**Термодинамика и теплопередача**

Программа теоретического курса

**Часть I.   Техническая термодинамика**

**Тема 1.** Основные понятия и определения

Предмет технической термодинамики. Термодинамическая система. Основные параметры состояния: абсолютное давление, удельный объём, абсолютная температура. Термодинамические процессы: 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.

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=RT****), связывающее основные параметра состояния газовой среды: абсолютное давление****P****, удельный объем****v****и абсолютную температуру****T****. Необходимо уяснить различие между понятиями универсальной газовой постоянной****R****, являющейся абсолютной константой и имеющей численное значение 8314 Дж/(кмоль\*К), и удельной газовой постоянной****R****, величина которой зависит от молекулярной массы каждого  конкретного газа********и определяется соотношением вида****R = R/ ****.*

*При рассмотрении теплоемкости следует освоить методику расчета средней теплоемкости и уяснить зависимость теплоемкости газа от вида термодинамического процесса, что находит отражение в уравнении Майера****cp-cv=R****. Обратите внимание на понятие показатель адиабаты****k****, который вводится соотношением****k = cp/ cv****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****gi****и объемными****ri****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 заключается 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****Pvn****=const;****Tvn-1****=const;*

***TnP1-n****=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****-****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****n*** *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****=********).*

*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 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 дух изотермических и двух адиабатных процессов. Термический к.п.д. этого цикла зависит только от температур тепловых резервуаров*

***t= 1-Tх/ Tн****. 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.** Элементы термодинамики потока \*

            Основные понятия. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Адиабатное истечение. Параметры заторможенного потока. Влияние на поток геометрии канала. Сопло и диффузор. Критическая скорость и критические параметры  при течении  в сопле. Сопло Лаваля.

*Здесь нужно усвоить физический смысл каждого из членов уравнения первого закона термодинамики, как уравнения энергии газового потока.*

*При рассмотрении сопловых каналов уясните условия перехода скорости потока через скорость звука.  Разберитесь с особенностями профилирования каналов для получения сверхзвуковых потоков в комбинированном сопле Лаваля.*

**Тема 5.** Циклы тепловых машин

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 газ, 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 подвода 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. Теория тепломассообмена**

**Тема 1.** 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 конвекции, 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=- grad t****минус отражает факт противонаправленности векторов плотности теплового потока и температурного градиента. Здесь необходимо получить представления о численных значениях коэффициента теплопроводности********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 = ( tп-tср)****. Здесь нужно понять, что коэффициент теплоотдачи********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.

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********, 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********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********с применением критериальных уравнений теплоотдачи вида****Nu = C  Grn1Ren2Prn3****. 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 (лучистый) теплообмен.

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 =  T 4****).  Нужно усвоить, что степень черноты********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.** Основы расчета теплообменных аппаратов

            Виды теплообменных аппаратов. Расчет теплообменников рекуперативного типа. Основные схемы движения теплоносителей. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Поверхность теплообмена и  изменение температур теплоносителей.

*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 среднелогарифмического 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** номера студента-заочника по списку в журнале группы. **Работы, выполненные не по своему варианту, не рассматриваются.**

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие условия:

а) выписывать условие задачи и исходные данные;

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

в) вычисления проводить в единицах СИ, показывать ход решения;

г) постановки задач и основные результаты решения сопровождать графическими иллюстрациями.

После решения задачи нужно дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы. Всегда, если это возможно, нужно осуществлять контроль своих действий и оценивать достоверность полученных численных данных.

**Контрольная работа №1**

(к разделу "Техническая термодинамика")

**Задача 1.** Произвести расчет термодинамических параметров газовой смеси, совершающей изобарное расширение до объема ***V2***, если известны начальная температура ***t1****,*начальное  давление***P1*** и массасмеси***m***.

            Определить: газовую постоянную и кажущуюся молекулярную массу, начальный объем ***V1***, основные параметры в конечном состоянии, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, теплоту и работу расширения в процессе *1-2*.         Исходные данные для решения задачи приведены в **таблицах 1, 2.**

*При определении молярной массы и газовой постоянной обратить внимание на способ задания смеси.*

*Теплоемкости компонентов смеси рассчитать с использованием закона Майера.*

*Для расчета параметров состояния использовать уравнение состояния идеального газа.*

*Правильность вычисления энергетических параметров контролировать по выполнению первого закона термодинамики.*

**Таблица 1**

Средняя характеристика природного газа из магистральных газопроводов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Последняя цифра** номера по списку | Состав газа **по объему, %**   (остальное H2O) | | | | | | |
| СН4 | С2Н6 | С3Н8 | С4Н10 | С5Н | N2 | CO2 |
| 0 | 68,5 | 14,5 | 7,6 | 3,5 | 1,0 | 3,5 | 1,4 |
| 1 | 93,5 | 2,0 | 0,3 | 0,01 | 0,1 | 2,4 | 0,4 |
| 2 | 96,6 | 0,2 | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 1,0 | 0,1 |
| 3 | 95,9 | 0,3 | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 0,6 | 0,1 |
| 4 | 94,2 | 3,0 | 0,9 | 0,17 | 0,22 | 0,9 | 0,3 |
| 5 | 94,1 | 2,8 | 0,7 | 0,17 | 0,10 | 1,0 | 1,0 |
| 6 | 90,3 | 2,8 | 1,1 | 0,30 | 0,65 | 4,2 | 0,3 |
| 7 | 96,6 | 1,4 | 0,4 | 0,08 | 0,60 | 0,3 | 0,2 |
| 8 | 86,4 | 3,9 | 1,7 | 0,30 | 0,24 | 0,1 | 0,1 |
| 9 | 94,0 | 2,8 | 0,4 | 0,3 | 0,10 | 2,0 | 0,4 |

**Таблица 2**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Последняя цифра** номера по списку | *P1* , МПа | *t1 ,*С | **Предпоследняя цифра** номера по списку | *m*, кг | * = V2/V1* |
| 0 | 1 | 30 | 0 | 2 | 3,5 |
| 1 | 2 | 40 | 1 | 3 | 4 |
| 2 | 3 | 50 | 2 | 4 | 4,5 |
| 3 | 4 | 60 | 3 | 5 | 5 |
| 4 | 5 | 70 | 4 | 6 | 5,5 |
| 5 | 6 | 80 | 5 | 7 | 6 |
| 6 | 7 | 90 | 6 | 8 | 6,5 |
| 7 | 8 | 100 | 7 | 9 | 7 |
| 8 | 9 | 110 | 8 | 10 | 7,5 |
| 9 | 10 | 120 | 9 | 11 | 8 |

**Задача 2.**  Для технологических целей необходимо иметь ***G*** килограммов в секунду **воздуха** при давлении ***Pk*.**

Рассчитать идеальный многоступенчатый поршневой компрессор.

**Определить:**

**-** количество ступеней компрессора и степень повышения давления в каждой ступени;

**-**количество теплоты отведенной от воздуха в цилиндрах компрессора и в промежуточном холодильнике;

**-** конечную температуру и объемную производительность компрессора.

**-** изобразить цикл на рабочей диаграмме.

Давление воздуха на входе в первую ступень компрессора  ***P1***  = 0,1 МПа и температура  ***t1***  = 27 С. Допустимое повышение температуры воздуха в каждой ступени ***t*** , показатель политропы сжатия ***n***, конечное давление  ***Pk*** и массовый расход воздуха ***G***выбрать из **таблицы 3.**

*При решении задачи трение и* ***вредное пространство***

***не учитывать.***

*Степень повышения давления в каждой ступени компрессора считать одинаковыми и привести в соответствие с допустимым повышением температуры****t****.*

*Процесс в промежуточном холодильнике считать* ***изобарным*** *охлаждением до начальной температуры****t1****.*

**Таблица 3**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Последняя цифра** номера по списку | *t ,*С | *Pк* , МПа | **Предпоследняя цифра** номера по списку | *n* | *G,*кг/с |
| 0 | 165 | 15 | 0 | 1,23 | 0,2 |
| 1 | 170 | 16 | 1 | 1,24 | 0,3 |
| 2 | 175 | 17 | 2 | 1,25 | 0,4 |
| 3 | 180 | 18 | 3 | 1,26 | 0,5 |
| 4 | 185 | 19 | 4 | 1,27 | 0,6 |
| 5 | 190 | 20 | 5 | 1,28 | 0,7 |
| 6 | 195 | 21 | 6 | 1,29 | 0,8 |
| 7 | 200 | 22 | 7 | 1,30 | 0,9 |
| 8 | 205 | 23 | 8 | 1,31 | 1,0 |
| 9 | 210 | 24 | 9 | 1,32 | 1,1 |

**Задача 3.** Рассчитать теоретический цикл двигателя внутреннего сгорания для привода компрессора из задачи 2, если известны степень сжатия  ****** *,* максимальная температура цикла  ***t3***  и механический КПД привода  ***м***. Определить:

      параметры рабочего тела в характерных точках цикла;

      подведенную и отведенную теплоту, работу и термический КПД цикла;

      мощность двигателя и массовый расход рабочего тела;

      построить цикл на рабочей диаграмме.

Тип двигателя и данные для расчета приведены в **таблице 4.**

*При решении задачи в качестве рабочего тела взять* ***воздух.******Начальное состояние*** *соответствует нормальным условиям. Теплоемкость воздуха принять не зависящей от температуры.*

*Расчет цикла произвести на 1 кг рабочего тела.* ***Процессы*** *сжатия* ***1-2*** *и расширения* ***3-4*** *считать* ***адиабатными.***

*Мощность привода определить с учетом механического КПД.*

**Таблица 4**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Последняя цифра** номера по списку | **Вид цикла** | Степень сжатия **(степень повышения давления**) | **Предпоследняя цифра** номера по списку | ***t3*,С** | **м** |
| 0 | Отто | **= 9 | 0 | 1000 | 0,82 |
| 1 | Дизель | **= 13 | 1 | 1250 | 0,84 |
| 2 | Сабатэ-Тринклера | **=9  (*** =4)*** | 2 | 750 | 0,85 |
| 3 | Сабатэ-Тринклера | **=11  (*** =6)*** | 3 | 775 | 0,86 |
| 4 | Отто | **= 10 | 4 | 1100 | 0,84 |
| 5 | Дизель | **= 14 | 5 | 1300 | 0,81 |
| 6 | Сабатэ-Тринклера | **=15  (*** =8)*** | 6 | 850 | 0,79 |
| 7 | Сабатэ-Тринклера) | **=14  (*** =7)*** | 7 | 750 | 0,77 |
| 8 | Отто | **= 11 | 8 | 1200 | 0,80 |
| 9 | Дизель | **= 15 | 9 | 1350 | 0,82 |

**Контрольная работа №2**

(к разделу "Основы тепло- и массообмена")

**Задача 4.** По трубопроводу с внешним диаметром ***dн***  и толщиной стенки ****** течет газ со средней температурой ***tГ*** . Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке ***1***. Снаружи трубопровод охлаждается водой со средней температурой  ***tВ*** . Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде ***2***.

           Определить коэффициент теплопередачи от газа к воде, погонный тепловой поток и температуры внутренней и наружной поверхностей трубы. Данные для решения задачи выбрать из **таблицы 6.**

*Тепловой режим считать стационарным. Решение задачи базируется на теме «Теплопередача через цилиндрическую стенку».*

*Лучистым теплообменом пренебречь.*

**Таблица 6**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра номера по списку | *tГ ,*С | *dн* , мм | ** , мм | Предпоследняя цифра номера по списку | *tВ ,*С | *1* | *2* |
| 0 | 700 | 100 | 4 | 0 | 60 | 60 | 4000 |
| 1 | 800 | 110 | 5 | 1 | 70 | 54 | 4200 |
| 2 | 900 | 120 | 6 | 2 | 80 | 52 | 4400 |
| 3 | 1000 | 130 | 7 | 3 | 90 | 50 | 4600 |
| 4 | 1100 | 140 | 8 | 4 | 100 | 44 | 4800 |
| 5 | 1200 | 150 | 9 | 5 | 110 | 42 | 5000 |
| 6 | 1100 | 160 | 10 | 6 | 120 | 40 | 5200 |
| 7 | 1000 | 170 | 9 | 7 | 130 | 36 | 5400 |
| 8 | 900 | 180 | 8 | 8 | 140 | 32 | 5600 |
| 9 | 800 | 190 | 7 | 9 | 150 | 30 | 5800 |

**Задача 5.** Определить потери теплоты в единицу времени с одного погонного метра горизонтально расположенной цилиндрической трубы диаметром ***d*** в окружающую среду, если температура стенки трубы ***tс*** , а температура воздуха ***tв***.

Данные для решения приведены в **таблице 7.**

*Коэффициент теплоотдачи определять из критериальных уравнений теплоотдачи при поперечном обтекании. Особое внимание обратить на вид конвекции, режим течения и определяющую температуру. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре.*

*Лучистым теплообменом пренебречь.*

**Таблица 7**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра номера по списку | *tС ,*С | *tВ ,*С | Предпоследняя цифра номера по списку | *dн* , мм | Вид  конвекции |
| 0 | 250 | 15 | 0 | 250 | свободная |
| 1 | 240 | 20 | 1 | 260 | вынужденная (1 м/с) |
| 2 | 230 | 25 | 2 | 270 | смешанная (0,1 м/с) |
| 3 | 220 | 30 | 3 | 280 | свободная |
| 4 | 210 | 25 | 4 | 290 | вынужденная (3 м/с) |
| 5 | 200 | 10 | 5 | 300 | смешанная (0,05 м/с) |
| 6 | 190 | 5 | 6 | 310 | свободная |
| 7 | 180 | 0 | 7 | 320 | вынужденная (5 м/с) |
| 8 | 170 | -10 | 8 | 330 | вынужденная (10 м/с) |
| 9 | 160 | -20 | 9 | 340 | вынужденная (15 м/с) |

**Задача 6.** Определить плотность лучистого теплового потока между двумя параллельно расположенными плоскими стенками, имеющими температуру ***t1*** и ***t2*** и степени черноты ***1*** и  ***2***. Как изменится интенсивность теплообмена при установке экрана со степенью черноты ***э***.

Исходные данные для решения задачи приведены в **таблице 8.**

*Условия теплообмена считать стационарными. Теплопроводностью и конвективным теплообменом в зазоре между пластинами пренебречь.*

*В качестве экрана взять тонкий металлический лист.*

**Таблица 8**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра номера по списку | *1* | *2* | *э* | Предпоследняя цифра номера по списку | *t1 ,*С | *t2 ,*С |
| 0 | 0,50 | 0,42 | 0,060 | 0 | 200 | 15 |
| 1 | 0,55 | 0,44 | 0,055 | 1 | 250 | 20 |
| 2 | 0,60 | 0,46 | 0,050 | 2 | 300 | 25 |
| 3 | 0,65 | 0,48 | 0,045 | 3 | 350 | 30 |
| 4 | 0,70 | 0,50 | 0,040 | 4 | 400 | 35 |
| 5 | 0,75 | 0,52 | 0,035 | 5 | 450 | 40 |
| 6 | 0,80 | 0,54 | 0,030 | 6 | 500 | 45 |
| 7 | 0,85 | 0,56 | 0,025 | 7 | 550 | 50 |
| 8 | 0,90 | 0,58 | 0,020 | 8 | 600 | 55 |
| 9 | 0,95 | 0,60 | 0,015 | 9 | 650 | 60 |

Литература

Основная:

1. Теплотехника: Учебник для вузов/В.Н.Луканин, М.Г.Шатров и др.

М., Высшая школа, 2000г.

2. Теплотехника: Конспект лекций /И.Е.Иванов, В.Е.Ерещенко/ М.,МАДИ, 2003г.

3. Теплотехника: Сборник задач / И.Е.Иванов, С.А.Пришвин и др.

М.,МАДИ, 2008г.

Дополнительная:

1. Нащекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.

М., Высшая школа, 1980г.

2. Теплотехника: Учебник для втузов /Под ред. А.П.Баскакова.

М., Энергоиздат, 1999г.

3.Техническая термодинамика и теплотехника: Учебное пособие для вузов

/Под ред. А.А.Захаровой.- М., Академия, 2008 г.