

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**Донбасская государственная машиностроительная академия**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**  
**ПО КУРСУ «ТЕПЛОТЕХНИКА»**  
**для студентов заочного отделения**  
**технических специальностей**

Утверждено  
на заседании кафедры  
химии и охраны труда  
протокол № 1  
от 31 августа 2001 г.

Краматорск 2001

УДК 621.1.016

Методические указания для выполнения контрольных работ по курсу «Теплотехника» для студентов заочного отделения технических специальностей / Сост.: Ю.В. Менафова, Л.В. Дементий. – Краматорск: ДГМА, 2001. - 24 с.

Содержит сведения, необходимые для организации работы студентов-заочников по курсу “Теплотехника”. Приведены содержание курса, список литературы, варианты контрольных работ, а также методические указания к выполнению контрольной работы.

Составители :

Ю.В. Менафова, ас.,  
Л.В. Дементий, доц.

Ответственный за выпуск

А.П. Авдеенко, проф.

## 1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении курса «Теплотехника» студенты-заочники, руководствуясь программой, самостоятельно работают над учебниками и учебными пособиями, выполняют контрольную работу и лабораторные работы. Желательно прослушать обзорные лекции по основным вопросам курса. При изучении каждого раздела рекомендуется составлять конспект, который будет полезен при повторении материала, и решать задачи для закрепления теоретического материала. По всем возникшим вопросам студент может получить консультацию на кафедре химии и охраны труда.

Для улучшения освоения курса студенты-заочники должны выполнить следующие лабораторные работы:

- определение характеристик истечения газа или пара;
- определение коэффициента теплопроводности изоляции;
- определение коэффициента теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции;
- определение коэффициента теплопередачи в теплообменнике;
- определение теплоты сгорания топлива;
- испытание компрессора или вентилятора.

К решению задач следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса. Контрольные задачи составлены по стовариантной (числовой) системе, в которой к каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по последней и предпоследней цифрам шифра (зачетной книжки) студента-заочника. Вариант работы также должен соответствовать этому шифру. Работы, выполненные не по своему варианту, не рассматриваются.

При выполнении контрольных задач необходимо:

- а) выписать условие задачи и исходные данные;

б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (из условия задачи, из справочника или были определены выше и т. д.);

в) вычисления провести в единицах системы СИ, показать ход решения. После решения задачи дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы;

г) в конце работы привести список использованной литературы и поставить свою подпись;

д) для письменных замечаний рецензента оставить чистые поля в тетради и чистые 1—2 страницы в конце работы;

е) исправления по замечанию рецензента записать отдельно на чистых листах в той же тетради после заголовка «Исправления по замечаниям».

Работа, в которой вышеназванные пункты не выполнены, не проверяется.

## **2 ПРОГРАММА КУРСА**

### **Тема 1. Введение**

Предмет теплотехники, место и роль ее в системе подготовки инженерных кадров. Связь теплотехники со смежными науками. Историческое развитие и проблемы современной теплотехники в связи с развитием новой техники и технологии. Теплотехника в машиностроении. Совершенствование структуры энергетического баланса, экономия топлива и энергии. Перспективы развития ядерной и термоядерной энергетики. Защита окружающей среды.

Литература [1, с. 4-5; 2, с. 4-5]

## Тема 2. Техническая термодинамика

### *Основные понятия и определения*

Предмет технической термодинамики и ее методы. Теплота и работа как формы передачи энергии. Рабочее тело. Термодинамическая система. Основные параметры состояния. Равновесное и неравновесное состояние. Уравнение состояния. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Изображение обратимых процессов в термодинамических диаграммах. Круговой процесс (цикл).

Газовые смеси, способы задания газовых смесей, соотношение между массовыми и объемными долями, вычисления параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений.

Теплоемкость. Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных давлении и объеме. Зависимость теплоемкости от температуры. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкостей. Теплоемкость смеси идеальных газов.

Литература [1, с. 6—11, 42—43; 2, с. 6—12, 62—68]

### *Первый закон термодинамики*

Сущность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики, принцип эквивалентности теплоты и работы. Выражение теплоты и работы через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия. Первый закон термодинамики для круговых (циклических) процессов. Дифференциальные соотношения термодинамики. Значение и использование дифференциальных соотношений.

Литература [1, с. 12—19; 2, сС. 16-30]

## *Второй закон термодинамики*

Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы. Термодинамический КПД и холодильный коэффициент. Цикл Карно и его свойства. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах. Статистическое толкование второго закона термодинамики. Философское толкование второго закона термодинамики. Изменение энтропии изолированной термодинамической системы.

Литература [1, с. 20—31, 2, с. 39—61]

## *Термодинамические процессы*

Классификация процессов изменения состояния. Общие методы исследования процессов изменения состояния любых рабочих тел.

Политропные процессы. Уравнение политропы. Определение показателя политропы. Анализ процессов на основе сравнения показателей политропы. Процессы в координатах  $PV$  и  $TS$ . Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный — частные случаи политропного процесса.

Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Фазовые равновесия и фазовые переходы. Теплота фазовых переходов. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки. Уравнение состояния реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в  $PV$ - и  $TS$ - диаграммах. Водяной пар. Понятие об уравнении Вукаловича — Новикова. Термодинамические таблицы воды и водяного пара,  $PV$ -,  $TS$ - и  $hS$ - диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и  $hS$ -диаграммы.

Литература [1, с. 32—41; 2, с. 31—36, 92—102]

### *Влажный воздух*

Определение понятия «влажный воздух». Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность воздуха. Температура точки росы.  $h$ -диаграмма влажного воздуха.

Литература [1, с. 44—46; 2, с. 147—150]

### *Термодинамика потока*

Истечение и дросселирование газов и паров. Основные положения. Уравнение первого закона термодинамики для потока, его анализ. Понятие о сопловом и диффузорном течении газа. Адиабатные течения. Скорость адиабатного течения. Связь критической скорости истечения с местной скоростью распространения звука. Критическое отношение давлений. Расчет скорости истечения и секундного массового расхода для критического режима. Условия перехода через критическую скорость. Сопло Лавалю. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью  $h$ - $S$ -диаграммы. Действительный процесс истечения. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля — Томсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования. Условное изображение процесса дросселирования в  $h$ - $S$ -диаграмме.

Литература [1, с. 47—55, 58—59; 2, с. 132—146]

### *Термодинамический анализ процессов в компрессорах*

Поршневой компрессор. Принцип действия. Работа, затрачиваемая на привод компрессора. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Термодинамическое обоснование многоступенчатого сжатия. Изображение в  $PV$ - и  $TS$ -диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах. Необратимое сжатие.

Относительный внутренний КПД компрессора. Понятие о центробежном компрессоре.

Литература [1, с. 56—57; 2, с. 69—74]

### *Циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок*

Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС), их классификация. Характеристики ДВС, основные направления их развития.

Циклы газотурбинных установок. Газотурбинные установки (ГТУ) в отраслях народного хозяйства. Схемы ГТУ, технико-экономические показатели. Методы повышения КПД.

Литература [1, с. 60—64; 2, с. 75—90]

### *Циклы паросиловых установок*

Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в PV-, TS- и hS-диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок.

Литература [1, с. 65—69; 2, с. 103—121].

### *Циклы холодильных машин*

Циклы холодильных установок. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл паровой и воздушной компрессорной холодильной установки. Характеристика холодильных агентов, применяемых в паровых холодильных установках. Понятие об абсорбционных и пароэжекторных холодильных установках.

Литература [2, с. 151 — 160]

### **Тема 3. Теория теплообмена**

#### *Основные понятия и определения*

Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в промышленных процессах. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты. Теплопроводность, конвекция и излучение. Сложный теплообмен.

Литература [1, с. 72—73; 2, с. 161 — 163]

#### *Теплопроводность*

Основные положения учения о теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, диэлектриках, полупроводниках, жидкостях и газах. Дифференциальное уравнение теплопроводности для однородных изотропных тел; условия однозначности. Коэффициент температуропроводности.

Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенки при граничных условиях 1-го рода. Теплопроводность сферической стенки. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях 3-го рода (теплопередача). Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки; коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации процесса теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор целесообразного материала тепловой изоляции.

Нестационарный процесс теплопроводности. Методы решения задач нестационарной теплопроводности. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины. Граничные условия 1-го, 2-го и 3-го рода. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел. Теплопроводность тела с внутренними источниками теплоты. Основы расчета задач теплопроводности на ЭВМ.

Литература [1, с. 73—75, 118—122; 2, с. 164—177]

## *Конвективный теплообмен*

Основные положения учения о конвективном теплообмене. Физическая сущность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона — Рихмана. Дифференциальные уравнения теплообмена: уравнение движения вязкой жидкости, уравнение теплопроводности для потока движущейся жидкости, уравнение теплоотдачи на границе потока и стенки, уравнение закона сохранения массы. Условия однозначности к дифференциальным уравнениям конвективного теплообмена. Основные положения теории пограничного слоя. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи.

Основы теории подобия и моделирования. Основные определения. Условия подобия физических явлений. Теоремы подобия. Критериальные уравнения, определяющие критерии. Метод моделирования. Физический смысл основных критериев подобия. Анализ размерностей. Понятие о математическом моделировании.

Теплообмен при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при движении жидкости вдоль плоской поверхности: теплоотдача при ламинарном и турбулентном пограничном слое. Расчетные уравнения. Теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах: теплоотдача при ламинарном и турбулентном течениях жидкости в гладких и шероховатых, прямых и изогнутых трубах, круглого и некруглого сечения. Расчетные уравнения. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб коридорно и шахматно расположенных. Расчетные уравнения.

Теплообмен при свободном движении жидкости. Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном объеме; ламинарная и турбулентная конвекция у вертикальных поверхностей. Естественная конвекция у горизонтальных труб. Расчетные уравнения.

Литература [1, с. 79—102; 2, с. 178—206]

### *Теплообмен излучением*

Общие понятия и определения. Частоты теплового излучения, баланс лучистого теплообмена. Основные законы лучистого теплообмена. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой; коэффициент облученности; теплообмен излучением между телами, произвольно расположенными в пространстве. Защита от излучения. Излучение газов; лучистый теплообмен в топках и камерах сгорания.

Литература [1, с. 103—111; 2, с. 210—218]

### *Основы расчета теплообменных аппаратов*

Теплопередача в теплообменниках. Основные схемы движения и теплообмена потоков теплоносителей. Теплоносители, их основные характеристики. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Уравнения для теплового потока и средней разности температур любой схемы теплообмена; сложный теплообмен. Методы интенсификации теплопередачи. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Принцип расчета теплообменных аппаратов.

Литература [1, с. 112—117, 121 — 128; 2, с. 219—227]

## **Тема 4 Промышленные теплоэнергетические установки**

(для специальностей ЛП и ОМД)

### *Топливо, основы теории горения и топочные устройства*

Виды сжигаемого топлива и их характеристики. Классификация топлива. Перспективы применения различного топлива в промышленности. Твердое и жидкое топливо и его основные характеристики. Элементарный состав топлива. Теплота сгорания. Газообразное топливо и его основные характеристики. Условное топливо. Проблема экономии топлива и пути ее решения. Проблемы защиты окружающей среды от выброса продуктов сгорания топлива.

Основы теории горения и организация сжигания топлива в промышленных условиях. Топочные устройства. Сжигание газообразного топлива и газообразных отходов производств; кинетика газовых реакций горения (гомогенное горение), коэффициент избытка воздуха и его величина при сжигании газообразного топлива, воспламенение и температура воспламенения, фронт пламени и скорость его распространения, предельные концентрации горючих газовых смесей, кинетическое и диффузионное горение, смесеобразование и горение турбулентных струй газа, средняя объемная скорость горения. Топочные устройства для сжигания газообразного топлива и газообразных отходов производства.

Сжигание жидкого топлива и жидких отходов производства. Особенности горения жидкого топлива. Зоны горения факела форсунки. Коэффициент избытка воздуха при сжигании жидкого топлива. Особенности сжигания жидких отходов производств, топочные устройства.

Сжигание твердого топлива и твердых отходов производства; элементы теории горения углерода (гетерогенное горение), кинетическая, диффузионная и переходная области горения углеродных частиц, влияние летучих составляющих твердого топлива на процесс воспламенения и горения, стадии горения твердого топлива в реальных условиях. Способы сжигания твердого топлива: слоевое, в псевдосжиженном слое; факельное. Особенности сжигания твердых отходов производства. Топки для сжигания твердого топлива и твердых отходов производства.

Очистка дымовых газов от сернистых газов, окислов азота и пыли.

Расчеты процессов горения твердого, жидкого и газообразного топлива. Определение теоретически необходимого количества воздуха для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива. Определение объема продуктов сгорания при  $\alpha = 1$  и  $\alpha > 1$ . Расчет энтальпии дымовых газов. Теоретическая температура горения. Основы расчета топочных устройств.

Литература [1, с. 130—160; 3, с. 211—249]

## *Технологические промышленные печи*

Основы общей теории печей. Назначение и характеристика основных типов печей. Принципиальная схема промышленной печи. Особенности сжигания топлива в печах. Теплопередача в печах. Особенности конструкций печей для термической обработки. Регенерация теплоты уходящих печных газов. Утилизация теплоты уходящих газов. Пылегазовые выбросы печей, пылеулавливание, схемы очистки газов.

Основные положения расчета промышленных печей. Тепловой и материальный баланс печи. Термический КПД печи. Расчет топочного устройства печи (определение количества топлива, сжигаемого в единицу времени, удельные расходы топлива и способы их уменьшения, определение габаритных размеров топочного пространства), подбор горелок и форсунок, определение поверхности радиации и температуры дымовых газов, определение времени термообработки материалов в печи, аэродинамический расчет печи.

Металлургические печи. Основные требования, предъявляемые к печам. Особенности нагрева металлов и сплавов. Классификация печей по технологическому принципу. Основные типы топливных и электрических печей: вращающиеся барабанные; печи для обжига в кипящем слое; сушильные; шахтные; отражательные; конверторы и мартеновские печи, электрические печи сопротивления; индукционные; дуговые и другие типы печей (по специальностям).

Элементы конструкций и материалы для сооружения и ремонта печей. Материалы для сооружения печей. Виды материалов, используемых для сооружения печей. Огнеупорные материалы. Их классификация, основные свойства и их определение. Теплоизоляционные материалы. Испарительное охлаждение. Каркас, кладка, гарнитура и другие элементы печных конструкций, оборудование печей.

Литература [4, с. 5 — 501]

### 3 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

#### Задача 1

Газ - воздух с начальной температурой  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  - сжимается в одноступенчатом поршневом компрессоре от давления  $P_1=0,1$  МПа до давления  $P_2$ . Сжатие может происходить по изотерме, по адиабате и по политропе с показателем политропы  $n$ . Определить для каждого из трех процессов сжатия конечную температуру газа  $t_2$ , отведенную от газа теплоту  $Q$  (в киловаттах) и теоретическую мощность компрессора  $N$ , если его производительность  $G$ . Дать сводную таблицу и изображение процессов сжатия в  $PV$ - и  $TS$ -диаграммах. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 1.

Указание. Расчет провести без учета зависимости теплоемкости от температуры.

Таблица 1 - Исходные данные для решения задачи 1

Последняя цифра шифра	$n$	Предпоследняя цифра шифра	$P_2$ , МПа	$10^{-3} \cdot G$ , кг/ч
0	1,25	0	0,9	0,3
1	1,22	1	1,0	0,4
2	1,24	2	0,85	0,5
3	1,21	3	0,8	0,6
4	1,20	4	0,95	0,7
5	1,30	5	0,9	0,8
6	1,27	6	0,85	0,9
7	1,26	7	0,9	1,0
8	1,33	8	0,8	1,1
9	1,23	9	0,85	1,2

## Задача 2

Водяной пар с начальным давлением  $P_1 = 3$  МПа и степенью сухости  $x_1 = 0,95$  поступает в пароперегреватель, где его температура повышается на  $\Delta t$ . После перегревателя пар изотропно расширяется в турбине до давления  $P_2$ . Определить (по  $hS$ -диаграмме) количество теплоты (на 1 кг пара), подведенной к нему в пароперегревателе, работу цикла Ренкина и степень сухости пара  $x_2$  в конце расширения. Определить также термический КПД цикла. Определить работу цикла и конечную степень сухости, если после пароперегревателя пар дросселируется до давления  $P_3$ . Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 2.

Таблица 2 - Исходные данные для решения задачи 2

Последняя цифра шифра	$\Delta t$	Предпоследняя цифра шифра	$P_2$ , кПа	$P_3$ , МПа
0	250	0	3,0	0,50
1	245	1	3,5	0,48
2	240	2	4,0	0,46
3	235	3	4,5	0,44
4	230	4	4,0	0,42
5	225	5	3,5	0,40
6	220	6	3,0	0,38
7	215	7	3,5	0,36
8	210	8	4,0	0,34
9	205	9	4,5	0,32

### Задача 3

По горизонтально расположенной стальной трубе (коэффициент теплопроводности  $\lambda$  равен 20 Вт/(м\*К) ) со скоростью  $\omega$  течет вода, имеющая температуру  $t_b$ . Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого  $t_{\text{воз}}$ , давление 0,1 МПа. Определить коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху, коэффициент теплопередачи и тепловой поток  $q$ , отнесенный к 1 м длины трубы, если внутренний диаметр трубы равен  $d_1$ , внешний —  $d_2$ . Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 3.

Указание. Для определения  $\alpha_2$  принять в первом приближении температуру наружной поверхности трубы  $t_2$  равной температуре воды. При определении коэффициента теплоотдачи использовать данные из приложения Д.

Таблица 3 - Исходные данные для решения задачи 3

Последняя цифра шифра	$t_b, ^\circ\text{C}$	$\omega, \text{ м/с}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_{\text{воз}}, ^\circ\text{C}$	$d_1, \text{ мм}$	$d_2, \text{ мм}$
0	120	0,25	0	18	190	210
1	130	0,36	1	16	180	200
2	140	0,27	2	14	170	190
3	150	0,38	3	12	160	180
4	160	0,19	4	10	150	170
5	170	0,21	5	8	140	160
6	180	0,23	6	6	130	150
7	200	0,42	7	4	120	140
8	210	0,43	8	2	110	130
9	220	0,44	9	0	100	120

Ответить на вопросы: какой режим течения внутри трубы в вашем варианте задачи? Какой режим движения окружающего трубу воздуха? Почему можно при расчете принять взаимное равенство температур наружной поверхности трубы и воды?

#### Задача 4

Определить поверхность нагрева рекуперативного газоздушного теплообменника при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход нагреваемого воздуха при нормальных условиях  $V_n$ , средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху  $K$ , начальные и конечные температуры продуктов сгорания и воздуха соответственно  $t_1'$ ,  $t_1''$ ,  $t_2'$  и  $t_2''$ . Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 4.

Изобразить графики изменения температур теплоносителей для обоих случаев.

Таблица 4 - Исходные данные для решения задачи 4

Последняя цифра шифра	$10^{-3} \cdot V_n$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$K$ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_1', ^\circ\text{C}$	$t_1'', ^\circ\text{C}$	$t_2', ^\circ\text{C}$	$t_2'', ^\circ\text{C}$
0	1	18	0	600	400	20	300
1	2	19	1	625	425	15	325
2	3	20	2	650	450	25	350
3	4	21	3	675	475	30	375
4	5	22	4	700	500	10	400
5	6	23	5	725	525	12	425
6	7	24	6	750	550	18	450
7	8	25	7	775	575	28	475
8	9	26	8	800	600	32	500
9	10	27	9	575	375	8	275

### Задача 5

Для теоретического цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении определить параметры рабочего тела (воздуха) в характерных точках цикла, подведенную и отведенную теплоту, работу и термический КПД цикла, если начальное давление  $P_1=0,1$  МПа, начальная температура  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ , степень повышения давления в компрессоре  $\pi$ , температура газа перед турбиной  $t_3$ .

Определить теоретическую мощность ГТУ при заданном расходе воздуха  $G$ . Показать цикл установки в PV- и TS-диаграммах. Данные для решения задачи выбрать из табл. 5.

Указание. Теплоемкость воздуха принять независимой от температуры.

Таблица 5 - Исходные данные для решения задачи 5

Последняя цифра шифра	$\pi = \frac{P_2}{P_1}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_3, ^\circ\text{C}$	$G, \text{ кг/с}$
0	6	0	700	35
1	6,5	1	725	25
2	7	2	750	30
3	7,5	3	775	40
4	8	4	700	50
5	7,5	5	725	60
6	7	6	750	70
7	6,5	7	775	80
8	6	8	800	90
9	7	9	825	100

## Приложение А

Физические параметры сухого воздуха при давлении 101325 Па

T, К	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\lambda \cdot 10^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\nu \cdot 10^6, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	Pr
263	1,342	1,009	2,361	12,43	0,712
273	1,293	1,005	2,442	13,28	0,707
283	1,247	1,005	2,512	14,16	0,705
293	1,205	1,005	2,593	15,06	0,703
303	1,165	1,005	2,675	16,00	0,701
313	1,128	1,005	2,756	16,96	0,699
323	1,093	1,005	2,826	17,95	0,698
333	1,060	1,005	2,896	18,97	0,696
343	1,029	1,009	2,966	20,02	0,694
353	1,000	1,009	2,047	21,09	0,692
363	0,972	1,009	3,128	22,10	0,690
373	0,946	1,009	3,210	23,13	0,688
393	0,898	1,009	3,338	25,45	0,686
413	0,854	1,013	3,489	27,80	0,684
433	0,815	1,017	3,640	30,09	0,682
453	0,779	1,021	3,780	32,49	0,681
473	0,746	1,026	3,931	34,85	0,680
523	0,674	1,038	4,268	40,61	0,677
573	0,615	1,047	4,606	48,33	0,674

## Приложение Б

### Физические параметры воды на линии насыщения

Т, К	$C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\nu \cdot 10^6, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	Pr
273	4,212	0,551	1,789	13,67
283	4,191	0,575	1,306	9,52
293	4,183	0,599	1,006	7,02
303	4,174	0,618	0,805	5,42
313	4,174	0,634	0,659	4,31
323	4,174	0,648	0,556	3,54
333	4,178	0,659	0,478	2,98
343	4,187	0,668	0,415	2,55
353	4,195	0,675	0,365	2,21
363	4,208	0,680	0,326	1,95
373	4,220	0,683	0,295	1,75
383	4,233	0,685	0,272	1,60
393	4,250	0,686	0,252	1,47
403	4,266	0,686	0,233	1,36
413	4,287	0,685	0,217	1,26
433	4,346	0,683	0,191	1,10
453	4,417	0,675	0,173	1,00
473	4,505	0,663	0,158	0,93
493	4,614	0,645	0,148	0,89
513	4,756	0,628	0,141	0,87
533	4,949	0,605	0,135	0,87
553	5,229	0,575	0,131	0,90
573	5,736	0,540	0,128	0,97
593	6,473	0,506	0,128	1,11
613	8,163	0,457	0,127	1,39
633	13,984	0,395	0,126	2,35

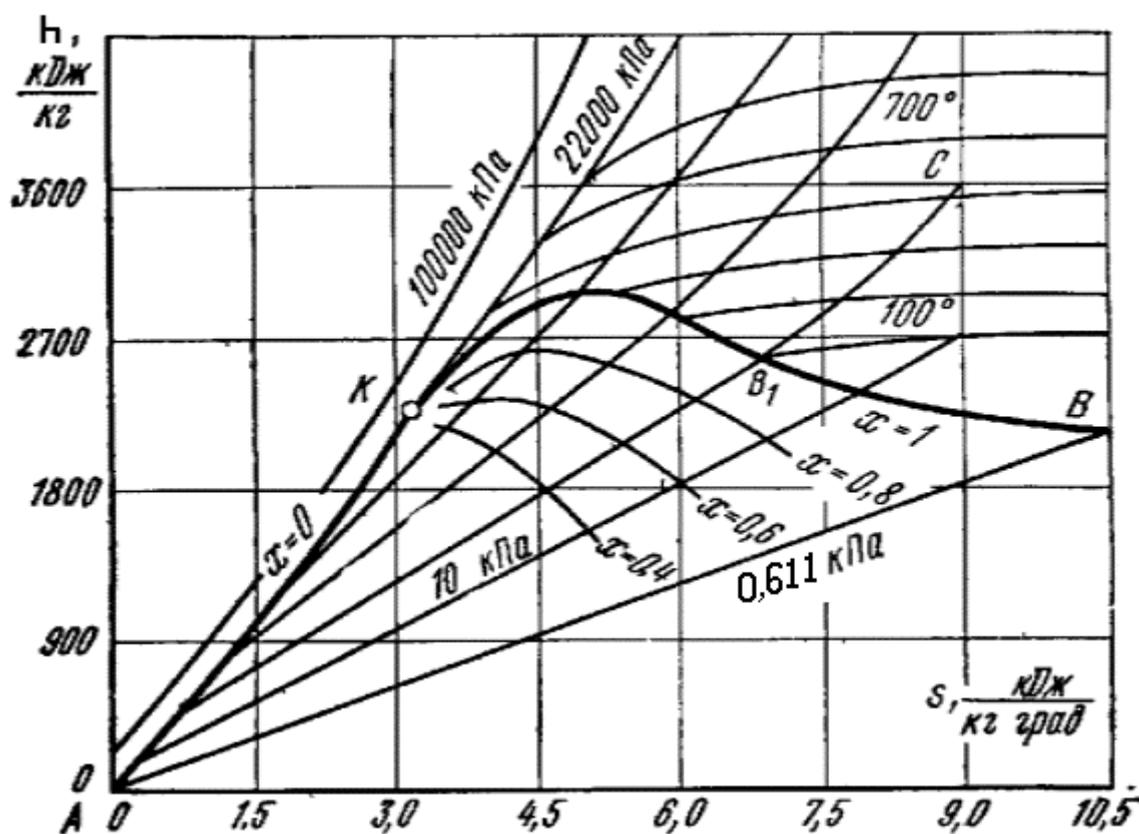
## Приложение В

Средняя теплоемкость некоторых газов в пределах от 0 до 1500 °С

Газ	$C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$C_v, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Воздух	$C_p = 0,9956 + 0,000093 t$	$C_v = 0,7088 + 0,000093 t$
H <sub>2</sub>	$C_p = 14,33 + 0,0005945 t$	$C_v = 10,12 + 0,0005945 t$
N <sub>2</sub>	$C_p = 1,032 + 0,00008955 t$	$C_v = 0,7304 + 0,00008955 t$
O <sub>2</sub>	$C_p = 0,919 + 0,0001065 t$	$C_v = 0,6594 + 0,0001065 t$
CO	$C_p = 1,035 + 0,00009681 t$	$C_v = 0,7331 + 0,00009681 t$
H <sub>2</sub> O	$C_p = 1,833 + 0,0003111 t$	$C_v = 1,372 + 0,0003111 t$
CO <sub>2</sub>	$C_p = 0,8725 + 0,0002406 t$	$C_v = 0,6837 + 0,0002406 t$

## Приложение Г

hS-диаграмма водяного пара



Примечание. Расчеты по задаче 2 проводить по точной hS-диаграмме водяного пара [5].

## Приложение Д

### Основные критериальные уравнения для расчета конвективного теплообмена

Вид теплообмена	Критериальное уравнение
Вынужденное течение жидкости в круглых трубах, режим ламинарный	$Nu=0,15 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$
Вынужденное течение жидкости в круглых трубах, режим турбулентный	$Nu=0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$
Вынужденное течение газа в круглых трубах, режим ламинарный	$Nu=0,13 Re^{0,33} Gr^{0,1}$
Вынужденное течение газа в круглых трубах, режим турбулентный	$Nu=0,018 Re^{0,8}$
Естественная конвекция, $Gr Pr < 500$	$Nu=1,18 (Gr Pr)^{0,125}$
Естественная конвекция, $500 \leq Gr Pr < 2 \cdot 10^7$	$Nu=0,54 (Gr Pr)^{0,25}$
Естественная конвекция, $Gr Pr \geq 2 \cdot 10^7$	$Nu=0,135 (Gr Pr)^{0,33}$
Свободное ламинарное движение жидкости около горизонтальных труб	$Nu=0,5 (Gr Pr)^{0,23} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$
Омывание жидкости одиночной трубы ( $Re < 1000$ )	$Nu=0,5 Re^{0,5} Pr^{0,38} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$
Омывание газа одиночной трубы ( $Re < 1000$ )	$Nu=0,43 Re^{0,5}$
Омывание жидкости одиночной трубы ( $Re > 1000$ )	$Nu=0,25 Re^{0,6} Pr^{0,38} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$
Омывание газа одиночной трубы ( $Re > 1000$ )	$Nu=0,216 Re^{0,6}$
Продольное обтекание пластины жидкостью, режим ламинарный	$Nu=0,66 Re^{0,5} Pr^{0,33} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$
Продольное обтекание пластины жидкостью, режим турбулентный	$Nu=0,037 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr/Pr_{ст})^{0,25}$

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Теплотехника: Учебник для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Вит и др.; Под ред. А.П. Баскакова.-М.: Энергоиздат, 1982.–264 с.
- 2 Теплотехника: Учеб. пособие / М.М. Хазен, Г.А. Матвеев, М.Е. Грицевский и др.; Под ред. Г.А. Матвеева.-М.: Высш. шк., 1981.–480 с.
- 3 Теплотехника (Курс общей теплотехники) / А.А. Щукин, И.Н. Сушкин, Б.И. Бахмачевский и др.; Под ред. И.Н. Сушкина.- М.: Металлургия, 1973. – 480 с.
- 4 Расчеты нагревательных печей / С.И. Аверин, Э.Ф. Гольдфарб, А.Ф. Кравцов и др.; Под ред. Н.Ю. Тайца. - К.: Техніка, 1969. – 540 с.
- 5 Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.– М.: Высш. шк., 1980. – 469 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие методические указания . . . . .	3
2 Программа курса . . . . .	4
3 Контрольная работа . . . . .	14
Приложение А. Физические параметры сухого воздуха при давлении 101325 Па . . . . .	19
Приложение Б. Физические параметры воды на линии насыщения .	20
Приложение В. Средняя теплоемкость некоторых газов в пределах от 0 до 1500 °С . . . . .	21
Приложение Г. hS-диаграмма водяного пара . . . . .	21
Приложение Д. Основные критериальные уравнения для расчета конвективного теплообмена . . . . .	22
Литература . . . . .	23

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ  
ПО КУРСУ «ТЕПЛОТЕХНИКА»  
для студентов заочного отделения  
технических специальностей

Составители: Менафова Юлия Валентиновна,  
Дементий Лариса Владимировна

Редактор      Еремина Наталия Владимировна

140 / 2002.      Подп. в печ.      Формат 60 x 84 / 16  
Офсетная печать.      Усл. печ. л. 1,5      Уч. – изд. л. 1,09  
Тираж 100 экз.

---

ДГМА. 84313, Краматорск, ул. Шкадинова, 72.