

Министерство образования Российской Федерации
Пермский государственный технический университет
кафедра теплотехники

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Направление 654700 – Информационные системы

Специальность 071900– Информационные системы в технике и технологиях

Пермь 2006

Составитель: Селянинов Ю.А.

УДК 536.7+536.2

Термодинамика и теплопередача: Метод. указания и контрольные задания для студентов заочного отделения / Сост. Ю.А.Селянинов; Перм.гос.техн.ун-т. Пермь, 2006. 20с.

Методические указания предназначены для организации самостоятельной работы студентов заочного отделения при изучении общепрофессионального учебного курса "Термодинамика и теплопередача". Здесь приведена развернутая программа теоретического материала курса и дано содержание контрольных заданий. В методических комментариях акцентируются наиболее важные моменты, на которые необходимо обратить внимание при самостоятельном изучении теоретических основ теплотехники. Указания содержат перечень основных рекомендуемых учебников и дополнительных учебных пособий для более глубокого изучения отдельных вопросов курса.

Методические указания разработаны на базе примерной программы дисциплины «ТЕПЛОТЕХНИКА» для направлений подготовки (специальностей) в области техники и технологии, утверждённой Департаментом образовательных программ и стандартов профессионального образования Минобрнауки РФ 20 февраля 2001 года

Материалы указаний обсуждены на заседании кафедры теплотехники ПермГТУ.

Табл. 5. Библиогр. 5 назв.

Рецензенты - канд.техн.наук, доцент М.А. Ошивалов.

- доцент И.П. Лошманов

© Пермский государственный
технический университет, 2006

Содержание

Программа теоретического курса	4
Часть I. Техническая термодинамика.....	4
Тема 1. Рабочее тело и его параметры	4
Тема 2. Первый закон термодинамики, политропные процессы	5
Тема 3. Второй закон термодинамики	7
Тема 4. Термодинамический анализ теплотехнических устройств	8
Часть II. Теплопередача	10
Тема 1. Диффузионный теплообмен (теплопроводность).	10
Тема 2. Конвективный теплообмен (конвекция).	12
Тема 3. Радиационный теплообмен (излучение).	13
Тема 4. Тепломассообменные аппараты	14
Контрольные задания.....	15
Литература	20

Программа теоретического курса

Часть I. Техническая термодинамика

Тема 1. Рабочее тело и его параметры

Термодинамическая система. Основные параметры состояния газовой среды: абсолютное давление, удельный объём, абсолютная температура. Термодинамические процессы в газах: равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые. Графическое изображение равновесных процессов на диаграммах состояния.

Модель идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная и удельная газовые постоянные, их физический смысл.

Теплоемкость газовой среды. Виды теплоемкости: массовая, объемная, мольная. Зависимость теплоемкости от природы газа, температуры и вида термодинамического процесса. Уравнение Майера.

Смеси газов. Способы задания смеси газов массовыми и объемными долями. Парциальный объём и парциальное давление. Газовая постоянная и теплоемкость газовой смеси.

- *В начальной теме курса рассматриваются основные понятия и определения, на базе которых строится изложение всего дальнейшего курса технической термодинамики, как науки о взаимопревращениях теплоты и работы в тепловых машинах.*
- *Здесь необходимо обратить внимание на упрощающие предположения при введении понятия идеального газа, как абстрактной модели газа, в котором отсутствуют силы межмолекулярного взаимодействия и геометрические размеры его молекул пренебрежимо малы.*
- *Следует твердо усвоить уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона) в различных формах его записи ($Pv=RT$; $PV=mRT$; $P=\rho RT$), связывающее основные парамет-*

ра состояния газовой среды: абсолютное давление P , удельный объем v и абсолютную температуру T . Необходимо уяснить различие между понятиями универсальной газовой постоянной R_μ , являющейся абсолютной константой и имеющей численное значение $8314 \text{ Дж/(кмоль К)}$, и удельной газовой постоянной R , величина которой зависит от молекулярной массы каждого конкретного газа μ и определяется соотношением вида $R = R_\mu / \mu$.

- При рассмотрении теплоемкости следует освоить методику расчета средней теплоемкости и уяснить зависимость теплоемкости газа от вида термодинамического процесса, что находит отражение в уравнении Майера $c_p - c_v = R$. Обратите внимание на понятие показатель адиабаты k , который вводится соотношением $k = c_p / c_v$ и его численное значение определяется структурой молекулы газа.
- При изучении раздела, посвященному газовым смесям, нужно освоить методику расчета параметров смеси, состоящей из отдельных идеальных газов. Обратите внимание на отличие расчетных формул при задании состава смеси массовыми g_i и объемными r_i долями. Умение рассчитывать удельную газовую постоянную и теплоемкость смеси позволит при исследовании термодинамических процессов рассматривать смесь как самостоятельный идеальный газ.

Тема 2. Первый закон термодинамики, политропные процессы

Энергетические характеристики термодинамической системы: внутренняя энергия, энтальпия, теплота, работа деформации и располагаемая работа газовой среды. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.

Политропные процессы. Уравнения политропных процессов и их энергетические характеристики. Анализ частных случаев политропных процессов: изобарный, изотермический, адиабатный и изохорный. Обобщенная рабочая диаграмма политропных процессов. Зависимость теплоемкости от показателя политропы. Численное определение показателя политропы.

- Первый закон термодинамики – это термодинамическое выражение всеобщего закона сохранения, суть которого заклю-

чается в сохранении общего энергетического баланса при взаимопревращении энергии из одного вида в другой.

- Для записи аналитического выражения первого закона термодинамики необходимо детально рассмотреть энергетические характеристики термодинамической системы, к числу которых относятся изменение внутренней энергии, изменение энтальпии, количество теплоты, работа деформации (расширения) и располагаемая (полезная) работа. При изучении энергетических характеристик необходимо усвоить различие понятий “функция состояния”, к которым относятся внутренняя энергия и энтальпия, и “функция процесса” (теплота и работа). Обратить внимание на факторы, определяющие знак каждой из энергетических характеристик, и знать выражение их через изменение параметров состояния как в дифференциальной, так и в интегральной форме.
- Понятие “политропные процессы” представляет собой обобщающую модель всего многообразия термодинамических процессов в идеальных газах, протекающих при постоянном значении теплоемкости. Идентификация процессов осуществляется по показателю политропы n , который определяет связь между параметрами состояния в виде уравнений политропных процессов $Pv^n = \text{const}$; $Tv^{n-1} = \text{const}$; $T^n P^{1-n} = \text{const}$.
- Здесь следует обратить внимание на необычное обстоятельство, выражающееся в возможности изменения численного значения теплоемкости газа в различных политропных процессах во всем диапазоне действительных чисел от $-\infty$ до ∞ . В частности это приводит к тому, что при условиях, когда показатель политропы принимает значение в интервале $1 < n < k$, теплоемкость любого газа будет иметь отрицательное значение.
- Нужно научиться анализировать политропные процессы по показателю политропы. Принимая конкретные значения n можно получить академически известные частные случаи газовых процессов: изобарический ($n=0$), изотермический ($n=1$), адиабатный ($n=k$), и изохорический ($n=\infty$).

- *При изучении этого раздела необходимо приобрести навыки графического представления и анализа политропных процессов с использованием обобщенной $P-v$ диаграммы, содержащей классические частные случаи газовых процессов.*

Тема 3. Второй закон термодинамики

Циклические круговые процессы. Работа и теплота цикла. Первый закон термодинамики для цикла. Прямые и обратные циклы. Оценка эффективности циклов тепловых машин, холодильных установок и тепловых насосов.

Сущность второго закона термодинамики, его основные формулировки. Энтропия термодинамической системы, ее физический смысл. Изменение энтропии в политропных процессах. Тепловая диаграмма в координатах $T-s$, изображение на ней политропных процессов. Цикл Карно. Графическое представление цикла Карно на тепловой и рабочей диаграммах, его термический к.п.д..

- *При знакомстве с циклическими процессами нужно усвоить понятие тепловой машины, как устройства для взаимопревращения теплоты и работы. Обратить внимание на принципиальное различие между прямыми и обратными циклами с точки зрения знака цикловой работы. Уяснить смысл термического коэффициента полезного действия (к.п.д.) и отопительного (холодильного) коэффициента.*
- *Второй закон термодинамики являясь одним из фундаментальных законов природы дополняет действие первого закона с точки зрения указания направления самопроизвольного протекания процессов. Это закон асимметрии природы, утверждающий, что все процессы развиваются в направлении установления равновесия.*
- *В рамках технической термодинамики обратимых процессов сущность второго закона может быть сведена к двум основным положениям: - от холодного тела к горячему теплота не может переходить самопроизвольно, без затрат механической энергии; - для превращения теплоты в работу в тепловом двигателе обязательно наличие двух тепловых резервуаров, иными словами нельзя практически построить тепловую*

машину с к.п.д., равным единице (нельзя полностью превратить в работу всю подводимую теплоту).

- При изучении второго закона термодинамики следует усвоить его аналитическое выражение в виде $dq = Tds$. Обратите внимание, что здесь знаки количества теплоты dq и изменения энтропии ds совпадают. отсюда следует очень полезный вывод: при подводе теплоты энтропия всегда возрастает, а отвод теплоты сопровождается ее уменьшением.
- Нужно детально разобраться в формулах вычислений изменения энтропии в политропных процессах через изменения параметров состояния газа. Научиться графическому анализу термодинамических процессов на $T-s$ диаграмме, которую часто называют тепловой диаграммой по причине того, что величина площади под линией процесса на ней соответствует количеству подводимой или отводимой теплоты в зависимости от знака ds .
- Изучая цикл Карно необходимо усвоить, что этот цикл составлен из последовательности двух изотермических и двух адиабатных процессов. Термический к.п.д. этого цикла зависит только от температур тепловых резервуаров $\eta_t = 1 - T_x / T_n$. Здесь очень важно обратить внимание на то обстоятельство, что к.п.д. цикла Карно имеет максимально возможное значение для любых циклов в данном интервале температур.

Тема 4. Термодинамический анализ теплотехнических устройств

Анализ работы поршневого газового компрессора. Техническая работа сжатия газа в компрессоре. Расчет мощности привода и к.п.д. компрессора. Многоступенчатое сжатие .

Циклы газотурбинной установки с подводом теплоты при $P=const$ и $v=const$. Изображение цикла ГТУ на тепловой и рабочей диаграммах. Работа и термический к.п.д. цикла.

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания: цикл Отто (подвод теплоты при $v=const$), цикл Дизеля (подвод теплоты при $p=const$), цикл

Тринклера (комбинированный подвод теплоты). Изображение циклов на тепловой и рабочей диаграммах. Цикловая работа и термический к.п.д..

- *При проведении термодинамического анализа работы газового компрессора нужно уделить внимание графическому изображению протекающих в нем процессов на рабочей ($P-v$), тепловой ($T-s$) и индикаторной ($P-V$) диаграммах. Обратите внимание на то, что процессы всасывания и выталкивания сжатого газа, изображаемые на индикаторной диаграмме горизонтальными прямыми линиями, строго говоря, не являются термодинамическими процессами и на $P-v$ и $T-s$ диаграммах не изображаются.*
- *Необходимо освоить методику расчета технической работы компрессора, затраченной на сжатие газа, мощности привода с использованием общего к.п.д. компрессора. Для выяснения роли системы охлаждения компрессора полезно сопоставить варианты изотермического и адиабатного сжатия газа и оценить их эффективность по величине технической работы.*
- *Рассматривая многоступенчатое сжатие, обратите внимание на то, что преимущество многоступенчатого процесса в виде снижения технической работы обусловлено дополнительным отводом теплоты в промежуточных теплообменниках.*
- *При изучении циклов газотурбинной установки и двигателей внутреннего сгорания нужно усвоить основные упрощающие допущения термодинамического анализа: рабочее тело - идеальный газ с постоянной теплоемкостью, все процессы равновесные и обратимые, процесс сгорания топлива представляется как подвод теплоты от внешних источников. Следует научиться анализировать различные циклы, пользуясь рабочей ($P-v$), тепловой ($T-s$) и индикаторной ($P-V$) диаграммами. Нужно усвоить методику определения термического к.п.д. и цикловой работы каждого из рассматриваемых циклов и возможные способы их повышения.*
- *При анализе циклов ДВС обратите внимание на отличие циклов Отто и Дизеля, связанное с различными условиями подво-*

да теплоты при сгорании топлива. Уясните, что в циклах ДВС повышение степени сжатия является эффективным средством увеличения мощности и экономичности двигателя. Разберитесь с ролью температуры самовоспламенения топлива на ограничения величины степени сжатия.

Часть II. Теплопередача

Тема 1. Диффузионный теплообмен (теплопроводность).

Механизм диффузионного распространения теплоты в неподвижной среде. Тепловой поток и плотность теплового потока. Температурное поле и градиент температуры. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия уравнения теплопроводности I, II и III рода. Безразмерная формулировка задачи теплопроводности. Критерии Фурье (Fu) и Био (Bi).

Стационарные задачи теплопроводности в телах простой формы. Теплопроводность плоской стенки (однослойной и многослойной). Теплопроводность цилиндрической стенки (однослойной и многослойной). Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку.

Критический диаметр тепловой изоляции. Оценка эффективности работы тепловой изоляции. Выбор материала изоляции, обеспечивающего снижение тепловых потерь цилиндрического трубопровода.

Нестационарная теплопроводность. Метод регулярного режима для инженерного расчета процессов нагрева/охлаждения.

- *Приступая к изучению теории теплообмена необходимо усвоить механизм и физическую сущность каждого из способов передачи теплоты: теплопроводность (диффузия тепла), конвективный теплоперенос и излучение (радиационный теплоперенос). Обратите внимание на то, что все они одновременно участвуют в процессе теплопереноса, однако при различных условиях роль и значимость каждого из них может существенно изменяться. Так в неподвижных сплошных телах основным механизмом передачи теплоты является теплопроводность. При движении среды возрастает вклад кон-*

векции, а в условиях разряженных газов и высоких температур приоритет переходит к радиационному механизму переноса теплоты.

- При рассмотрении первого способа теплопереноса - теплопроводности, обратите внимание на понятие температурного поля, как совокупности значений температуры для каждой точки исследуемого пространства в соответствующий момент времени. Нужно также уяснить понятия градиента температуры, теплового потока и его плотности.
- Изучая основной закон теплопроводности (закон Фурье) обратите внимание на то, что в его записи $q = -\lambda \text{ grad } t$ минус отражает факт противонаправленности векторов плотности теплового потока и температурного градиента. Здесь необходимо получить представления о численных значениях коэффициента теплопроводности λ для различных материалов, как характеристики их способности проводить теплоту.
- Нужно понять физический смысл дифференциального уравнения теплопроводности, как варианта выражения первого закона термодинамики, из решения которого при соответствующих начальных и граничных условиях может быть получено температурное поле рассматриваемого объекта. Уясните различие между разными граничными условиями: I рода - задание значения температур на поверхности тела; II рода - задание на границе плотности теплового потока (температурного градиента); III рода - установление линейной зависимости теплового потока от температурного напора на границе в виде закона Ньютона-Рихмана $q = \alpha(t_n - t_{cp})$. Здесь нужно понять, что коэффициент теплоотдачи α моделирует влияние на границу тела окружающей среды и зависит от ее физических свойств и условий движения.
- Разберитесь с методикой решения дифференциального уравнения теплопроводности для отыскания стационарных температурных полей в простейших ситуациях плоского и цилиндрического слоев.

- *Обратите внимание на особенность теплоизоляции цилиндрических тел. Здесь в отличие от плоских поверхностей существует ограничение на выбор материала теплозащитного покрытия, вызванное существованием критического диаметра, при котором тепловые потери достигают максимума.*
- *Расчет нестационарных температурных полей путем решения уравнения теплопроводности связан со значительными трудностями математического характера. Для приобретения навыков приближенной инженерной оценки процессов нагрева или охлаждения тел с маленьким термическим сопротивлением изучите метод регулярного теплового режима.*

Тема 2. Конвективный теплообмен (конвекция).

Механизм переноса теплоты в движущейся среде. Свободное и вынужденное движение теплоносителя. Ламинарный и турбулентный режим течения. Закон конвективной теплоотдачи (закон Ньютона-Рихмана). Коэффициент теплоотдачи.

Математическая формулировка задачи расчета коэффициента теплоотдачи. Уравнение теплоотдачи в пограничном слое. Уравнение переноса тепловой энергии. Уравнение движения вязкого теплоносителя (уравнение Навье-Стокса).

Основы теории подобия. Условия подобия физических явлений, индикаторы подобия. Критериальные числа подобия Нуссельта (Nu), Пекле (Pe), Рейнольдса (Re), Грасгофа (Gr), Прандтля (Pr).

Критериальные уравнения конвективной теплоотдачи. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя по трубам. Теплоотдача при свободном движении теплоносителя в неограниченном пространстве (горизонтально расположенная труба).

- *В предыдущем разделе курса, при рассмотрении граничных условий третьего рода уже фигурировали закон Ньютона-Рихмана и коэффициент теплоотдачи α , численное значение которого считалось известным. Основной задачей раздела, посвященного конвективному механизму переноса теплоты движущейся средой (теплоносителем), является изучение*

методик определения коэффициента теплоотдачи и применения их для практических расчетов. Здесь можно выделить два пути решения проблемы. Первый из них заключается в точном расчете α из уравнения теплоотдачи в пограничном слое с использованием уравнения переноса тепловой энергии и уравнения движения вязкого теплоносителя (уравнение Навье-Стокса). Такая процедура, связанная с решением нескольких дифференциальных уравнений, весьма трудоемка даже для современных компьютерных средств вычислений. Второй путь создания методики определения коэффициента теплоотдачи базируется на физическом моделировании и обобщении экспериментальных данных с помощью теории подобия в виде критериальных уравнений теплоотдачи.

- Здесь нужно твердо усвоить физический смысл отдельных критериальных чисел подобия, участвующих в описании конвективного переноса теплоты: значением Nu оценивается интенсивность теплоотдачи с поверхности твердого тела в подвижную окружающую среду, критерии Re и Gr характеризуют интенсивность вынужденного и свободного движения теплоносителя, величина Pr показывает соотношение его механических и тепловых свойств.
- Необходимо детально освоить процедуру расчета коэффициента теплоотдачи α с применением критериальных уравнений теплоотдачи вида $Nu = C Gr^{n_1} Re^{n_2} Pr^{n_3}$. Рассмотрите теплообмен при вынужденном движении теплоносителя по трубам, а также при его свободной циркуляции. Обратите внимание на методику получения критериальных уравнений путем обобщения экспериментальных данных по теплоотдаче в подобных условиях.

Тема 3. Радиационный теплообмен (излучение).

Механизм переноса теплоты посредством электромагнитного излучения. Поверхностная плотность излучения. Спектральное и интегральное излучение. Радиационные характеристики тел. Абсолютно черное, белое и прозрачное тела.

Основные законы излучения: закон Планка, закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа. Степень черноты. Эффективное излучение.

Задачи расчета стационарного лучистого теплообмена в простейших ситуациях. Теплообмен между двумя параллельными пластинами. Лучистый теплообмен при наличии экрана.

- *Прежде всего нужно усвоить принципиальное отличие радиационного механизма переноса теплоты, связанного с электромагнитным излучением, от теплопроводности и конвекции.*
- *Обратите внимание на то, что описание закономерностей радиационного теплопереноса проводится с использованием абсолютной температуры T , К.*
- *Подробно изучите содержание и физическое проявление основных законов излучения. Особое внимание следует уделить закону Стефана-Больцмана, основного с точки зрения инженерного применения ($E = \varepsilon \sigma T^4$). Нужно усвоить, что степень черноты ε не определяет цвет тела, а характеризует его излучательную способность относительно абсолютно черного тела.*
- *Применение законов теплового излучения нужно рассмотреть на примере теплообмена между параллельными пластинами. Здесь обратите внимание на понятие приведенной степени черноты, как характеристики излучательной способности всей системы тел, участвующих в теплообмене. Изучите вопросы экранирования, как эффективного средства борьбы с тепловым излучением. Выясните, как изменится лучистый тепловой поток при наличии экрана, какую роль при этом имеет его степень черноты.*

Тема 4. Тепломассообменные аппараты

Тепломассообменные устройства, их классификация и характеристика. Рекуперативные, регенеративные и смесительные теплообменники, теплогенерирующие устройства, холодильная и криогенная техника. Прямой и проверочный тепловой расчёт рекуперативного теплообменника: определение среднего температурного перепада и коэффициента теплопередачи, основные расчетные

соотношения, определение температуры теплоносителей на выходе из теплообменника. Топливо и основные положения теории горения. Применение теплоты в отрасли. Вопросы экологии, охраны окружающей среды и энергосбережения. Основные направления экономии энергоресурсов, вторичные энергетические ресурсы.

- *Рассмотрите классификацию теплообменных аппаратов по принципу действия: рекуператоры, регенераторы, смесители. Уясните основные принципы работы устройств каждого типа.*
- *Наиболее распространенными являются рекуперативные теплообменники, поэтому при теоретическом анализе теплопередачи можно ограничиться рассмотрением только этого типа устройств. Детально разберите методику расчета рекуперативного теплообменника для прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей. Обратите внимание на понятия средне логарифмического и среднеарифметического температурного напора. Научитесь анализировать изменение температур теплоносителей в зависимости от схемы их движения и значения водяных эквивалентов.*

Контрольные задания

К решению задач контрольного задания следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса. Задачи составлены по вариантной системе, в которой исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по последней и предпоследней цифрам шифра. При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие правила:

- а) выписывать условие задачи и исходные данные;
- б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом;
- в) вычисления проводить в единицах системы СИ;
- г) постановки задач и основные результаты решения сопровождать графическими иллюстрациями.

Задача 1

Газовая смесь массой m , имеющая начальную плотность $0,9 \text{ кг/м}^3$, в ходе политропного процесса сжимается от давления $0,1 \text{ МПа}$ до давления P_k . При этом её температура достигает значения T_k .

Определить:

- удельную газовую постоянную смеси;
 - показатель политропы сжатия;
 - подводимую теплоту, изменение внутренней энергии и энтальпии, а также работу, совершенную газом;
 - изобразить процесс сжатия на обобщенных $P-v$ и $T-s$ диаграммах.
- Температурной зависимостью теплоемкости пренебречь.
- Смесь считать идеальным двухатомным газом.
- Контроль вычислений энергетических характеристик процесса выполнить по первому закону термодинамики.
- Данные для расчета выбрать из таблицы 1.

Таблица 1.

Последняя цифра шифра	m , кг	P_k , кПа	Предпоследняя цифра шифра	Состав смеси				T_k , °C
				доли	H ₂	N ₂	O ₂	
0	0,3	465	0	массовые	0,06	0,1	0,84	115
1	0,6	430	1	объёмные	0,1	0,2	0,7	25
2	0,9	395	2	массовые	0,04	0,3	0,66	40
3	1,2	360	3	объёмные	0,2	0,4	0,4	60
4	1,5	325	4	массовые	0,02	0,5	0,48	75
5	1,8	290	5	объёмные	0,3	0,6	0,1	200
6	2,1	255	6	массовые	0,01	0,7	0,29	-20
7	2,4	220	7	объёмные	0,4	0,6	-	15
8	2,7	185	8	массовые	-	0,7	0,3	75
9	3,0	150	9	объёмные	0,5	0,1	0,4	130

Задача 2

Произвести термодинамический расчет многоступенчатого поршневого компрессора, производящего G кг в секунду сжатого до давления P_k воздуха,

если предельно допустимое повышение температуры газа в каждой ступени Δt , а сжатие происходит с показателем политропы n . Состояние воздуха на входе в компрессор: $P_1 = 0,1$ МПа; $t_1 = 27^\circ\text{C}$. В промежуточных теплообменниках сжатый воздух охлаждается изобарно до первоначальной температуры t_1 . Определить:

- количество ступеней компрессора;
 - температуру воздуха после сжатия в каждой ступени;
 - количество теплоты, отводимое в систему охлаждения цилиндров компрессора и в промежуточных теплообменниках;
 - объемную производительность компрессора по входу и выходу.
- *Компрессор считать идеальным, трением и вредным пространством пренебречь.*
 - *Степень повышения давления в каждой ступени компрессора считать одинаковыми.*
 - *Данные для расчета выбрать из таблицы 2.*

Таблица 2.

Последняя цифра шифра	Δt , °C	P_k , МПа		Предпоследняя цифра шифра	n	G , кг/с
0	80	6		0	1,15	0,65
1	95	8		1	1,17	0,6
2	110	10		2	1,19	0,55
3	125	12		3	1,21	0,5
4	140	14		4	1,23	0,35
5	155	16		5	1,25	0,4
6	170	18		6	1,27	0,35
7	185	20		7	1,29	0,3
8	200	22		8	1,31	0,25
9	215	24		9	1,33	0,2

Задача 3

Рассчитать цикл теплового двигателя с максимальной температурой рабочего тела t_3 , в котором сжатие и расширение рабочего тела осуществляются по политропам с показателями n_1 и n_2 соответственно.

Определить:

- параметры состояния рабочего тела в характерных точках цикла;
 - подведенную и отведенную теплоту;
 - работу цикла и его КПД;
 - построить $P-v$ диаграмму цикла.
- В качестве рабочего тела рассматривать воздух, зависимость его теплоемкости от температуры - пренебречь.
 - Начальное состояние рабочего тела соответствует нормальным условиям.
 - Тип цикла и данные для расчета выбрать из таблицы 3.

Таблица 3.

Последняя цифра шифра	Вид цикла		Предпоследняя цифра шифра	$t_3, ^\circ\text{C}$	n_1	n_2
0	ДВС $v = \text{const}$ (Отто)	$\varepsilon = 9$	0	1100	1,38	1,19
1	ДВС $P = \text{const}$ (Дизеля)	$\varepsilon = 13$	1	950	1,37	1,20
2	ГТУ ($v = \text{const}$)	$\pi = 8$	2	1000	1,36	1,21
3	ГТУ ($P = \text{const}$)	$\pi = 9$	3	875	1,35	1,22
4	ДВС $v = \text{const}$ (Отто)	$\varepsilon = 10$	4	1200	1,34	1,23
5	ДВС $P = \text{const}$ (Дизеля)	$\varepsilon = 14$	5	800	1,33	1,24
6	ГТУ ($v = \text{const}$)	$\pi = 10$	6	1250	1,32	1,25
7	ГТУ ($P = \text{const}$)	$\pi = 11$	7	950	1,31	1,26
8	ДВС $v = \text{const}$ (Отто)	$\varepsilon = 11$	8	1000	1,30	1,27
9	ДВС $P = \text{const}$ (Дизеля)	$\varepsilon = 15$	9	1100	1,29	1,28

Задача 4

По стальной трубе, с внешним диаметром d_n и толщиной стенки δ течет вода, средняя температура которой t_c . По внутренней (или наружной) поверхно-

сти труба покрыта слоем накипи $\lambda_{\text{нак}}=0,8 \text{ Вт}/(\text{м К})$, толщиной 2 мм. Снаружи трубопровод охлаждается воздухом с температурой $t_{\text{воз}}$ при коэффициенте теплоотдачи α_2 . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубопровода α_1 , коэффициент теплопроводности материала трубы $\lambda_{\text{тр}}=28 \text{ Вт}/(\text{м К})$.

Определить:

- коэффициент теплопередачи;
 - погонный тепловой поток;
 - температуры на поверхностях трубы и накипи;
 - построить график изменения температуры по толщине трубопровода.
- *Тепловой режим считать стационарным.*
- *Лучистым теплообменом пренебречь.*
- *Данные для расчета выбрать из таблицы 4.*

Таблица 4.

Последняя цифра шифра	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$D_n, \text{мм}$	$\delta, \text{мм}$	Предпоследняя цифра шифра	Поверхность теплоизоляции	$t_{\text{воз}}, ^\circ\text{C}$	α_1	α_2
0	70	40	8	0	внутренняя	-20	600	10
1	80	50	10	1	наружная	0	700	20
2	90	60	9	2	внутренняя	20	800	30
3	100	70	7	3	наружная	-5	900	40
4	110	80	11	4	внутренняя	15	1000	50
5	120	90	15	5	наружная	180	1100	50
6	110	100	12	6	внутренняя	200	1200	40
7	100	110	10	7	наружная	190	1300	30
8	90	120	15	8	внутренняя	250	1400	20
9	80	130	20	9	наружная	225	1500	10

Задача 5.

Определить потери теплоты в единицу времени с горизонтально (или вертикально) расположенной цилиндрической трубы диаметром d и длиной 2,5 м в окружающую среду, если температура стенки трубы t_c , а температура воздуха $t_{\text{в}}$.

- *Для определения коэффициента теплоотдачи использовать критериальные уравнения теплоотдачи при поперечном обтекании.*

- *Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре.*
- *Лучистым теплообменом пренебречь.*
- *Данные для расчета выбрать из таблицы 5.*

Таблица 5.

Последняя цифра шифра	t_c , °C	t_g , °C	Предпоследняя цифра шифра	d , мм	Ориентация трубы	Вид конвекции
0	250	15	0	60	горизонтальная	свободная
1	240	20	1	90	вертикальная	вынужденная (1 м/с)
2	230	25	2	120	горизонтальная	смешанная (0,1 м/с)
3	220	30	3	150	вертикальная	свободная
4	210	25	4	180	горизонтальная	вынужденная (3 м/с)
5	200	10	5	210	вертикальная	смешанная (0,05 м/с)
6	190	5	6	240	горизонтальная	свободная
7	180	0	7	270	вертикальная	вынужденная (5 м/с)
8	170	-10	8	300	горизонтальная	вынужденная (10 м/с)
9	160	-20	9	330	вертикальная	свободная

Литература

Основная

1. Теплотехника: Учебник для вузов / Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М., ред. В.Н.Луканин.- М. : Высш. шк., 1999. – 671 с.

Дополнительная

1. Крутов В.И. Теплотехника. М., 1986.
2. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М., 1988.
3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М., 1980.
4. Болгарский А.В., Мухачев Г.А., Щукин В.Н. Термодинамика и теплопередача. М., 1975.