

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{28,96} = 287,09 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Из уравнения состояния идеального газа ($P \cdot V = m \cdot R \cdot T$), выразим массу газа:

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{93108 \cdot 0,5}{287,09 \cdot 393} = 0,41 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 0,41 \text{ кг.}$

Тема 1.3 Смеси идеальных газов.

При изучении темы сформировать представление о способах задания смесей. Следует уделить внимание изучению основных понятий о смесях идеальных газов, формулировку закон Дальтона. Сформировать знание о способах задания смесей. Научится выполнять расчёты параметров смесей через объёмные и массовые доли.

[1],(с. 21-24); [3],(с. 17-20); [7],(с. 17-23).

Пример 3

В состав газовой смеси входят: 3 кг азота, 5 кг кислорода и 2 кг двуокиси углерода. Определить, объём смеси при давлении 2 бар и температуре 127 °С.

Решение

Масса смеси:

$$m_{\text{см}} = m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} + m_{\text{CO}_2} = 3 + 5 + 2 = 10 \text{ кг.}$$

Массовые доли смеси:

$$g_1 = \frac{m_{\text{N}_2}}{m_{\text{см}}} = \frac{3}{10} = 0,3; g_2 = \frac{m_{\text{O}_2}}{m_{\text{см}}} = \frac{5}{10} = 0,5; g_3 = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{см}}} = \frac{2}{10} = 0,2.$$

Газовая постоянная смеси:

$$R_{\text{см}} = \sum g_i \cdot R_i = 0,3 \cdot \frac{8314}{28} + 0,5 \cdot \frac{8314}{32} + 0,2 \cdot \frac{8314}{44} = 256,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Объём смеси:

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{p} = \frac{10 \cdot 256,8 \cdot (273 + 127)}{2 \cdot 10^5} = 5,14 \text{ м}^3$$

Ответ: $V = 5,14 \text{ м}^3.$

1. 4 Теплоёмкость. Определение количества теплоты

При изучении темы необходимо сформировать представление о свойствах теплоёмкостей идеального газа. При изучении темы следует уделить внимание изучению понятий истинной и средней теплоёмкости, ее виды. Необходимо уделить внимание в вопросе связи между изохорной и изобарной теплоёмкости идеального газа. Научится пользоваться таблицами значений истинной и средней теплоёмкостей идеального газа. Научится выполнять расчёты по определению

количества теплоты термодинамического процесса с использованием теплоёмкости.

[1],(с. 18-21); [3],(с. 14-17);[7],(с. 32-39).

Пример 4

Воздух, содержащийся в баллоне вместимостью 12,5 м³ при температуре 20°С и давлении 1МПа, подогревается до температуры 180° С. Найти подведённую теплоту.

Решение

Массу воздуха определим из уравнения состояния идеального газа ($P \cdot V = m \cdot R \cdot T$), выразим массу газа:

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 12,5}{287,1 \cdot 293} = 148,6 \text{ кг.}$$

Среднюю удельную изохорную теплоёмкость определяем по линейной зависимости, из справочной литературы, как истинную удельную изохорную теплоёмкость при средней температуре.

Средняя температура равна:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{180 + 20}{2} = 100 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Определяем истинную удельную изохорную теплоёмкость воздуха при температуре 100°С (из справочной таблицы) соответствует теплоёмкость $\bar{c}_v = 0,7226 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) = 722,6 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Определяем теплоту:

$$Q_{1,2} = \bar{c}_v \cdot m \cdot (T_2 - T_1) = 722,6 \cdot 148,6 \cdot (453 - 293) = 17 \text{ МДж}$$

Ответ: $Q_{1,2} = 17 \text{ МДж}$

1.5 Первый закон термодинамики

Необходимо сформировать представление о краткой истории открытия первого закона термодинамики. При изучении темы следует уделить внимание изучению сущности работы, внутренней энергии термодинамического процесса. Знать формулировку первого закона термодинамики и аналитическое выражение первого закона термодинамики. Раскрывать сущность энтальпии.

[1],(с. 12-16); [3],(с. 20-29); [7],(с. 23-30).

1.6 Термодинамические процессы

При изучении темы следует уделить внимание изучению сущности изобарного, изохорного, изотермического, адиабатного процессов. Необходимо сформировать представление о задачах и методах исследования процессов идеального газа, о порядке анализа процессов и изображении процессов в p, v - диаграмме. Научится выполнять расчёты по определению основных параметров состояния, работы, внутренней энергии и количества тепла при исследовании процессов идеального газа. [1],(с. 25-34); [3],(с. 29-41); [7],(с.40-50).

Пример 5

$m = 5 \text{ кг}$ газа СО при начальном давлении $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$ и начальной температуре $t_1 = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ расширяется до пятикратного увеличения объёма по адиабате. Рассчитать: объём газа в начале и конце расширения; конечные давления и температуру газа; работу, получаемую в процессе.

Решение:

Абсолютная температура СО в начале процесса:

$$T_1 = t_1 + 273 = 29 + 273 = 302 \text{ К.}$$

Абсолютное давление СО в начале процесса:

$$p_1 = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Объём газа в начале процесса:

$$V_1 = \frac{m \cdot T_1 \cdot R}{p_1} = \frac{5 \cdot 302 \cdot 296,8}{0,3 \cdot 10^6} = 1,49 \text{ м}^3.$$

Расширяется до пятикратного увеличения объём газа в конце процесса:

$$V_2 = 5 \cdot V_1 = 5 \cdot 1,49 = 7,45 \text{ м}^3.$$

Уравнение связи между давлением и объёмом для адиабатного процесса:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa}, \text{ где } \kappa = 1,4 \text{ – показатель адиабаты.}$$

откуда давление газа в конце адиабатного процесса:

$$p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa} = 0,3 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{5} \right)^{1,4} = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Связь между температурой и объёмом в адиабатном процессе:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1}$$

откуда температура газа в конце адиабатного процесса:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = 302 \cdot \left(\frac{1}{5} \right)^{1,4-1} = 158,6 \text{ К.}$$

Работу расширения газа в адиабатном процессе 1-2 определим по формуле:

$$L_{1,2} = \frac{p_1 \cdot V_1}{\kappa - 1} \cdot \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \right) = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1,49}{1,4 - 1} \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{5} \right)^{1,4-1} \right) = 5,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

Ответ: $V_2 = 7,45 \text{ м}^3$, $p_2 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T_2 = 158,6 \text{ К}$, $L_{1,2} = 530 \text{ кДж}$

1.7 Второй закон термодинамики. Энтропия и T,s-диаграмма

При изучении темы следует уделить внимание изучению второго закона термодинамики. Необходимо сформировать представление о прямых и обратных циклах, их термических КПД. Раскрывает сущность энтропии. Научитесь выполнять построение циклов в T,s- координат. Изучить сущность цикла Карно и формулу его термического КПД.

[1],(с. 34, с.39-42); [3],(с. 42-52); [7],(с. 54-73).

1.8 Реальные газы. Водяной пар

При изучении темы необходимо сформировать представление о реальных газах, их свойствах, критических параметров веществ, о способе получения пара. При изучении темы следует уделить внимание изучению процесса парообразования, построению парообразования в p,v- и T,s-диаграммах. При изучении темы необходимо изучить порядок определения параметров состояния пара и воды. Научитесь выполнять расчёты при изменении состояния воды и водяного пара, с помощью таблиц и h, s – диаграммы.

[1],(с. 44-49); [3],(с. 54-66); [7],(с. 101-121).

Пример 6

Определить параметры v, h, s и состояние, в котором находится пар,

если его давление (абсолютное) $p = 10$ бар, температуры $t = 370$ °С.
Задачу решить с помощью h,s - диаграммы водяного пара.

Решение:

Состояние пара - перегретый пар.

Параметры: $v = 0,29$ м³/кг; $h = 3200$ кДж/кг; $s = 7,37$ кДж/(кг·К).

Пример 7

Начальные параметры пара $p_1 = 0,04$ МПа и степень сухости $x = 0,92$.

Определить параметры и состояние, в котором находится пар. Задачу решить с помощью h,s - диаграммы водяного пара.

Решение:

Состояние пара - влажный насыщенный пар.

Параметры: $s = 7,14$ кДж/(кг·К); $t = 75,9$ °С; $h = 2450$ кДж/кг; $v = 3,67$ м³/кг.

Пример 8

1 кг влажного насыщенного пара с начальными параметрами $p_1 = 3$ МПа и степень сухости $x_1 = 0,94$ изотермически расширяется до удельного объёма $v_2 = 2$ м³/кг. Определить параметры во всех точках процессов, а также изменение внутренней энергии, теплоту и работу.

Решение:

Точка 1: пар находится в состоянии - влажного насыщенного пара.

Параметры точки 1:

$p_1 = 3$ МПа; $x_1 = 0,94$; $s_1 = 5,97$ кДж/(кг·К); $h_1 = 2695,6$ кДж/кг;

$v_1 = 0,063$ м³/кг; $t_1 = 234$ °С ($T_1 = 507$ К)

Точка 2: пар находится в состоянии – перегретого пара.

$t_1 = t_2 = \text{const} = 234$ °С; $v_2 = 2$ м³/кг; $s_2 = 7,91$ кДж/(кг·К); $h_2 = 2942$ кДж/кг;

$p_2 = 0,11$ МПа (1,1 бар)

Для изотермического процесса 1-2

Удельная внутренняя энергия пара в точке 1:

$$u_1 = h_1 - p_1 \cdot v_1 = 2695,6 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^6 \cdot 0,063 = 2506,6 \text{ кДж/кг.}$$

Удельная внутренняя энергия пара в точке 2:

$$u_2 = h_2 - p_2 \cdot v_2 = 2942 \cdot 10^3 - 0,11 \cdot 10^6 \cdot 2 = 2722 \text{ кДж/кг.}$$

Изменение удельной внутренней энергии пара для изотермического процесса 1-2:

$$u_2 - u_1 = 2722 - 2506,6 = 215,4 \text{ кДж/кг.}$$

Удельное количество тепла:

$$q_{1,2} = T \cdot (s_2 - s_1) = 507 \cdot (7,91 \cdot 10^3 - 5,97 \cdot 10^3) = 983,6 \text{ кДж/кг.}$$

$$l_{1,2} = q_{1,2} - (u_2 - u_1) = 983,6 - 215,4 = 768,2 \text{ кДж/кг.}$$

Ответ: $l_{1,2} = 768,2$ кДж/кг, $q_{1,2} = 983,6$ кДж/кг, $u_2 - u_1 = 215,4$ кДж/кг

1.9 Истечение газов и паров

При изучении темы необходимо сформировать представление об основных характеристиках и уравнениях адиабатного потока. При изучении темы следует уделить внимание изучению истечения из суживающегося сопла, объяснять условия истечения и научиться выполнять расчёт истечения из сопла Лавала.

[1],(с. 56-58); [7],(с. 121-134).

1.10 Дросселирование газов и паров

При изучении темы необходимо изучить процессе дросселирования и объяснять его основные характеристики. Следует уделить внимание изучению дросселирования водяного пара в h,s -диаграмме.

[1],(с. 59-61); [7],(с. 134-138)

1.11 Термодинамическая работа компрессора

При изучении темы необходимо сформировать представление об основах работы компрессоров, об индикаторной диаграмме компрессора. При изучении темы необходимо изучить принцип построения индикаторных диаграмм поршневого одноступенчатого и многоступенчатого компрессоров.

[7],(с. 92-101).

1.12 Газовые циклы тепловых двигателей

При изучении темы необходимо сформировать представление о термодинамических характеристиках циклов тепловых двигателей, описывать циклы ДВС, ГТУ. При изучении темы необходимо научиться строить и объяснять циклы тепловых двигателей в p,v -диаграмме.

[1],(с. 34-35); [7],(с. 75-92).

1.13 Циклы паросиловых установок

При изучении темы необходимо сформировать представление о циклах паросиловых установок, о способах повышения термического КПД паросилового цикла и о влиянии параметров на термический КПД цикла Ренкина. Необходимо проанализировать регенеративный цикл паротурбинной установки, цикл с промежуточным перегревом пара и парогазовый цикл.

[3],(с. 67-77); [7],(с. 138-153).

1.14 Циклы холодильных установок

При изучении темы следует уделить внимание изучению циклов холодильных установок. Необходимо анализировать цикл воздушной, парожекторной абсорбционной холодильной установки.

[1],(с. 35-36)

1.15 Влажный воздух

При изучении темы следует уделить внимание изучению основных понятий о насыщенном воздухе, ненасыщенном воздухе, о свойствах и параметрах влажного воздуха. Необходимо научиться объяснять принципы построения процессов во влажном воздухе в h,d -диаграммы.

[1],(с. 51-55); [7],(с. 163-170).

Раздел 2. Основы теории теплопередачи

В разделе рассматриваются виды теплообмена и их характеристики.

2.1 Основные виды теплопередачи

При изучении темы необходимо сформировать представление о предмете теории теплообмена. Необходимо научиться раскрывать сущность понятий о видах переноса тепла (теплопроводности, конвекции, тепловом излучении), о тепловом потоке и плотности теплового потока.

[3],(с. 78-81); [7],(с. 170).

2.2. Теплопроводность

При изучении темы необходимо сформировать представление о сущности процесса теплопроводности, о температурном поле, изотермической поверхности, градиенте температуры.

Необходимо раскрывать физический смысл коэффициента теплопроводности, его зависимость от различных факторов.

Научится выполнять расчёты по определению теплового потока при стационарном режиме в процессе теплопроводности однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенок, температуры на соприкосновении слоёв.

[1],(с. 62-65); [3],(с. 81-92); [7],(с. 170-206).

Пример 9

Определить тепловой поток через поверхность 1 м паропровода с внутренним диаметром 140 мм и толщиной стенки $\delta_1=5$ мм, изолированного двумя слоями тепловой изоляции $\delta_2=20$ мм и $\delta_3=40$ мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно $\lambda_1=55$ Вт/(м·К), $\lambda_2=0,037$ Вт/(м·К) и $\lambda_3=0,14$ Вт/(м·К). Температура на внутренней поверхности трубопровода $t_1=300^\circ\text{C}$ и наружной поверхности изоляции $t_2=55^\circ\text{C}$.

Решение.

Тепловые потери с поверхности 1 м паропровода:

$$q_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \cdot \ln \frac{d_4}{d_3}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (573 - 328)}{\frac{1}{55} \cdot \ln \frac{0,15}{0,14} + \frac{1}{0,037} \cdot \ln \frac{0,19}{0,15} + \frac{1}{0,14} \cdot \ln \frac{0,27}{0,19}} = 173 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Ответ: $q_l = 173 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$.

2.3 Теплопередача между стенкой жидкостью

При изучении темы необходимо сформировать представление о физическом смысле теплообмена между стенкой и жидкостью.

Следует уделить внимание изучению понятий теплоотдачи, закона Ньютона-Рихмана. Необходимо раскрывать физический смысл коэффициента теплоотдачи. Научится выполнять расчёты по определению плотности теплового потока в процессе теплоотдачи между стенкой и жидкостью.

[7],(с. 62-86)

2.4 Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки

При изучении темы необходимо сформировать представление сложном переносе тепла - теплопередачей. Следует уделить внимание изучению физического смысла коэффициента теплопередачи. Научится выполнять расчёты по определению коэффициента теплопередачи, термического сопротивления, теплового потока в процессе теплопередачи однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенки при стационарном режиме.

[1], (с. 80-83); [3], (с. 108-109).

Пример10

Определить количество теплоты, передаваемое от горячего теплоносителя с температурой $t_{ж1}=100^\circ\text{C}$ к холодному теплоносителю с температурой $t_{ж2} =$

–3 °С через цилиндрическую поверхность. Диаметр стальной трубы $d_1 = 420$ мм, толщина стенки трубы $\delta_1 = 6$ мм, коэффициент теплопроводности $\lambda_1 = 42$ Вт/(м·К). Труба имеет один слой тепловой изоляции толщиной $\delta_2 = 130$ мм, коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_2 = 0,6$ Вт/(м·К). Коэффициент теплоотдачи: от горячего теплоносителя к трубе $\alpha_1 = 3200$ Вт/м²·К и от изоляции к холодному теплоносителю $\alpha_2 = 5$ Вт/м²·К, длина трубы $l = 250$ м.

Решение:

Определяем наружный диаметр трубопровода и диаметр изоляции:

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot \delta_1 = 0,42 + 2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,432 \text{ м};$$

$$d_3 = d_2 + 2 \cdot \delta_2 = 0,432 + 2 \cdot 0,13 = 0,692 \text{ м}.$$

Определяем линейный коэффициент теплопередачи для цилиндрической стенки:

$$K_l = \frac{1}{\frac{1}{d_1 \cdot \alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{d_{n+1} \cdot \alpha_2}} = =$$

$$\frac{1}{\frac{1}{0,42 \cdot 3200} + \frac{1}{2 \cdot 42} \cdot \ln \frac{0,432}{0,42} + \frac{1}{2 \cdot 0,6} \cdot \ln \frac{0,692}{0,432} + \frac{1}{0,692 \cdot 5}} = 0,68 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}},$$

Линейная плотность теплового потока равна:

$$q_l = K_l \cdot \pi \cdot (T_{ж1} - T_{ж2}) = 0,68 \cdot 3,14 \cdot (373 - 270) = 219,9 \text{ Вт/м}.$$

Теплового потока двухслойной цилиндрической стенки определяем по формуле:

$$Q_l = q_l \cdot l = 219,9 \cdot 250 = 54975 \text{ Вт}.$$

Ответ: $Q_l = 54975$ Вт

2.5 Конвективный теплообмен

При изучении темы необходимо сформировать представление об основных положениях конвективного теплообмена, о природе возникновения движения жидкости вдоль стенки. Следует уделить внимание изучению режимов движения жидкости, критериям подобия и их физическому смыслу. Необходимо сформировать представление о критериальном уравнении. Научится выполнять расчёты теплообмена теплоотдачей при свободном движении жидкости, теплоотдаче при вынужденном течении жидкости в трубах; при поперечном обтекании пучков труб; при продольном обтекании пластины. Уделить внимание изучению теплообмена при кипении жидкости, механизму кипения жидкости, теплоотдаче при конденсации пара.

[1],(с. 67-76); [3],(с. 92-100); [7],(с. 213-298).

Пример 11

Гладкая плита, шириной $\delta = 0,1$ м и длиной $l = 4,1$ м, обдувается сухим воздухом со скоростью $\omega = 1,6$ м/с. Найти коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока, если температура стенки $t_{ст} = 73$ °С и средняя температура жидкости $t_{ж} = 15$ °С.

Решение:

Для определения режим движения жидкости, найдём число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot l_0}{\nu},$$

где l_0 – определяющий линейный размер, м (для плоской плиты $l_0 = 4,1$ м);
 ν – кинематическая вязкость воздуха при $t_{ж} = 15^{\circ}\text{C}$, пользуясь справочной таблицей определяем, $\nu = 14,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$$Re = \frac{1,6 \cdot 4,1}{14,52 \cdot 10^{-6}} = 451790. \text{ Число } Re > 10^4, \text{ т. е. движение жидкости}$$

турбулентное. Поэтому расчёт ведём по уравнению:

$$Nu_{ж} = 0,032 \cdot Re^{0,8} = 0,032 \cdot (451790)^{0,8} = 1069.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{l_0},$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, пользуясь справочной таблицей определяем при $t_{ж} = 15^{\circ}\text{C}$, $\lambda = 25,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{l_0} = \frac{25,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1069}{4,1} = 6,65 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Плотность теплового потока

$$q_l = \alpha \cdot (T_{ст} - T_{ж}) \cdot l_0 = 6,65 \cdot (346 - 288) \cdot 4,1 = 1581,4 \text{ Вт}.$$

Ответ: $q_l = 1581,4 \text{ Вт}$; $\alpha = 6,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

2.6 Теплообмен излучением

При изучении темы необходимо сформировать представление о природе теплового излучения, распределению энергии излучения. Следует уделить внимание изучению законов теплового излучения: Планка, Вина, Законы: Стефана-Больцмана, Ламберта, Кирхгофа. Научится выполнять расчёты теплообмена излучением в замкнутой системе, состоящей из двух серых тел; раскрывает сущность теплообмена излучением в поглощающей среде.

[1],(с. 76-80); [3],(с. 101-106); [7],(с. 313-328).

2.7 Сложный теплообмен

При изучении темы необходимо сформировать представление о сложном теплообмене, как совокупность процессов теплопроводности, конвекции и излучения, одновременно протекающих в системе.

[1],(с. 80-83); [3],(с. 107).

2.8 Теплообменные аппараты

При изучении темы необходимо сформировать представление о роли теплообменных аппаратов в технике, о понятии теплообменного аппарата. Следует уделить внимание изучению классификации теплообменных аппаратов, изучению схем движения теплоносителя, определению среднего температурного напора.

Необходимо обратить внимание на принципы расчёта теплообменников, составление уравнения теплового баланса, определения коэффициента теплопередачи. Научится выполнять расчёт теплообменного аппарата на основании уравнения теплового баланса

[1], (с. 85-86); [3],(с. 111-121);[7],(с. 328-343).

4 Задания для домашних контрольных работ

К выполнению заданий следует приступать после изучения соответствующих разделов учебного предмета. Каждое контрольное задание состоит из вопросов и задач. Работа состоит из 3 вопросов и 3 задач.

При выполнении домашней контрольной работы отвечать на вопросы и решать задачи следует, строго придерживаясь своего варианта. **Работы, не соответствующие своему варианту, не рассматриваются.**

Номера вопросов и задач в домашней контрольной работе определяют по таблицам 4.1, 4.2.

Варианты заданий определяют в зависимости от двух последних цифр номера обучающегося (по списку) и от последней цифры номера группы обучающегося.

Например, порядковый номер учащегося (по списку) 16 – соответственно предпоследняя цифра (десятки)-1 и последняя цифра шифра (единица)-6.

Номер группы 14-23- соответственно последняя цифра 3- нечётное число. Учащийся отвечает на вопросы и решает следующие варианты задач: 41,69,117.

Формулировки вопросов и условия задач в домашней контрольной работе нужно переписывать полностью. Решения задач должны сопровождаться краткими объяснениями и подробными вычислениями. При расчёте какой-либо величины нужно словами указать, какая величина определяется. В процессе решения задач необходимо сначала привести формулы, лежащие в основе вычислений, проделать с ними все выкладки (в буквенном выражении) и лишь затем подставлять.

Таблица 4.1- Варианты заданий (задачи и вопросы), номер группы заканчивается на чётное число

Предпоследняя цифра (десятки)	Последняя цифра шифра (единица)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	1,82,113	2,81,122	45,80,121	40,79,106	45,78,93	10,77,92	14,76,84	43,75,87	16,74,90
1	23,73,114	46,72,115	25,71,118	26,70,120	27,69,105	28,68,102	42,67,94	30,66,95	31,65,88	32,64,91
2	39,63,116	40,62,117	47,61,119	8,60,103	9,59,104	20,58,100	18,57,83	44,56,96	33,55,89	34,54,92

Таблица 4.2- Варианты заданий (задачи и вопросы), номер группы заканчивается на нечётное число

Предпоследняя цифра (десятки)	Последняя цифра шифра (единица)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	6,54, 102	51,55,103	8,56,104	44,57, 105	17,58,106	18,59,107	50,60,108	20,61,109	21,62,110
1	22,63,111	33, 64,112	34,65,113	43,66,122	6,67,115	10,68, 116	41,69,117	13,70,118	15,71,119	16,72,120
2	24,73,121	1,74,122	40,75,83	27,76 84	26,77, 100	25,78,85	23,79,86	42,80,87	3,81,88	2,82,89

Задача 1

Определить массовый состав смеси, удельный объем, плотность, газовую постоянную, а также парциальные давления компонентов газовой смеси, температура которой t , °С и давление p , МПа, если объёмный состав смеси r задан в процентах. Данные для расчёта принять по таблице 4.3.

Таблиц 4.3 - Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Объёмный состав смеси r_i, %													
CO ₂	12	14	15	12	10	11	12	12	13	16	10	14	13
O ₂	10	5	7	8	10	8	9	7	8	9	15	7	5
N ₂	78	81	78	80	80	81	79	81	79	75	75	79	82
Абсолютное давление p, МПа													
P	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,15	0,12	0,13	0,14	0,11	0,17	0,19
Температура t, °С													
t	530	520	510	430	440	450	490	480	460	420	500	420	470

Задача 2

Определить объёмный состав смеси, удельный объем, плотность, газовую постоянную, а также парциальные давления компонентов газовой смеси, температура которой t , °С и давление p , МПа, если массовому составу смеси g задан в процентах. Данные для расчёта принять по таблице 4.4.

Таблиц 4.4 - Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач													
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Массовому составу смеси g_i, %														
CO ₂	20,0	15,5	9,9	2,9	18,0	16,0	14,0	10,0	14,5	18,8	7	8	2,7	
H ₂ O	8,0	8,9	10,0	11,3	7,2	6,4	5,6	4,8	15,0	13,6	6,6	7,4	12,6	
N ₂	72,0	71,4	70,7	69,9	72,8	73,6	74,4	77,2	66,6	67,6	83,4	79,2	81,3	
O ₂	-	-	-	-	2	4	6	8	-	-	3	-	-	
CO	-	4,2	9,4	15,9	-	-	-	-	3,9	-	-	5,4	3,4	
Абсолютное давление p, МПа														
P	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,15	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,14	
Температура, °С														
t	300	320	310	330	340	350	390	380	360	370	310	320	340	

Задача 3

$V_1, \text{м}^3$, газа при абсолютном давлении p_1 , МПа и температуре t_1 , °С расширяется до увеличения объёма в N раз по изотермическому процессу. Определить параметры конечного состояния газа, количество теплоты, работу, а также изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии. Принять $R=290 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Данные для расчёта принять по таблице 4.5.

Таблиц 4.5 - Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач												
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Абсолютное давление p_1, МПа													
P ₁	5,5	5,8	6,0	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	7,0	7,2	5,6	6,1
Объем V_1, м³													
V ₁	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,6	0,5	0,4
Температура, t_1, °С													
t ₁	118	183	185	187	189	203	193	195	213	193	220	240	260
Расширяется в N раз													
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Задача 4

V_1 , м³, газа при абсолютном давлении p_1 , МПа и температуре t_1 , °С расширяется до увеличения объёма в N раз по адиабатному процессу при $\kappa = 1,4$. Определить параметры конечного состояния газа, количество теплоты, работу, а также изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии. Принять $c_v = 0,7$ кДж/(кг·К) и $R = 290$ Дж/(кг·К). Данные для расчёта принять по таблице 4.6.

Таблиц 4.6 - Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач												
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Абсолютное давление p_1, МПа													
P_1	5,5	5,8	6,0	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	7,0	7,2	5,6	6,1
Объем V_1, м³													
V_1	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,6	0,5	0,4
Температура t_1, °С													
t_1	118	183	185	187	189	203	193	195	213	193	220	240	260
Расширяется в N раз													
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Задача 5

1 кг водяного пара с начальным давлением p_1 и степенью сухости x_1 расширяется по изобарному процессу в процессе подводится теплота q , кДж/кг. Определить, пользуясь h,s - диаграммой, параметры конечного состояния пара, работу расширения, изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии. Данные, необходимые для решения задачи, принять по таблице 4.7.

Таблиц 4.7 - Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
Начальное давление p_1, МПа										
P_1	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Степенью сухости x_1										
x_1	0,85	0,87	0,88	0,90	0,87	0,91	0,92	0,93	0,95	0,98
Подводимая теплота q_1, кДж/кг										
q	500	480	460	440	420	400	430	450	470	490

Задача 6

1 кг водяного пара, при начальном давлении p_1 , МПа и начальной температуре t_1 , °С расширяются адиабатно до конечного давления p_2 , кПа. Определить параметры конечного состояния и работу расширения пара. Изобразить процесс в диаграммах h,s . Данные, необходимые для решения задачи, принять по таблице 4.8.

Таблиц 4.8- Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Начальное давление p_1, МПа										
P_1	2,5	2,0	3,6	12,0	5,0	4,0	9,0	15,0	3,0	10,0
Начальная температура t_1, °С										
t_1	350	320	340	550	450	440	500	550	320	600
Конечное давление p_2, кПа										
P_2	5,00	50,0	10,0	20,0	6,00	3,00	6,00	80,0	30,0	60,0

Задача 7

Перегретый пар при давлении p_1 , бар и температуре t_1 , °С расширяется по адиабате до $p_2 = 0,1$ бар. Определить по h,s диаграмме конечное состояние пара, изменение

внутренней энергии, работу расширения. Изобразить процесс в h,s -диаграмме. Данные, необходимые для решения задачи, принять по таблице 4.9.

Таблиц 4.9- Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
Начальное давление p_1, бар										
p_1	22	24	26	28	30	35	40	20	38	15
Начальная температура $t_1, ^\circ\text{C}$										
t_1	500	450	500	460	470	480	490	510	520	530

Задача 8

Внутренний диаметр стальной трубы $d_{\text{вн}}=200$ мм, наружный $d_{\text{нар}}=220$ мм, с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{т}} = 50$ Вт/(м·К). Стальная труба покрыта трёхслойной изоляцией. Толщина первого слоя изоляции $\delta_{\text{из1}}$, мм ($\lambda_{\text{из1}} = 0,2$ Вт/(м·К)), толщина второго слоя изоляции $\delta_{\text{из2}}$, мм ($\lambda_{\text{из2}} = 0,1$ Вт/(м·К)); толщина третьего слоя изоляции $\delta_{\text{из3}}$, мм ($\lambda_{\text{из3}} = 0,169$ Вт/(м·К)). Температура внутренней поверхности трубы $t_{\text{вн}}, ^\circ\text{C}$ и наружной поверхности изоляции $t_{\text{н}} = 50^\circ\text{C}$. Определить потери тепла через изоляцию с одного погонного метра трубопровода. Температуры на границах соприкосновения отдельных слоёв.

Данные, необходимые для решения задачи, принять по таблице 4.10.

Таблиц 4.10- Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
Толщина первого слоя изоляции										
$\delta_{\text{из1}}$, мм	25	35	45	50	55	20	30	40	28	38
Толщина второго слоя изоляции										
$\delta_{\text{из2}}$, мм	80	90	100	75	95	90	100	75	95	60
Толщина третьего слоя изоляции										
$\delta_{\text{из3}}$, мм	10	20	15	30	10	20	15	30	20	15
Температура внутренней поверхности трубы										
$t_{\text{вн}}, ^\circ\text{C}$	470	370	540	270	170	250	210	310	320	340

Задача 9

Камера сгорания выполнена из кирпича толщиной $\delta_{\text{к}} = 250$ мм, коэффициент теплопроводности кирпича $\lambda_{\text{к}} = 0,9$ Вт/(м·К). Снаружи стенки камеры изолированы двойным слоем изоляции. Первый слой изоляции толщиной $\delta_{\text{из1}}$, мм ($\lambda_{\text{из1}} = 0,08$ Вт/(м·К)), второй наружный слой изоляции толщиной $\delta_{\text{из2}}$, мм ($\lambda_{\text{из2}} = 0,15$ Вт/(м·К)). Температура газов в камере сгорания $t_{\text{г1}}, ^\circ\text{C}$, температура воздуха в помещении $t_{\text{г2}}, ^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к кирпичной стенке α_1 , Вт/(м·К), а от наружной поверхности изоляции к воздуху помещения $\alpha_2 = 10$ Вт/(м·К)

Определить коэффициент теплопередачи, плотность теплового потока, и температуры на границе слоёв обмуровки. Данные, необходимые для решения задачи, принять по таблице 4.11.

Таблиц 4.11- Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102

Первый слой изоляции толщиной										
$\delta_{из1}, \text{мм}$	190	180	150	230	265	240	195	270	220	300
Второй наружный слой изоляции толщиной										
$\delta_{из2}, \text{мм}$	100	70	130	140	135	140	155	165	170	130
Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к кирпичной стенке										
$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	100	80	70	130	60	90	80	150	250	150
Температура газов в камере сгорания										
$t_{г1}, \text{°C}$	1150	1000	1100	1200	1250	1050	1020	1105	1120	1102
Температура воздуха в помещении										
$t_{г2}, \text{°C}$	20	22	24	26	28	30	19	15	25	27

Задача 10

Внутренний диаметр паропровода $d_{вн}$, мм, наружный $d_{нар}$, мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{т} = 40 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Наружная сторона трубки омывается газами с температурой $t_{г1}$, °C, а внутри трубок движется вода с температурой $t_{г2}$, °C. Снаружи трубка покрыта слоем сажи толщиной $\delta_{с} = 1,5 \text{ мм}$ ($\lambda_{с} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), а с внутренней стороны — слоем накипи толщиной $\delta_{н} = 2,5 \text{ мм}$ ($\lambda_{н} = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$). Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубки $\alpha_1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, а со стороны воды $\alpha_2, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Определить линейную плотность теплового потока для трубки парового котла, а также температуры на поверхностях трубки, сажи и накипи.

Данные, необходимые для решения задачи, принять по таблице 4.12.

Таблиц 4.12- Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
Внутренний диаметр паропровода										
$d_{вн}, \text{мм}$	30	36	42	32	38	44	34	40	46	35
Наружный диаметр паропровода										
$d_{нар}, \text{мм}$	36	44	51	38	46	54	40	48	55	42
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке										
$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	100	220	320	120	250	350	150	300	400	200
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде										
$\alpha_2, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	9000	2500	4000	1000	3000	5000	1500	3500	6000	2000
Температура газов в камере сгорания										
$t_{г1}, \text{°C}$	800	920	1000	830	950	1030	960	970	1060	900
Температура воздуха в помещении										
$t_{г2}, \text{°C}$	150	240	300	170	260	320	200	280	250	220

Задача 11

Определить тепловой поток, характеризующий конвективную теплоотдачу к среде, протекающей по горизонтальной трубе длиной 3 м.

Исходные данные принять по таблице 4.13.

Таблиц 4.13- Варианты индивидуальных заданий

Наименование	Варианты задач									
	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
Род среды										

Среда	Воздух	Вода	Вода	Воздух	Воздух	Воздух	Вода	Воздух	Вода	Вода
Внутренний диаметр трубопровода										
$d_{вн}, \text{мм}$	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Средняя скорость потока, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$										
$\omega, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	10	3,9	5	6	4	2,25	2,8	1,9	0,55	1,2
Температура стенки трубы										
$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	10	15	30	120	90	5	15	60	85	45
Температура жидкости										
$t_{ж}, ^\circ\text{C}$	150	240	300	170	260	320	200	280	250	220

Перечень вопросов контрольной работы

1. Термодинамическая система, её взаимодействие с окружающей средой; параметры состояния рабочего тела.
2. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температуры.
3. Термическое уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная, газовая постоянная данного газа.
4. Закон Авогадро и универсальная газовая постоянная.
5. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона.
6. Дать определение массовой, объёмной и мольной теплоёмкостям. В каких единицах они определяются?
7. Дайте определение средней и истинной теплоёмкости. Как определить среднюю теплоёмкость в интервале от t_1 до t_2 , пользуясь таблицами теплоёмкости от 0°C до $^\circ\text{C}$?
8. Теплоёмкость идеальных газов: теплоёмкости c_p и c_v , связь между ними; зависимость теплоёмкости от температуры
9. Что понимается под внутренней энергией идеальных газов, и от каких параметров она зависит? Является ли внутренняя энергия функцией состояния или процесса?
- 10.1-й закон термодинамики: формулировки, аналитическое выражение применительно к термодинамическим процессам.
11. Функции состояния рабочего тела: внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, их изменение в термодинамических процессах идеального газа.
12. Функции процесса с рабочим телом: теплота и работа (механическая), их вычисления в термодинамических процессах идеального газа.
13. Адиабатный процесс идеального газа в p, v - и T, s - диаграммах. Соотношение между параметрами состояния в адиабатном процессе. Уравнение 1-го закона термодинамики применительно к адиабатному процессу.
14. Изотермический процесс идеального газа в p, v - и T, s - диаграммах, работа и количество теплоты в этом процессе, изменение энтропии. Уравнение 1-го закона термодинамики применительно к изотермическому процессу.
15. Изобарный процесс идеального газа в p, v - и T, s - диаграммах. Вычисление работы и количества теплоты; изменение энтропии. Уравнение 1-го закона термодинамики применительно к процессу.
16. Основные термодинамические процессы идеальных газов в p, v - и T, s - диаграммах.

- 17.Изохорный процесс идеального газа; изображение в p,v - и T,s - диаграммах. Уравнение 1-го закона термодинамики применительно к процессу.
- 18.Дайте определение круговых процессов (циклов) термодинамики. Виды циклов.
- 19.Обратимые циклы, оценка эффективности прямых и обратных циклов.
- 20.Прямой цикл Карно, его термический КПД. Теорема Карно.
- 21.Парообразование и конденсация (водяного пара). Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Степень сухости пара.
- 22.Парообразование в p,v - и T,s - диаграммах, пограничные кривые, степень сухости и влажность пара. Критическая точка для воды.
23. T,s - диаграмма водяного пара. Основные процессы водяного пара в диаграмме.
- 24.Влажный насыщенный пар и его параметры. Энтальпия и энтропия влажного пара
- 25.Изобарный процесс водяного пара. Изображение в p,v - и T,s -диаграммах. Уравнение 1-го закона термодинамики применительно к этому процессу.
- 26.Истечение водяного пара. Скорость истечения.
- 27.Истечение газов через комбинированное сопло. Сверхкритическая скорость истечения.
- 28.Адиабатное течение газов в каналах. Истечение идеального газа через сужающееся сопло.
- 29.Уравнение процесса дросселирования. Техническое применение процесса дросселирования. Дросселирование идеальных газов.
- 30.Дросселирование газов и паров. Различия при дросселировании газов и паров.
- 31.Как изменяется степень сухости и перегрев пара при дросселировании?
- 32.Опишите скорость истечения и массовый расход при истечении из сопла.
- 33.Что называют соплами и диффузорами и какая скорость истечения идеального газа из суживающего сопла?
- 34.Истечение водяного пара из суживающего сопла и сопла Лаваля и его особенности.
- 35.Опишите сопло Лаваля. Как определить критическую скорость и критические параметры газа при истечении из сопла?
- 36.Какой процесс называется дросселированием? Его применение. Напишите уравнение дросселирования.
- 37.Какие величины изменяются при дросселировании идеальных газов и водяного пара?
- 38.Как изображается процесс дросселирования водяного пара на h,s - диаграмме?
- 39.Назначение и типы компрессоров. Изображение работы компрессора в p,v - диаграмме.
- 40.Почему применяют многоступенчатый компрессор? Дать описание многоступенчатого компрессора.
- 41.Многоступенчатое сжатие в компрессоре в p,v - диаграмме; мощность, затраченная на привод компрессора.
- 42.Цикл газотурбинной установки: работа установки, изображение в p,v - диаграмме (цикл с подводом теплоты при $p=\text{const}$), термический КПД.

43. Методы повышения КПД циклов газотурбинных установок.
44. Цикл газотурбинной установки в подводом теплоты при постоянном объёме: изображение в p, v - диаграмме и термический КПД.
45. Цикл карбюраторного бензинового двигателя: работа двигателя, изображение в p, v - диаграмме, термический КПД.
46. Цикл дизельного двигателя: работа дизеля, изображение в p, v - диаграмме, термический КПД.
47. На какие группы делятся двигатели внутреннего сгорания (ДВС)? Опишите основные характеристики циклов.
48. Дать описание цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) со смешанным подводом теплоты. Опишите теоретический КПД цикла ДВС.
49. Паротурбинный цикл Ренкина: схема паротурбинной установки, изображение в p, v - и T, s - диаграммах, термический КПД, удельный расход пара.
50. Паротурбинный цикл с промежуточным перегревом пара в h, s - диаграмме; термический КПД цикла.
51. Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина.
52. Рабочее тело паросиловых установок. Почему в паросиловых установках не используется цикл Карно?
53. Изобразите цикл Ренкина в координатах p, v ; T, s и h, s .
54. Изобразите принципиальную схему паросиловой установки Ренкина. Как влияют начальные параметры пара на термический КПД цикла Ренкина?
55. Изобразите в координатах T, s цикла паросиловой установки с предельной регенерацией.
56. Изобразите в координатах T, s цикл паросиловой установки с промежуточным перегревом пара.
57. Дать описание цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с подводом теплоты при постоянном объёме. Опишите теоретический КПД цикла ДВС.
58. Дайте описание газотурбинной установки ГТУ с подводом теплоты при постоянным давлением.
59. Дайте описание газотурбинной установки ГТУ с подводом теплота с постоянным объёмом.
60. Опишите цикл паросиловой установки и дайте его схему.
61. Дайте описание цикла Ренкина паросиловой установке.
62. Опишите цикл паротурбинной установки с перегревом пара на h, s - диаграмме.
63. Опишите паротурбинной установки с вторичным перегревом пара на h, s - диаграмме.
64. Дайте описание регенеративного цикла паротурбинной установки и её схемы.
65. Влажный воздух. Относительная влажность воздуха. Влагосодержание и энтальпия влажного воздуха, h, d - диаграмма. Температура точки росы.
66. Влажный воздух: определение относительной влажности воздуха. Температура мокрого термометра.

67. Что называют влажным воздухом? Опишите абсолютную и относительную влажность воздуха.
68. Что обозначает температура точки росы, её определение. Что называется влагосодержанием воздуха? Пределы его изменения.
69. Опишите h, d -диаграмму влажного воздуха.
70. Опишите термодинамические процессы с влажным воздухом и как они изображаются на h, d -диаграмме.
71. Значение теплопередачи в технике. Опишите основные способы теплообмена.
72. Дайте определение температурного поля. Назовите характеристики температурного поля. Приведите примеры.
73. Опишите механизм процесса теплопроводности.
74. Сформулируйте закон теплопроводности Фурье. Дайте пояснение к величинам, входящим в аналитическое выражение закона; приведите единицы измерения этих величин.
75. Что называется коэффициентом теплопроводности? Опишите особенности теплопроводности различных веществ.
76. Дайте объяснение понятиям: тепловой поток, поверхностная плотность теплового потока, линейная плотность теплового потока; приведите их единицы.
77. Какую роль играет коэффициент теплопроводности в расчётах теплопроводности твёрдых тел? Приведите числовые значения этого коэффициента для серебра, нержавеющей стали, бетона, минеральной ваты и воздуха при нормальных условиях.
78. Сформулируйте закон теплоотдачи Ньютона-Рихмана. Дайте пояснение к величинам, входящим в аналитическое выражение закона; проиллюстрируйте графиком характер изменения температуры жидкости вблизи поверхности теплообмена.
79. Как производится определение теплового потока при теплоотдаче? Дайте описание теплообмена между телом и окружающей средой.
80. Опишите передачу тепла через плоскую стенку при теплопередаче. Что называется теплопередачей?
81. Опишите передачу тепла через многослойную стенку при теплопередаче. Что называется теплопередачей?
82. Как определяется температура поверхностей плоской стенки при теплопередаче?
83. Опишите передачу тепла через стенки цилиндрической формы при теплопередаче.
84. Коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку. От каких величин зависит коэффициент теплоотдачи?
85. Что называется критическим диаметром тепловой изоляции и как он определяется?
86. Что называется конвективным теплообменом, и какие различают виды конвекции?
87. Какие встречаются виды движения жидкости и их различия. Значение критерия Рейнольдса.

88. Какие факторы влияют на конвективный теплообмен?
89. Какие условия лежат в основе теории подобия?
90. Какие критериальные уравнения рекомендуют при ламинарном течении жидкости в трубах?
91. Как протекает теплообмен при турбулентном движении жидкости в трубах?
92. Как происходит теплообмен при поперечном обтекании одиночной трубы?
93. Как происходит теплообмен при поперечном обтекании пучка труб?
94. Как происходит теплообмен при свободном движении жидкости?
95. При каких условиях возникают процессы кипения и конденсации жидкости?
96. Какие уравнения рекомендуют для определения коэффициента теплопередачи при пузырьковом кипении жидкости?
97. Дайте описание плёночной и капельной конденсации. Условия существования этих процессов.
98. Опишите условия протекания процесса конденсации.
99. Опишите влияние скорости движения пара на теплоотдачу при конденсации.
100. Опишите влияние примеси в паре неконденсирующихся газов на теплоотдачу при конденсации.
101. Опишите явление перехода от пузырькового режима кипения к плёночному.
102. Какие различают виды конденсации, и от чего зависит величина коэффициента теплоотдачи при конденсации?
103. Как влияют примеси газа на теплоотдачу при конденсации?
104. Природа лучистой энергии. Как различают лучи между собой?
105. На какие части делится лучистый поток? Что называется коэффициентом поглощения и проницаемости?
106. Поясните следующие термины: излучательная способность, спектральная плотность излучения, интегральная интенсивность излучения. Укажите их единицы измерения.
107. Опишите закон излучения абсолютно чёрного тела - закон Стефана-Больцмана.
108. Опишите закон излучения абсолютно чёрного тела - закон Планка.
109. Что называется абсолютной белой, абсолютной чёрной, прозрачной и серой поверхностью?
110. Что называется лучеиспускательной способностью тела и интенсивностью излучения?
111. В чём сущность основного закона поглощения? Закон и его графическое изображение.
112. Закон Вина и его значение.
113. Закон Стефана-Больцмана.
114. Закон Кирхгофа.
115. Закон Ламберта. Для каких тел он справедлив?
116. Как происходит лучистый теплообмен между параллельными пластинами? Назначение экранов.
117. Как происходит лучистый теплообмен, когда одно тело находится внутри другого?

118. Что такое сложный теплообмен? Как определяется суммарный коэффициент теплоотдачи?
119. Назначение и классификация теплообменных аппаратов.
120. На какие группы делятся теплообменные аппараты? По каким схемам осуществляется движение жидкостей в теплообменных аппаратах?
121. По каким схемам осуществляется движение теплоносителей? Изобразите графики изменения температур теплоносителей в аппаратах с прямотоком и противотоком.
122. Что называется теплообменным аппаратом? Как определяется среднелогарифмический температурный напор в аппаратах с прямотоком и противотоком.

5 Оценка результатов учебной деятельности

По результатам выполненной домашней контрольной работы выставляется отметка «зачтено». Отметка «не зачтено» выставляется, если в

домашней контрольной работе не раскрыты теоретические вопросы, задания, или ответы на них полностью переписаны из учебной литературы, без адаптации к конкретному заданию, если имеются грубые ошибки в решении задач, выполнении графического задания.

В конце домашней контрольной работы преподаватель пишет рецензию на работу. Объем рецензии зависит от качества выполненной контрольной работы.

В конце рецензии проставляются отметки «зачтено» или «не зачтено», ставится дата и подпись преподавателя, написавшего рецензию. Эта же запись дублируется на обложке домашней контрольной работы.

Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся по учебному предмету (модулю) «Теоретические основы теплотехники» при сдаче экзамена.

Отметка в баллах	Показатели оценки по учебным предметам (модулю)
1 (один)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (основных понятий, параметров термодинамических процессов, тепловых явлений, физических величин, единиц физических величин, формул, графиков, номограмм и т. д.); осуществление соответствующих практических действий
2 (два)	Воспроизведение части программного учебного материала по памяти (фрагментарный пересказ и перечисление изученных понятий в области технической термодинамики, теории тепломассообмена, формулировок законов, правил, принципов, параметров термодинамических процессов и т. д.); осуществление умственных и практических действий по образцу
3 (три)	Воспроизведение большей части программного учебного материала ((описание с элементами объяснения- термодинамических процессов и циклов, условий протекания процессов, свойств влажного воздуха сущности процессов теплопроводности, конвективного теплообмена, теплообмена излучением, теплопередачи и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу; наличие единичных существенных ошибок
4 (четыре)	Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (описание с объяснением изученных термодинамических процессов и циклов, условий протекания процессов, свойств влажного воздуха сущности процессов теплопроводности, конвективного теплообмена, теплообмена излучением, теплопередачи и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу; наличие несущественных ошибок
5 (пять)	Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описание и объяснение изученных термодинамических процессов и циклов, условий протекания процессов, свойств влажного воздуха с объяснением основных законов идеального газа, термодинамических основ работы тепловых машин, холодильных установок, сущности процессов теплопроводности конвективного теплообмена, теплообмена излучением, теплопередачи и т. д.); выполнение заданий по образцу, на основе предписаний; наличие несущественных ошибок

6 (шесть)	Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (развёрнутое описание и объяснение изученных термодинамических процессов и циклов, условий протекания процессов, свойств влажного воздуха, сущности процессов теплопроводности, конвективного теплообмена, теплообмена излучением, теплопередачи, условий их протекания и расчётных зависимостей, процессов тепломассообмена в теплообменных аппаратах и т. д.; формулирование выводов); недостаточно самостоятельное выполнение заданий; наличие единичных несущественных ошибок
7 (семь)	Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (развёрнутое описание и объяснение изученных термодинамических процессов и циклов, условий протекания процессов, раскрытие сущности основных законов идеального газа, обоснование зависимости теплоёмкости от условий протекания термодинамических процессов, описание с объяснением процессов тепломассообмена в теплообменных аппаратах, обоснование применяемых ракетных зависимостей и т. д., методик; формулирование выводов); самостоятельное выполнение заданий; наличие единичных несущественных ошибок
8 (восемь)	Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации; самостоятельное выполнение заданий; оперирование программным материалом в частично изменённой ситуации; наличие единичных несущественных ошибок
9 (девять)	Полное, прочное, глубокое системное знание программного учебного материала, свободное оперирование программным материалом в частично изменённой ситуации (применение учебного материала при выдвижении предположений и гипотез, поиске новых способов и рациональных путей решения учебных задач, при выполнении заданий творческого характера и т. д.)
10 (десять)	Свободное оперирование программным учебным материалом; применение знаний и умений в незнакомой ситуации (самостоятельные действия по описанию, объяснению изученных явлений, процессов, методик); предложение новых подходов к организации процессов, наличие элементов творческого характера при выполнении заданий

Рекомендуемая литература

Основная:

1. Ерохин, В.Г., Маханько, М.Г. Основы термодинамики и теплотехники: учебник / В.Г.Ерохин, М.Г.Маханько. 2-е изд. — Москва:Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 224 с.

2. Захарова А.А. Техническая термодинамика и теплотехника: учеб.пособие для вузов/ Л.Т.Бахшиева, Б.П.Кондауров, А.А.Захаров, В.С. Салтыкова— 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 272 с.
3. Лахмаков, В. С. Основы теплотехники и гидравлики: учебное пособие/ В. С. Лахмаков, В. А. Коротинский. — Минск: РИПО, 2019. — 220 с.
4. Прибытков И. А. Теоретические основы теплотехники: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.А. Прибытков, И.А. Левицкий; Под ред. И. А. Прибыткова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 464 с.

Дополнительная:

5. А.А. Александрова, Б.А. Григорьева «Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара». -М., 1999). - Иваново [б. и.], 2003.-1 с. - [Диаграммы h , s - водяного пара].
6. Ерохин, В.Г., Маханько, М.Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники: учебное пособие для среднего профессионального образования/ В.Г.Ерохин, М.Г.Маханько.- Москва:Энергия,1979.-240 с.
7. Костеров, Ф. И. Теоретические основы теплотехники: учеб.пособие / Ф, И. Костеров, В. И. Кушнырев.Москва:Энергия, 1978. - 360 с.
8. Краснощеков, Е.П., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче: учебное пособие для вузов / Е.П. Краснощеков, А.С. Сукомел. 4-е изд. перераб. Москва: Энергия, 1980. - 288 с.
9. Кузовлев, В. А. Техническая термодинамика: учеб. / В. А. Кузовлев. Москва: Высшая школа, 1983. - 335 с.
10. Физические величины: справочник / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 214 с.

Стандарты

11. ГОСТ 8.430-88. Государственная система обеспечения единства измерений. Обозначения единиц физических величин для печатающих устройств с ограниченным набором знаков. Москва: Издательство стандартов, 1988. -25 с.

Приложения

Приложение А

Физические постоянные некоторых газов

Газ	Химическая формула	Относительная молекулярная масса, кг/кмоль	Газовая постоянная, Дж/кг	Плотность газа, кг/м ³
Кислород	O ₂	32	259,8	1,429
Водород	H ₂	2	4124,3	0,090
Азот	N ₂	28	296,8	1,250
Оксид углерода	CO	28	296,8	1,250
Воздух	—	28,96	287	1,293
Углекислый газ	CO ₂	44	189	1,977
Водяной пар	H ₂ O	18	481,6	0,804
Гелий	He	4	2077,2	0,178
Аргон	Ar	40	208,2	1,784
Аммиак	N H ₃	17	488,2	0,771
Ацетилен	C ₂ H ₂	26	320	1,171
Бензол	C ₆ H ₆	78,1	106	-
Бутан	C ₄ H ₁₀	58,1	143	2,673
Оксид азота	NO ₂	46	181	-
Оксид серы	SO ₂	64,1	130	2,93
Метан	CH ₄	16	519	0,72
Пропан	C ₃ H ₈	44,1	189	2,02
Пропилен	C ₃ H ₆	42,1	198	1,91
Сероводород	H ₂ S	34,1	244	1,54
Хлор	Cl ₂	70,9	117	3,22
Этилен	C ₂ H ₄	28,1	297	1,26
Этан	C ₂ H ₆	30,1	277	1,36

Приложение Б

Таблицы истинных удельных теплоёмкостей некоторых газов и водяного пара

Б.1-Истинные удельные теплоёмкости воздуха и азота

Воздух			Азот (N ₂)		
<i>t</i> , °C	<i>c_p</i> , кДж/(кг·К)	<i>c_v</i> , кДж/(кг·К)	<i>t</i> , °C	<i>c_p</i> , кДж/(кг·К)	<i>c_v</i> , кДж/(кг·К)
—50	1,0019	0,7147	—50	1,0387	0,7419
0	1,0032	0,7159	0	1,0387	0,7419
50	1,0057	0,7184	50	1,0400	0,7432
100	1,0098	0,7226	100	1,0421	0,7444
200	1,0241	0,7369	200	1,0517	0,7549
300	1,0446	0,7574	300	1,0693	0,7725
400	1,068a	0,7808	400	1,0911	0,7942
500	1,0919	0,8047	500	1,1158	0,8189
600	1,1149	0,8277	600	1,1396	0,8428
700	1,1355	0,8487	700	1,1618	0,8633
800	1,1547	0,8675	800	1,1824	0,8855
900	1,1706	0,8834	900	1,1999	0,9031
1000	1,1844	0,8972	1000	1,2154	0,9186
1100	1,1970	0,9098	1100	1,2292	0,9324
1200	1,2079	0,9207	1200	1,2414	0,9445
1300	1,2179	0,9307	1300	1,2518	0,9550
1400	1,2267	0,9295	1400	1,2615	0,9646
1500	1,2347	0,9475	1500	1,2694	0,9726

Б.2- Истинные удельные теплоёмкости кислорода и двуокиси углерода

Кислород (O ₂)			Двуокись углерода (CO ₂)		
<i>t</i> , °C	<i>c_p</i> , кДж/(кг·К)	<i>c_v</i> , кДж/(кг·К)	<i>t</i> , °C	<i>c_p</i> , кДж/(кг·К)	<i>c_v</i> , кДж/(кг·К)
—50	0,9102	0,6502	-50	0,7612	0,5723
0	0,9136	0,6536	0	0,8173	0,6284
50	0,9215	0,6615	50	0,8688	0,6799
100	0,9328	0,6728	100	0,9156	0,7268
200	0,9630	0,7030	200	0,9948	0,8060
300	0,9948	0,7348	300	1,0601	0,8713
400	1,0237	0,7637	400	1,1137	0,9249
500	1,0480	0,7880	500	1,1585	0,9697
600	1,0689	0,8089	600	1,1962	1,0073
700	1,0860	0,8260	700	1,2276	1,0387
800	1,0999	0,8399	800	1,2544	1,0655
900	1,1120	0,8520	900	1,2766	1,0877
1000	1,1225	0,8625	1000	1,2958	1,1070

1100	1,1317	0,8717	1100	1,3126	1,1237
1200	1,1401	0,8801	1200	1,3264	1,1376
1300	1,1476	0,8876	1300	1,3389	1,1501
1400	1,1551	0,8951	1400	1,3494	1,1606
1500	1,1627	0,9027	1500	1,3590	1,1702

Б.3- Истинные удельные теплоёмкости водорода и водяного пара

Водород (H ₂)			Водяной пар (H ₂ O)		
<i>t</i> , °C	<i>c_p</i> , кДж/(кг·К)	<i>c_v</i> , кДж/(кг·К)	<i>t</i> , °C	<i>c_p</i> , кДж/(кг·К)	<i>c_v</i> , кДж/(кг·К)
-50	13,808	9,684			
0	14,189	10,065	0	1,8606	1,3992
50	14,365	10,241	50	1,8711	1,4097
100	14,436	10,312	100	1,8899	1,4285
200	14,499	10,375	200	1,9393	1,4779
300	14,532	10,408	300	2,0000	1,5386
400	14,578	10,454	400	2,0649	1,6035
500	14,658	10,534	500	2,1328	1,6714
600	14,779	10,655	600	2,2027	1,7413
700	14,938	10,814	700	2,2734	1,8120
800	15,118	10,994	800	2,3442	1,8828
900	15,320	11,196	900	2,4133	1,9519
1000	15,525	11,401	1000	2,4794	2,0180
1100	15,734	11,610	1100	2,5418	2,0804
1200	15,952	11,828	1200	2,6000	2,1386
1300	16,165	12,041	1300	2,6540	2,1926
1400	16,374	12,250	1400	2,7038	2,2424
1500	16,580	12,456	1500	2,7495	2,2881

Приложение В

Параметры насыщенного водяного пара по давлениям

$p, \text{МПа}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ v'	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ v''	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ρ	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ h'	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ h''	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ r	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ s'	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ s''
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,001	6,92	0,0010001	129,9	0,00770	29,32	2513	2484	0,1054	8,975
0,002	17,51	0,0010014	66,97	0,01493	73,52	2533	2459	0,2609	8,722
0,003	24,10	0,0010028	45,66	0,02190	101,04	2545	2444	0,3546	8,576
0,004	28,98	0,0010041	34,81	0,02873	121,42	2554	2433	0,4225	8,473
0,005	32,88	0,0010053	28,19	0,03547	137,83	2561	2423	0,4761	8,393
0,006	36,18	0,0010064	23,74	0,04212	151,50	2567	2415	0,5207	8,328
0,008	41,54	0,0010085	18,10	0,05525	173,9	2576	2402	0,5927	8,227
0,010	45,84	0,0010103	14,68	0,06812	191,9	2584	2392	0,6492	8,149
0,011	47,72	0,0010111	13,40	0,07462	199,7	2588	2388	0,6740	8,116
0,012	49,45	0,0010119	12,35	0,08097	207,0	2591	2384	0,6966	8,085
0,014	52,58	0,0010133	10,69	0,09354	220,1	2596	2376	0,7368	8,031
0,016	55,34	0,0010147	9,429	0,10600	231,7	2601	2369	0,7722	7,984
0,018	57,82	0,0010159	8,444	0,1185	241,9	2605	2363	0,8038	7,944
0,020	60,08	0,0010171	7,647	0,1308	251,4	2609	2358	0,8321	7,907
0,025	64,99	0,0010199	6,202	0,1612	272,0	2618	2346	0,8934	7,830
0,030	69,12	0,0010222	5,226	0,1913	289,3	2625	2336	0,9441	7,769
0,050	81,35	0,0010299	3,239	0,3087	340,6	2645	2204	1,0910	7,593
0,075	91,80	0,0010372	2,216	0,4512	384,5	2663	2278	1,2130	7,456
0,10	99,64	0,0010432	1,694	0,5903	417,4	2675	2258	1,3026	7,360

0,12	104,81	0,0010472	1,429	0,6999	439,4	2683	2244	1,3606	7,298
0,14	109,33	0,0010510	1,236	0,8088	458,5	2690	2232	1,4109	7,246
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,16	113,32	0,0010543	1,091	0,9164	475,4	2696	2221	1,4550	7,202
0,20	120,23	0,0010605	0,8854	1,129	504,8	2707	2202	1,5302	7,127
0,26	128,73	0,0010685	0,6925	1,444	540,9	2719	2178	1,621	7,040
0,30	133,54	0,0010733	0,6057	1,651	561,4	2725	2164	1,672	6,992
0,40	143,62	0,0010836	0,4624	2,163	604,7	2738	2133	1,777	6,897
0,50	151,84	0,0010927	0,3747	2,669	640,1	2749	2109	1,860	6,822
0,60	158,84	0,0011007	0,3156	3,169	670,5	2757	2086	1,931	6,761
0,80	170,42	0,0011149	0,2403	4,161	720,9	2769	2048	2,046	6,663
1,0	179,88	0,0011273	0,1946	5,139	762,7	2778	2015	2,138	6,587
1,2	187,95	0,0011385	0,1933	6,124	798,3	2785	1987	2,216	6,523
1,4	195,04	0,0011490	0,1408	7,103	830,0	2790	1960	2,284	6,469
1,6	201,36	0,0011586	0,1238	8,080	858,3	2793	1935	2,344	6,422
1,8	207,10	0,0011678	0,1104	9,058	884,4	2796	1912	2,397	6,379
2,0	212,37	0,0011766	0,09958	10,041	908,5	2799	1891	2,447	6,340
2,5	223,93	0,0011972	0,07993	12,51	961,8	2802	1840	2,554	6,256
3,0	233,83	0,0012163	0,06665	15,00	1008,3	2804	1796	2,646	6,186
4,0	250,33	0,0012520	0,04977	20,09	1087,5	2801	1713	2,796	6,070
5,0	263,91	0,0012857	0,03944	25,35	1154,4	2794	1640	2,921	5,973
6,0	275,56	0,0013185	0,03243	30,84	1213,9	2785	1570,8	3,027	5,890
7,0	285,80	0,0013510	0,02737	36,54	1267,4	2772	1504,9	3,122	5,814
8,0	294,98	0,0013838	0,02352	42,52	1317,0	2758	1441,1	3,208	5,745
9,0	303,32	0,0014174	0,02048	48,83	1363,7	2743	1379,3	3,287	5,678
10,0	310,96	0,0014521	0,01803	55,46	1407,7	2725	1317,0	3,360	5,615
11,0	318,04	0,001489	0,01592	62,58	1450,2	2705	1255,4	3,430	5,553
12,0	324,63	0,001527	0,01426	70,13	1491,1	2685	1193,5	3,496	5,493
13,0	330,81	0,001567	0,01277	78,30	1531,5	2662	1130,8	3,561	5,432
14,0	336,63	0,001611	0,01149	87,03	1570,8	2638	1066,9	3,623	5,372
15,0	342,11	0,001658	0,01035	96,62	1610	2611	1001,1	3,684	5,310
16,0	347,32	0,001710	0,009318	107,3	1650	2582	932,0	3,746	5,247
18,0	356,96	0,001837	0,007504	133,2	1732	2510	778,2	3,871	5,107
20,0	365,71	0,00204	0,00585	170,9	1827	2410	583,0	4,015	4,928
22,0	373,7	0,00273	0,00367	272,5	2016	2168	152,0	4,303	4,591

Приложение Г

Параметры перегретого пара

p , МПа		$t=0^{\circ}\text{C}$	$t=60^{\circ}\text{C}$	$t=100^{\circ}\text{C}$	$t=160^{\circ}\text{C}$	$t=200^{\circ}\text{C}$
0,005	v	0,0010002	30,73	34,43	39,98	43,68
	h	0,0	2612	2668	2803	2880
	s	0,0000	8,549	8,764	9,047	9,219
0,010	v	0,0010002	15,35	17,20	19,98	21,83
	h	0,0	2611	2688	2802	2879
	s	0,0000	8,227	8,442	8,727	8,897
0,020	v	0,0010002	0,0010171	8,584	9,977	10,905
	h	0,0	251,1	2687	2801	2879
	s	0,0000	0,8307	8,120	8,406	8,576
0,030	v	0,0010002	0,0010171	5,713	6,645	7,264
	h	0,0	251,1	2685	2801	2878
	s	0,0000	0,8307	7,931	8,217	8,388
0,040	v	0,0010002	0,0010171	4,282	4,982	5,447
	h	0,0	251,1	2684	2800	2878
	s	0,0000	0,8307	7,798	8,086	8,256
0,050	v	0,0010002	0,0010171	3,420	3,982	4,355
	h	0,1	251,1	2683	2799	2877
	s	0,0000	0,8307	7,693	7,981	8,152
0,10	v	0,0010001	0,0010171	1,695	1,984	2,172
	h	0,1	251,1	2676	2796	2875
	s	0,0000	0,8307	7,361	7,654	7,828
0,20	v	0,0010000	0,0010170	0,0010434	0,9840	1,080
	h	0,2	251,2	419,0	2790	2870
	s	0,0000	0,8307	0,1367	7,324	7,50
0,30	v	0,0010000	0,0010170	0,0010434	0,6512	0,7161
	h	0,3	251,3	419,1	2783	2864
	s	0,0000	0,8304	1,3066	7,126	7,306
0,50	v	0,0009999	0,0010169	0,0010433	0,3839	0,4249
	h	0,5	251,4	419,1	2767	2854
	s	10,0000	0,8302	1,3063	6,864	7,056
0,70	v	0,0009998	0,0010168	0,0010432	0,0011020	0,2998
	h	0,7	251,6	419,1	675,3	2844
	s	10,0000	0,8301	1,3061	1,941	6,884

Приложение Г

Параметры перегретого пара

p , МПа		$t=240$ °C	$t=300$ °C	$t=360$ °C	$t=400$ °C	$t=440$ °C	$t=500$ °C	$t=550$ °C
0,005	v	47,37	52,92	58,47	62,16	65,85	71,39	76,01
	h	2958	3077	3198	3280	3363	3490	3598
	s	9,376	9,595	9,796	9,921	10,042	10,214	10,351
0,010	v	23,68	26,46	29,23	31,08	32,93	35,70	38,01
	h	2957	30177	3198	3280	3363	3490	3598
	s	9,056	9,274	9,475	9,601	9,722	9,895	10,031
0,020	v	11,832	13,220	14,606	15,530	16,45	17,82	18,99
	h	2957	3077	3198	3280	3363	3490	3598
	s	8,735	8,954	9,155	9,281	9,402	9,575	9,713
0,030	v	7,882	8,809	9,734	10,351	10,967	11,891	12,661
	h	2956	3076	3198	3280	3363	3490	3598
	s	8,547	8,766	8,967	9,093	9,215	9,388	9,526
0,040	v	5,912	6,608	7,301	7,765	8,228	8,921	9,498
	h	2956	3076	3197	3279	3362	3490	3597
	s	8,415	8,635	8,835	8,962	9,083	9,256	9,393
0,050	v	4,726	5,284	5,841	6,212	6,582	7,136	7,598
	h	2956	3076	3197	3279	3362	3489	3597
	s	8,311	8,531	8,731	8,858	8,979	9,152	9,290
0,10	v	2,359	2,638	2,918	3,102	3,288	3,565	3,797
	h	2954	3074	3195	3278	3361	3488	3596
	s	7,988	8,211	8,414	8,541	8,661	8,833	8,969
0,20	v	1,175	1,316	1,457	1,549	1,641	1,781	1,897
	h	2950	3071	3194	3276	3360	3487	3595
	s	7,663	7,887	8,092	8,219	8,340	8,512	8,648
0,30	v	0,7802	0,8750	0,9690	1,032	1,094	1,187	1,264
	h	2946	3068	3192	3275	3359	3486	3594
	s	7,470	7,695	7,902	8,030	8,151	8,324	8,460
0,50	v	0,4644	0,5224	0,5794	0,6173	0,6548	0,7109	0,7576
	h	2937	3062	3188	3272	3356	3484	3592
	s	7,224	7,454	7,662	7,791	7,913	8,086	8,223
0,70	v	0,3290	0,3711	0,4124	0,4396	0,4667	0,5069	0,5403
	h	2929	3056	3183	3268	3353	3482	3598
	s	7,058	7,291	7,502	7,632	7,755	7,929	8,065

Приложение Г

Параметры перегретого пара

p , МПа		$t=0^{\circ}\text{C}$	$t=60^{\circ}\text{C}$	$t=100^{\circ}\text{C}$	$t=160^{\circ}\text{C}$	$t=200^{\circ}\text{C}$
1,0	v	0,0009996	0,0010166	0,00130	0,0011018	0,2060
	h	1,0	251,8	419,5	675,4	2827
	s	0,0000	0,8298	1,00318	1,941	6,692
1,6	v	0,0009994	0,0010163	0,0010426	0,0011013	0,0011565
	h	1,6	252,2	419,7	675,7	852,4
	s	0,0000	0,8296	1,3052	1,940	2,329
2,0	v	0,0009991	0,0010161	0,0610424	0,0011011	0,0011561
	h	2,0	252,6	420,1	675,9	852,4
	s	0,0000	0,8294	1,3048	1,939	2,328
3,0	v	0,0009986	0,0010157	0,0010419	0,0011004	0,0011551
	h	3,0	253,5	420,9	676,4	852,6
	s	0,0000	0,8290	1,3038	1,938	2,326
4,0	v	0,0009981	0,0010152	0,0010414	0,0010997	0,0011541
	h	4,0	254,4	442,7	677,0	853,0
	s	0,0002	0,8282	1,3030	1,936	2,324
5,0	v	0,0009976	0,0010147	0,0010408	0,0010990	0,0011530
	h	5,1	255,3	422,5	677,7	853,6
	s	0,0004	0,8273	1,3020	1,935	2,332
6,0	v	0,0009971	0,0010143	0,0010403	0,0010983	0,0011522
	h	6,1	256,1	423,3	678,4	854,0
	s	0,0004	0,8268	1,3012	1,934	2,320
7,0	v	0,0009966	0,0010139	0,0010400	0,0010977	0,0011512
	h	7,1	256,9	424,1	679,0	854,5
	s	0,0004	0,8263	1,3003	1,933	2,319
8,0	v	0,0009961	0,0010134	0,0010398	0,0010972	0,0011504
	h	8,1	257,8	424,9	679,6	855,0
	s	0,0004	0,8260	1,2996	1,931	2,317
9,0	v	0,0009956	0,0010129	0,0010393	0,0010966	0,0011496
	h	9,1	258,7	425,7	680,3	855,5
	s	0,0004	0,8253	1,2988	1,930	2,316
10,0	v	0,0009951	0,0010125	0,0010386	0,0010956	0,0011482
	h	10,1	259,6	426,5	681,0	856,0
	s	0,0004	0,8247	1,2982	1,929	2,314
20,0	v	0,0009904	0,0010083	0,0010339	0,0010891	0,0011393
	h	20,1	268,1	434,2	687,4	860,6
	s	0,0013	0,8188	1,2909	1,919	2,299
30,0	v	0,0009857	0,0010041	0,0010293	0,0010825	0,0011305
	h	30,1	276,5	441,9	693,6	865,4
	s	0,0013	0,8140	1,2834	1,908	2,287

Параметры перегретого пара

p , МПа		$t=240$ °C	$t=300$ °C	$t=360$ °C	$t=400$ °C	$t=440$ °C	$t=500$ °C	$t=550$ °C
1,0	ν	0,2274	0,2578	0,2871	0,3065	0,3255	0,3539	0,3776
	h	2918	3048	3177	3263	3349	3479	3588
	s	6,877	7,116	7,330	7,461	7,585	7,761	7,898
1,6	ν	0,1382	0,1585	0,1775	0,1899	0,2021	0,2201	0,2350
	h	2893	3030	3164	3253	3341	3472	3582
	s	6,622	6,877	7,098	7,233	7,360	7,537	7,675
2,0	ν	0,1084	0,1255	0,1410	0,1511	0,1609	0,1755	0,1875
	h	2875	3019	3156	3246	3335	3468	3578
	s	6,491	6,757	6,985	7,122	7,251	7,429	7,569
3,0	ν	0,06826	0,08119	0,09230	0,09929	0,1061	0,1161	0,1243
	h	2823	2988	3135	3229	3321	3456	3569
	s	6,225	6,530	6,773	6,916	7,048	7,231	7,373
4,0	ν	0,0012280	0,05888	0,06781	0,07337	0,07870	0,08642	0,09270
	h	1037,4	2955	3113	3211	3306	344 5	3560
	s	2,698	6,352	6,613	6,762	6,900	7,087	7,23Г
5,0	ν	0,0012264	0,04539	0,05316	0,05781	0,06224	0,06858	0,07370
	h	1037,4	2920	3090	3193	3291	3433	3550
	s	2,696	6,200	6,483	6,640	6,781	6,974	7,120
6,0	ν	0,0012249	0,03620	0,04334	0,04742	0,05124	0,05667	0,06103
	h	1037,6	2880	3067	3174	3275	3421	3540
	s	2,693	6,060	6,371	6,535	6,681	6,878	7,028
7,0	ν	0,0012235	0,02948	0,03630	0,03997	0,04338	0,04817	0,05197
	h	1037,8	2835	3042	3155	3259	3409	3530
	s	2,591	5,925	6,270	6,442	6,593	6,795	6,947
8,0	ν	0,0012221	0,02429	0,03098	0,03438	0,03746	0,04177	0,04516
	h	1037,9	2784	3017	3135	3244	3397	3520
	s	2,688	5,788	6,177	6,358	6,515	6,722	6,876
9,0	ν	0,0012207	0,0014016	0,02678	0,03001	0,03286	0,03680	0,03988
	h	1038,1	1344,3	2989	3114	3227	3386	3510
	s	2,686	3,249	6,089	6,280	6,443	6,656	6,813
10,0	ν	0,0012185	0,0013970	0,02337	0,02646	0,02915	0,03281	0,03566
	h	1038,3	1342,2	2958	3093	3211	3372	3499
	s	2,684	3,244	6,002	6,207	6,377	6,596	6,756
20,0	ν	0,0012056	0,0013598	0,001824	0,00998	0,01224	0,01478	0,01653
	h	1040,3	1333,2	1739	2816	3019	3238	3390
	s	2,664	3,204	3,876	5,553	5,847	6,144	6,339
30,0	ν	0,0011931	0,0013311	0,001634	0,00283	0,00621	0,00869	0,01016
	h	1042,9	1329,0	1676	2155	2743	3073	3268
	s	2,647	3,171	3,747	4,476	5,340	5,799	6,045

Физические свойства сухого воздуха (при давлении $p=101,325$ кПа)

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Удельная теплоемкость при постоянном давлении $c, \text{кДж/ (кг}\cdot\text{K)}$	Теплопроводность $\lambda, \text{мВт/ (кг}\cdot\text{K)}$	Температу- ропроводность $a, \text{мм}^2/\text{с}$	Кинематическая вязкость $\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	Число Прандтля Pr
0	1,293	1,005	24,4	18,8	13,28	0,707
10	1,247	1,005	25,1	20,0	14,16	0,705
20	1,205	1,005	25,9	21,4	15,06	0,703
30	1,165	1,005	26,7	22,9	16,00	0,701
40	1,128	1,005	27,6	24,3	16,96	0,699
50	1,093	1,005	28,3	25,7	17,95	0,698
60	1,060	1,005	29,0	27,2	18,97	0,696
70	1,029	1,009	29,6	28,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	30,5	30,2	21,09	0,692
90	0,972	1,009	31,3	31,9	22,10	0,690
100	0,946	1,009	32,1	33,6	23,13	0,688
120	0,998	1,009	33,4	36,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	34,9	40,3	27,80	0,684
160	0,815	1,017	36,4	43,9	30,09	0,682
180	0,779	1,022	37,8	47,5	32,49	0,681
200	0,746	1,026	39,3	51,4	34,85	0,680
250	0,674	1,038	42,7	61,0	40,61	0,677
300	0,615	1,047	46,0	71,6	48,33	0,674
350	0,566	1,059	49,1	81,9	55,46	0,676
400	0,524	1,068	52,1	93,1	63,09	0,678

Физические свойства воды на линии насыщения (при давлении $p=101,325$ кПа)

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Удельная энтальпия $h, \text{кДж/кг}$	Удельная теплоёмкость $c, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	Теплопроводность $\lambda, \text{мВт/(м}\cdot\text{K)}$	Температу- ропроводность $a, \text{м}^2/\text{с}$	Кинематическая вязкость $\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	Число Прандтля Pr
0	999,9	0	4,212	351	0,131	1,789	13,67
10	999,7	42,04	4,191	574	0,137	1,306	9,52
20	998,2	83,91	4,183	599	0,143	1,006	7,02
30	995,7	125,7	4,174	618	0,149	0,805	5,42
40	992,2	167,5	4,174	635	0,153	0,659	4,31
50	988,1	209,3	4,174	648	0,157	0,556	3,54
60	983,1	251,1	4,179	659	0,160	0,478	2,98
70	977,8	293,0	4,187	668	0,163	0,415	2,55
80	971,8	335,0	4,195	674	0,166	0,365	2,21
90	965,3	377,0	4,208	680	0,168	0,326	1,95