

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
Высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ТЕПЛОФИЗИКА

сборник учебно-методических материалов

для направлений подготовки 20.03.01 – Техносферная безопасность

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Составитель: Хондошко Ю.В.

Теплофизика: сборник учебно-методических материалов для направлений подготовки 20.03.01. –
Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017

©Амурский государственный университет, 2017
© Кафедра энергетики, 2017
© Хондошко Ю.В., составитель

Содержание

1. Краткий курс лекций	4
2. Методические рекомендации к практическим занятиям	12
3. Методические рекомендации к лабораторным занятиям	27
4. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов	28
5. Библиографический список	31

1. КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Тема 1. Основные понятия и исходные положения дисциплины

Термодинамика - это наука, изучающая законы превращения энергии в различных процессах, сопровождающихся тепловыми эффектами.

Термодинамика базируется на основных законах природы (первом и втором началах термодинамики) и носит феноменологический характер, привлекая для своих исследований опытные данные.

Термодинамика рассматривает системы, состоящие из большого, но конечного числа частиц, она не изучает процессы на молекулярном уровне и оперирует макровеличинами - термодинамическими параметрами.

Совокупность последовательных состояний, проходящих термодинамической системой, называется термодинамическим процессом.

Если термодинамическая система проходит практически равновесные состояния, то такой процесс называется квазистатическим. В пределе, когда процесс протекает бесконечно медленно, мы имеем равновесный или обратимый процесс.

Под обратимым понимают такой процесс, когда при совершении прямого и обратного процесса термодинамическая система приходит в исходное состояние, а в окружающей среде не происходит ни каких изменений.

В диаграммах состояния можно изобразить только квазистатические или равновесные процессы. Под квазистатическим процессом понимают такой процесс, когда скорость процесса намного меньше скорости релаксации

Термодинамический процесс – изменение состояния термодинамической системы в результате ее взаимодействия с окружающей средой. В термодинамическом процессе происходит обмен энергией между системой и телами окружающей среды. Если в ходе процесса происходит нарушение внутреннего равновесия в термодинамической системе, то такой процесс называется неравновесным. Полное описание неравновесных процессов методами термодинамики невозможно вследствие сложного характера происходящих в системе изменений

Тема 2. Термодинамические системы

Термодинамическая система- это совокупность макротел, находящихся между собой и окружающей средой в тепловом и механическом взаимодействии.

Термодинамическая система может быть закрытой (с подвижной или неподвижной границами) и открытой, когда через нее проходит поток массы.

Если термодинамическая система не обменивается теплотой с окружающей средой, то такая система называется адиабатической.

Термодинамическая система может быть гомогенной и гетерогенной.

В гомогенной системе свойства вещества остаются неизменными во всех точках или плавно изменяются, например, в поле гравитационных или иных массовых сил.

Если термодинамическая система состоит из подсистем с различными физическими свойствами, то такая система называется гетерогенной. В этом случае считают, что физические свойства на границе подсистем изменяются скачком.

В действительности изменение свойств происходит на длине свободного пробега молекулы.

Параметры термодинамической системы - это макровеличины, характеризующие физическое состояние термодинамической системы. К ним относятся температура T , давление - p , объем - V .

Температура является одним из основных термических параметров. Температура есть мера нагретости тела. Температура тела, измеренная термометром, называется эмпирической (t). К понятию абсолютной температуры (T) приводит кинетическая теория газов. Между средней кинетической энергией поступательного движения молекул и температурой существует связь:

Давление, как и температура, - статистическая величина. Удельный объем так же как температура и давление, характеризует физическое состояние тела.

Тема 3. Теплоемкость газов

При сообщении телу некоторого количества теплоты изменяется его температура (за исключением агрегатных превращений и вообще изотермических процессов). Характеристиками такого изменения являются различные теплоемкости: теплоемкость тела C_T , удельная теплоемкость вещества c , молярная теплоемкость C .

Удельная теплоемкость c численно равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 К.

Теплоемкость тела C_T численно равна количеству теплоты, необходимому для изменения температуры тела на 1 К:

Молярная теплоемкость C — величина, равная количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 моль вещества на 1 К.

В отличие от такой, например, характеристики вещества, как его молекулярная масса M_r удельная теплоемкость вещества не является неизменным параметром. Удельная теплоемкость может резко изменяться при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое. Теплоемкость зависит и от условий, при которых происходит передача теплоты телу. Последнее особенно относится к газам. При адиабатном сжатии (расширении) газ не получает теплоты и не передает ее окружающим телам ($Q = 0$), а температура газа изменяется ($\Delta T \neq 0$). Наибольший интерес представляет теплоемкость для случаев, когда нагревание происходит при постоянном объеме или при постоянном давлении. В первом случае теплоемкость называется теплоемкостью при постоянном объеме или изохорной теплоемкостью (c_V, C_V), во втором — теплоемкостью при постоянном давлении или изобарной теплоемкостью (c_p, C_p).

Теплоемкость при постоянном объеме равна изменению внутренней энергии газа при изменении температуры на 1 К.

Из-за малости величины коэффициента объемного расширения твердых и жидких тел работой, совершаемой ими при нагревании при постоянном давлении, можно пренебречь и считать, что теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении практически совпадают. Поэтому теплоемкость твердых и жидких тел при заданной температуре может считаться вполне определенной величиной.

Тема 4. Внутренняя энергия. Работа

Любая термодинамическая система обладает определенным запасом энергии. Часть этого запаса зависит только от собственных, внутренних свойств системы, другая — от внешних условий (движение как целого, взаимодействие с полями). Внутренняя энергия — часть полного запаса энергии термодинамической системы, которая не связана с положением системы в поле внешних сил и ее движением относительно тел окружающей. Внутренняя энергия является экстенсивной величиной, т.е. зависит от количества вещества в системе. Внутренняя энергия термодинамической системы равна сумме внутренних энергий составляющих ее частей (свойство аддитивности). Внутренняя энергия является функцией состояния неподвижной замкнутой термодинамической системы. Для открытых систем дополнительно должна вводиться кинетическая и потенциальная энергия

В термодинамике изучают изменение внутренней энергии, рассматривая взаимодействие термодинамической системы с окружающей средой. Характер изменений в термодинамической системе зависит не от свойств окружающих тел, а от способа передачи энергии, т.е. от рода взаимодействия. Воздействия каждого рода, исходящие от всех тел расширенной системы, алгебраически суммируются.

Первое начало термодинамики для произвольной термодинамической системы со многими степенями свободы: изменение внутренней энергии термодинамической системы равно алгебраической сумме внешних воздействий. Обычно вводят различные названия для определенных типов внешних воздействий. Направление внешних воздействий устанавливается «правилом знаков», определяющим какое воздействие считается положительным.

В технической термодинамике количество термического воздействия (количество теплоты) считается положительной величиной, если в результате теплового воздействия внутренняя энергия

термодинамической системы возрастает. Остальные воздействия называются работой (механической или немеханической). В технической термодинамике выделяют работу объемной деформации системы и работу, не связанную с объемной деформацией. Механическая работа объемной деформации считается положительной, если внутренняя энергия термодинамической системы уменьшается (система совершает работу над окружающей средой).

Для термодинамической системы с двумя степенями свободы (тепловой и механической) первое начало термодинамики имеет следующую формулировку: Изменение внутренней энергии термодинамической системы равно разности между количеством теплоты и работой.

Тема 5. Второй закон термодинамики

Если первый закон термодинамики устанавливает количественную связь между теплотой, работой и внутренней энергией, то второй закон термодинамики характеризует качественную сторону процессов перехода одного вида энергии в другой.

Второй закон термодинамики – это закон об энтропии – функции состояния, которая в изолированной системе остается постоянной, если протекают идеальные процессы, или возрастает при необратимых процессах.

Второй закон термодинамики показывает направление развития процесса.

Формулировки второго закона термодинамики являются обобщением явлений, имеющих место в природе.

Известно, что теплота не может самопроизвольно переходить от менее нагретых тел к более нагретым, поэтому постулат Клаузиуса гласит: “Невозможен процесс, единственным конечным результатом которого был бы переход теплоты от тела с данной температурой к телу с более высокой температурой”.

Постулат Кельвина налагает определенные условия на процесс превращения теплоты в работу: “Невозможен процесс, единственным конечным результатом которого будет превращение в работу теплоты, извлеченной из источника, имеющего всюду одинаковую температуру”.

Постулат Планка утверждает, что невозможно создать периодически действующую машину, единственным результатом действия которой было бы совершение механической работы за счет охлаждения одного из источников теплоты. Существуют и другие формулировки второго закона термодинамики. Так, по Освальду, невозможно создать вечный двигатель второго рода.

Второе начало термодинамики состоит из двух самостоятельных положений, являющихся следствием независимых опытных фактов. Одно из них называют вторым законом термодинамики для равновесных (обратимых) процессов, или принципом существования энтропии. Второе называют вторым законом термодинамики для необратимых процессов, или принципом возрастания энтропии. Два положения объединены в одно начало термодинамики по историческим причинам, отражающим сложный путь развития термодинамики как науки

Тема 6. Процессы идеального газа

Идеализация реальных газов, справедливая при низких давлениях и высоких температурах. Свойства реальных газов близки к свойствам идеального газа. Полученные для идеального газа результаты являются приближенными. Идеализация задачи должна определяться требуемой точностью расчета. Преимущество использования понятия идеального газа – простое уравнение состояния, возможность получить результаты в конечном виде.

Задачи изучения термодинамических процессов: разработка методов расчета параметров состояния системы в процессе; определение характеристик обмена энергией с окружающей средой; теплообмен; совершаемая работа. Предполагается выполнение условий термодинамического равновесия в ходе процесса. Для определения совершаемой работы и передаваемого количества теплоты удобно использовать T,s – диаграммы.

Изохорный процесс. Такой процесс совершается рабочим телом, находящимся в объеме при неподвижном поршне. В изохорном процессе все подводимое количество теплоты идет на увеличение внутренней энергии. На T,s – диаграмме изохорный процесс изображается логарифмической кривой.

Изобарный процесс. Такой процесс совершается рабочим телом, находящимся в объеме под поршнем без трения, давление равно давлению окружающей среды. Работа газа в изобарном процессе положительна только если температура газа увеличивается.

В изобарном процессе теплота, подведенная к рабочему телу, расходуется на увеличение его энтальпии. Температура тела (и внутренняя энергия) изменяется, поэтому на совершение работы расходуется лишь часть подведенной теплоты.

Адиабатный процесс совершается без подвода теплоты из окружающей среды. Политропный процесс – это процесс с постоянной теплоемкостью. Является обобщением рассмотренных выше основных процессов.

Тема 7. Циклы различных двигателей

Термодинамическим циклом, или круговым процессом, называют термодинамический процесс, в котором термодинамическая система, претерпев ряд изменений, возвращается в исходное состояние. Все параметры и функции состояния, изменяясь в процессе, в конце цикла принимают исходные значения. Работа, совершаемая термодинамической системой за цикл, равна сообщаемому ей количеству теплоты.

Цикл Карно

Идеальный цикл Карно имеет максимальную тепловую эффективность по сравнению с другими возможными циклами в заданном интервале температур, поэтому все реальные циклы всегда сравнивают с ним, что позволяет определить степень их совершенства.

Цикл Карно состоит из двух обратимых адиабат и двух обратимых изотерм. Под обратимыми изотермами понимают такие изотермы цикла, температуры которых равны температурам горячего и холодного источников, то есть в этом случае нет температурного напора между рабочим телом и источниками, а, следовательно, отсутствует и внешняя необратимость.

Теорема Карно гласит, что термический КПД идеального цикла Карно, осуществляемого в заданном интервале температур, не зависит от физических свойств рабочего тела, при помощи которого этот цикл осуществляется.

Циклы паротурбинных установок (ПТУ)

Паротурбинная установка является основой современных тепловых и атомных электростанций. Рабочим телом в таких установках является пар какой-либо жидкости (водяной пар). Основным циклом в паротурбинной установке является цикл Ренкина. Процесс получения работы в таком цикле происходит следующим образом. В паровом котле и в перегревателе теплота горения топлива передается воде. Полученный пар поступает в турбину, где происходит преобразование теплоты в механическую работу, а затем в электрическую энергию в электрогенераторе. Отработанный пар поступает в конденсатор, где отдает теплоту охлаждающей воде. Полученный конденсат насосом отправляется в питательный бак, откуда питательным насосом сжимается до давления, равного в котле, и подается через подогреватель в паровой котел.

Циклы двигателей внутреннего сгорания

Двигателями внутреннего сгорания называются тепловые машины, в которых теплота к рабочему телу подводится в результате сгорания топлива непосредственно внутри двигателя.

Рабочим телом ДВС на первом этапе в процессах всасывания и сжатия является воздух или смесь воздуха с легко воспламеняющимся топливом, на втором этапе в процессе рабочего хода – продукты сгорания жидкого или газообразного топлива.

Давления рабочего тела в ДВС не слишком велики, а температуры намного превышают критические, так что рабочее тело можно рассматривать как идеальный газ.

К преимуществам ДВС, относятся: компактность, т.к. горячий источник находится внутри самого двигателя и, следовательно, отпадает необходимость в теплообменных поверхностях, через которые передается теплота к рабочему телу (РТ); возможность получения относительно высокого КПД, т.к. в цилиндрах двигателя может быть обеспечена высокая температура горячего источника.

Основными элементами любого поршневого ДВС являются цилиндр с поршнем, соединенным с внешним потребителем работы. Цилиндр имеет два клапана – через один происходит всасывание

PT, через другой - выброс PT после завершения цикла. Различают три основных вида циклов ДВС: цикл Отто (сгорание при $V=\text{const}$), цикл Дизеля (сгорание при $p=\text{const}$), цикл Тринклера (смешанное сгорание, сначала при $V=\text{const}$, затем при $p=\text{const}$).

Газотурбинные установки

Основными недостатками поршневых двигателей внутреннего сгорания являются ограниченность их мощности и невозможность адиабатного расширения рабочего тела до атмосферного давления, которые отсутствуют в газотурбинных установках (ГТУ). ГТУ рабочим телом являются продукты сгорания жидкого или газообразного топлива. Простейшая схема работы газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении выглядит так: топливным насосом и компрессором топливо и воздух через форсунки поступают в камеру сгорания. Из камеры продукты сгорания направляются в комбинированные сопла, где они расширяются, и поступают на лопатки газовой турбины.

Газотурбинная установка (ГТУ), в отличие от ДВС, позволяет в одном агрегате получить значительно большую полезную мощность за счет большего расхода рабочего тела.

Процессы в турбореактивном двигателе

Турбореактивный двигатель (ТРД) — воздушно-реактивный двигатель (ВРД), в котором сжатие рабочего тела на входе в камеру сгорания и высокое значение расхода воздуха через двигатель достигается за счёт совместного действия встречного потока воздуха и компрессора, размещённого в тракте ТРД сразу после входного устройства, перед камерой сгорания.

Ключевые характеристики ТРД: создаваемая двигателем тяга; удельный расход топлива (масса топлива потребляемая за единицу времени для создания единицы тяги/мощности); расход воздуха (масса воздуха проходящего через каждое из сечений двигателя за единицу времени); степень повышения полного давления в компрессоре; температура газа на выходе из камеры сгорания; масса и габариты.

Тема 8. Дросселирование газа

Дросселированием называется явление, при котором пар или газ переходит с высокого давления на низкое без совершения внешней работы и без подвода или отвода теплоты. Такое явление происходит в трубопроводе, где имеется место сужения проходного канала. При таком сужении, вследствие сопротивлений, давление за местом сужения - P_2 , всегда меньше давления перед ним - P_1 .

Любой кран, вентиль, задвижка, клапан и прочие местные сопротивления, уменьшающие проходное сечение трубопровода, вызывают дросселирование газа или пара, следовательно падения давления. В большинстве случаев это явление приносит безусловный вред. Но иногда оно является необходимым и создается искусственно. При прохождении газа через отверстие, кинетическая энергия газа и его скорость в узком сечении возрастают, что сопровождается падением температуры и давления.

Газ, протекая через отверстие, приходит в вихревое движение. Часть его кинетической энергии затрачивается на образование этих вихрей и превращается в теплоту. Кроме того, в теплоту превращается и работа, затраченная на преодоление сопротивлений (трение). Вся эта теплота воспринимается газом, в результате чего температура его изменяется (уменьшается или увеличивается). В отверстие скорость газа увеличивается. За отверстием газ опять течет по полному сечению и скорость его вновь понижается. А давление увеличивается, но до начального значения оно не поднимается; некоторое изменение скорости произойдет в связи с увеличением удельного объема газа от уменьшения давления.

Дросселирование является необратимым процессом, при котором происходит увеличение энтропии и уменьшение работоспособности рабочего тела. Для идеальных газов энтальпия газа является однозначной функцией температуры. Отсюда следует, что при дросселировании идеального газа его температура не изменяется ($T_1 = T_2$). При дросселировании реальных газов энтальпия газа остается постоянной, энтропия и объем увеличиваются, давление падает, а температура изменяется (увеличивается, уменьшается или

остаётся неизменной). Изменение температуры жидкостей и реальных газов при дросселировании называется эффектом Джоуля-Томсона. Для идеального газа эффект Джоуля-Томсона равен нулю. Состояние газа, при котором температурный эффект меняет свой знак, называется точкой инверсии, а температура, соответствующая этой точке, называется температурой инверсии - $T_{инв}$.

Тема 9. Основы теплопередачи

Перенос теплоты может осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Эти формы теплообмена глубоко различны по своей природе и описываются различными законами.

Процесс переноса теплоты теплопроводностью происходит между непосредственно соприкасающимися телами или частицами тел с различной температурой. Теплопроводность представляет собой молекулярный процесс передачи теплоты. В металлах при такой передаче теплоты большую роль играют свободные электроны.

Второй вид переноса теплоты - конвекция - происходит только в газах и жидкостях. Этот вид переноса осуществляется при перемещении и перемешивании всей массы нагретой неравномерно жидкости или газа. Конвекционный перенос теплоты происходит тем интенсивнее, чем больше скорости движения жидкости или газа, так как в этом случае за единицу времени перемещается большее количество частиц тела. В жидкостях и газах перенос теплоты конвекцией всегда сопровождается теплопроводностью, так как при этом осуществляется и непосредственный контакт частиц с различной температурой. Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называют конвективным теплообменом.

Третий вид теплообмена - излучение. Процесс передачи теплоты излучением между двумя телами, разделенными полностью или частично пропускающей излучение средой, происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение электромагнитных волн в пространстве, поглощение энергии излучения другим телом. При сравнительно невысоких температурах перенос энергии осуществляется в основном инфракрасными лучами.

Количество теплоты, передаваемое в результате теплообмена, обозначается Q и измеряется в джоулях (Дж). Количество теплоты, проходящее через какую-то поверхность в единицу времени, называется тепловым потоком и обозначается также Q , но измеряется в ваттах (Вт). Тепловой поток, приходящийся на единицу площади поверхности, называется плотностью теплового потока, обозначается q и имеет размерность $Вт/м^2$.

Исследование теплопроводности может быть сведено к изучению пространственно-временных изменений величин, характеризующих теплообмен. Совокупность значений температур во всех точках какого-то тела в данный момент времени t называется температурным полем этого тела.

Тема 10. Теплопроводность

Теплопроводностью называется способность материальных тел к переносу энергии (теплообмену) от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела, осуществляемому хаотически движущимися частицами тела. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, но механизм переноса теплоты будет зависеть от агрегатного состояния вещества.

Теплопроводностью называется также количественная характеристика способности тела проводить тепло. Количественно способность вещества проводить тепло характеризуется коэффициентом теплопроводности. Эта характеристика равна количеству теплоты, проходящему через однородный образец материала единичной длины и единичной площади за единицу времени при единичной разнице температур (1 К). Основным законом теплопроводности является закон Фурье о пропорциональности теплового потока температурному градиенту.

Тема 11. Конвективный теплообмен

Конвективным теплообменом называется процесс переноса теплоты между поверхностью твердого тела и жидкой средой или газом, при котором перенос теплоты осуществляется одновременным путем теплопроводности и конвекции. С другой стороны этот процесс также называют теплоотдачей.

Конвективный теплообмен характерен для большинства процессов тепловой обработки различных материалов и изделий, связанных с прохождением газов через слой материала, через саду изделий, над уровнями жидкостей при сушке и др.

Явление теплопроводности в жидкостях и газах, так же как и в твердых телах, полностью определяется коэффициентом теплопроводности и градиентом температуры. Иначе обстоит дело с явлением конвекции, которая является вторыми элементарных видом распространения теплоты. Этот процесс переноса теплоты неразрывно связан с переносом самой среды. Поэтому конвекция возможна только в жидкостях и газах, доли которых могут легко перемещаться. Согласно этому закону плотность теплового потока пропорциональна разности температур стенки и среды. В процессе теплоотдачи, независимо от направления теплового потока (от стенки к среде или наоборот), его значение принято считать положительным. Поэтому разницу температур всегда берут по абсолютной величине, т.е. просто из большего значения температуры отнимают меньше. Коэффициент теплоотдачи α равно количеству теплоты, отдаваемое в единицу времени единицей поверхности при разности температур между поверхностью и средой в один градус. В общем случае коэффициент теплоотдачи может изменяться вдоль поверхности теплообмена, и поэтому различают средний по поверхности коэффициент теплоотдачи и местный коэффициент теплоотдачи, что соответствует единичному элементу поверхности. Факторы, влияющие на процесс теплоотдачи, и соответственно на коэффициент теплоотдачи условно можно разделить на следующие группы.

Природа возникновения движения жидкости или газав зависимости от причин, способствующих движению жидкости, различают два вида движения - свободное и вынужденное. Свободное движение возникает за счет подъемной силы, которая обусловлена разницей плотностей холодных и нагретых частиц жидкости. Интенсивность свободного движения зависит от вида жидкости, разности температур между отдельными ее частями и объема пространства, в котором протекает процесс. Вынужден движение жидкости (газа), или вынужденная конвекция, обусловленная работой внешних агрегатов (насоса, вентилятора и т.д.). Сила, которая движет при этом виде конвекции, возникает вследствие разности давлений, возникающих на входе и выходе из канала, по которому перемещается жидкость (газ). Если скорость вынужденного движения невелика и разница температур между отдельными частицами жидкости (газа), то наряду с вынужденным движением может наблюдаться и свободное движение. Режим движения жидкости. Движение жидкости (газа) может иметь ламинарный или турбулентный характер. В первом случае (ламинарный движение) частицы жидкости в форме отдельных струй, не смешиваются, движутся вдоль канала или стенки, и профиль скоростей на достаточном удалении от начала трубы имеет вид правильной параболы. Турбулентный режим движения характеризуется непостоянством скорости движения частиц жидкости в точке пространства рассматривается. Через непрерывное перемешивание жидкости в ней нельзя выделить отдельные струи, и такое движение лишь условно можно называть стационарным. Характерно, что не все частицы жидкости при турбулентном режиме имеют неупорядоченный движение. Вблизи стенок, ограничивающих потоки, вследствие вязкости жидкости скорость уменьшается, а у самой стенки сохраняется тонкий граничный слой, движущийся ламинарное.

Тема 12. Критерии подобия

Критерий подобия — безразмерная величина, составленная из размерных физических параметров, определяющих рассматриваемое физическое явление. Равенство всех одноподобных критериев подобия для двух физических явлений и систем — необходимое и достаточное условие их физического подобия.

Критерии подобия, представляющие собой отношения одноимённых физических параметров системы (например, отношения длин), называются тривиальными и при установлении определяющих критериев подобия обычно не рассматриваются: равенство их для двух систем является определением физического подобия. Нетривиальные безразмерные комбинации, которые можно составить из определяющих параметров, и представляют собой критерии подобия.

Критерий Рейнольдса – этот критерий определяет соотношение между силами инерции и силами вязкости в потоке теплоносителя.

Критерий Грасгофа характеризует интенсивность свободного движения, которая зависит от соотношения между подъемной силой, обусловленной различием плотности в отдельных точках изотермического потока, и сил вязкого трения. Этот критерий является определяющим в процессах, связанных с естественной конвекцией.

Критерий Прандтля составлен из физических параметров вещества и является физическим параметром. Данный критерий характеризует соотношение между скоростью обмена механической энергией между частицами жидкости (за счёт вязкости) и скоростью обмена тепловой энергией (за счёт теплопроводности – α).

Критерий Нуссельта – один из основных критериев подобия тепловых процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях неподвижной среды).

Критерий Pr – критерий физических свойств вещества и является определяющим критерием. Для некоторых капельных жидкостей (вода, масло, глицерин) с ростом температуры величина Pr сильно уменьшается.

Критерий Пекле, этот критерий представляет собой безразмерный коэффициент теплоотдачи и характеризует соотношение между интенсивностью теплоотдачи α , и интенсивностью теплопроводности в пограничном слое потока жидкости ($\lambda_{ж}$). Коэффициент теплоотдачи α всегда является величиной искомой, неизвестной в задачах о конвективном теплообмене.

Критерий Маха характеризует сжимаемость газового потока; поэтому его изменение влияет на процессы теплообмена при значениях M , когда эта сжимаемость ощутима.

Критерии подобия, являющиеся независимыми переменными (Re , Pr и др.), называют определяющими критериями, а зависимые – определяемыми. Очевидно, что искомая (определяемая) величина является функцией независимых (определяющих) величин, входящих в систему уравнений.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся для того, чтобы студент получил навыки и умения необходимые для решения разноуровневых задач, а также для закрепления теоретического материала, изученного в лекционном курсе. В результате студенты должны научиться анализировать поставленные перед ними задачи с инженерной точки зрения, уметь правильно выбирать пути решения.

План проведения практического занятия:

1. Постановка цели занятия;
2. Краткие теоретические сведения по теме;
3. Блиц-опрос студентов;
4. Решение разноуровневых задач;
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Блиц-опрос студентов или небольшая самостоятельная работа по теме практического занятия позволят лучше усвоить ход решения задач, понять их сущность. В конце практического занятия следует назвать тему следующего занятия, указать разделы теоретического материала, которые студенты должны освоить для наиболее эффективного решения задач.

Практическое занятие №1. Основные понятия и исходные положения дисциплины

Занятие проводится в форме собеседования, с целью закрепления теоретического материала, повторения основных понятий и определений.

Примерный перечень вопросов для подготовки к практическому занятию №1:

1. Что изучает термодинамика?
2. Техническая термодинамика – это...
3. Термодинамический метод изучения.
4. Параметры состояния.
5. Нормальные физические условия.
6. Термодинамические процессы.
7. Интенсивные параметры состояния.
8. Экстенсивные параметры состояния.
9. Равновесное состояние термодинамического процесса.
10. Неравновесное состояние термодинамического процесса.

Практическое занятие №2. Термодинамические системы

Занятие проводится в форме собеседования, с целью закрепления теоретического материала, повторения основных понятий и определений.

Примерный перечень вопросов для подготовки к практическому занятию №2:

1. Термодинамической системой называют...
2. Открытая термодинамическая система.
3. Закрытая термодинамическая система.
4. Изолированная термодинамическая система.
5. Замкнутая термодинамическая система.
6. Теплоизолированная или адиабатная термодинамическая система.
7. Однородная термодинамическая система.
8. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы.
9. Фаза термодинамической системы.
10. Компонент термодинамической системы.

Практическое занятие №3. Теплоемкость газов

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 3.1. Определить среднюю массовую теплоемкость углекислого газа при постоянном давлении в пределах 0-825°C, считая зависимость от температуры нелинейной.

Задача 3.2. Найти объемную теплоемкость кислорода при постоянном объеме и постоянном давлении, считая $c = \text{const}$.

Задача 3.3. Определить значение массовой теплоемкости кислорода при постоянном объеме и постоянном давлении, считая $c = \text{const}$.

Задача 3.4. Вычислить значение истинной мольной теплоемкости кислорода при постоянном давлении для температуры 1000°C, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной. найти относительную ошибку по сравнению с табличными данными.

Задача 3.5. Вычислить среднюю теплоемкость для воздуха при постоянном давлении в пределах 200-800°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Задача 3.6. Вычислить среднюю теплоемкость c_{pm} для воздуха при постоянном давлении в пределах 200-800°C, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

Задача 3.7. Определить среднюю массовую теплоемкость c_{pm} для кислорода при постоянном давлении в пределах от 350-1000°C, считая зависимость теплоемкости от температуры: а) нелинейной; б) линейной.

Задача 3.8. Вычислить среднюю теплоемкость c_{pm} и c'_{vm} в пределах 200-800°C для CO, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

Задача 3.9. Найти среднюю теплоемкость c'_{pm} и c'_{vm} для воздуха в пределах 400-1200°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Задача 3.10. Найти среднюю теплоемкость c_{pm} и c'_{pm} углекислого газа в пределах 400-1000°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Задача 3.11. Определить среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме для азота в пределах 200-800 °C считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной, если известно, что средняя мольная теплоемкость азота при постоянном давлении может быть определена по формуле $\mu c_{pm} = 28,7340 + 0,0023488t$.

Задача 3.12. В закрытом сосуде объемом $V=300$ л находится воздух при давлении $p_1=0,8$ МПа и температуре $t_1=20$ °C. Какое количество теплоты необходимо подвести для того, чтобы температура воздуха поднялась до $t_2=120$ °C? Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, а также учитывая зависимость теплоемкости от температуры. Определить относительную ошибку, получаемую в первом случае.

Задача 3.13. В сосуде объемом 300 л находится кислород при давлении $p_1=0,2$ МПа и температуре $t_1=20$ °C.

Какое количество теплоты необходимо подвести, чтобы температура кислорода повысилась до $t_2=300$ °C? Какое давление установится при этом в сосуде? Зависимость теплоемкости от температуры принять нелинейной.

Задача 3.14. Газовая смесь имеет следующий состав по объему: $CO_2=0,12$; $O_2=0,07$; $N_2=0,75$, $H_2O=0,06$. Определить среднюю массовую теплоемкость c_{pm} , если смесь нагревается от 100 до 300 °C.

Задача 3.15. В калориметре с идеальной тепловой изоляцией находится вода в количестве $M_b=0,8$ кг при температуре t'_{15} °C. Калориметр изготовлен из серебра, теплоемкость которого $c_c=0,2345$ кДж/(кг·К). Масса калориметра $M_c=0,25$ кг. В калориметр опускают 0,2 кг алюминия при температуре $t_a=100$ °C. В результате этого температура воды повышается до $t''=19,24$ °C. Определить теплоемкость алюминия.

Практическое занятие № 4. Внутренняя энергия. Работа

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

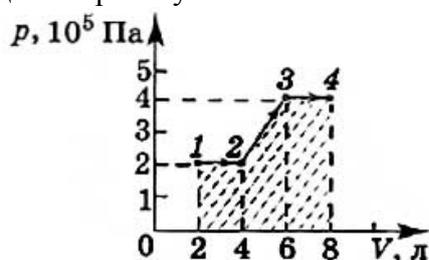
Задача 4.1. При уменьшении объёма одноатомного газа в 3,6 раза его давление увеличилось на 20%. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия.

Задача 4.2. В вертикально расположенном цилиндре с площадью основания 1 дм^2 под поршнем массой 10 кг скользящим без трения находится воздух. При изобарном нагревании воздуха поршень поднялся на 20 см . Какую работу совершил воздух, если наружное давление 100 кПа

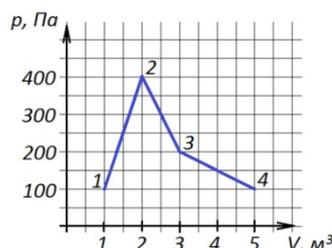
Задача 4.3. Аэростат объёмом $V = 500 \text{ м}^3$ наполнен гелием под давлением $p = 105 \text{ Па}$. В результате солнечного нагрева температура газа в аэростате поднялась от $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. На сколько увеличилась внутренняя энергия газа?

Задача 4.4. В цилиндре под тяжёлым поршнем находится углекислый газ ($M = 0,044 \text{ кг/моль}$) массой $m = 0,20 \text{ кг}$. Газ нагревается на $\Delta T = 88 \text{ К}$. Какую работу он при этом совершает?

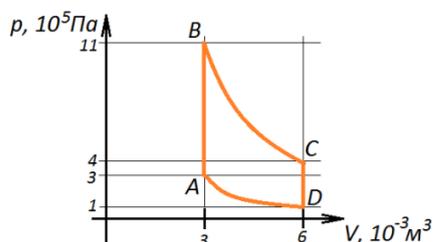
Задача 4.5. На рисунке показана зависимость давления газа от объёма при его переходе из состояния 1 в состояние 4. Определите работу газа.



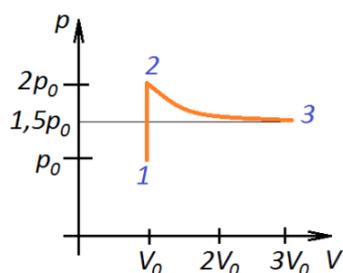
Задача 4.6. Идеальный одноатомный газ, взятый в количестве 1 моль, переводят из состояния 1 в состояние 4. Какое количество теплоты сообщили в этом процессе газу? Масса газа во время процесса не меняется.



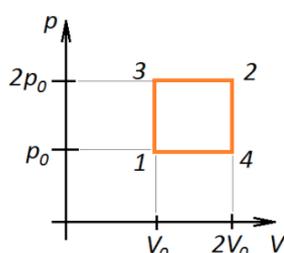
Задача 4.7. На рисунке представлена диаграмма цикла с одноатомным идеальным газом, взятым в количестве $0,3 \text{ моль}$. Участки BC и DA – адиабаты. Определите работу, совершенную газом на участке BC.



Задача 4.8. Температура идеального газа в состоянии 1 была равна T_0 . Чему равна температура в состоянии 3 после осуществления процесса 1-2-3, изображенного на диаграмме $p - V$? $T_0 = 400 \text{ К}$.



Задача 4.9. Идеальный одноатомный газ, находящийся при нормальных условиях, переводят из состояния 1 в состояние 2 двумя способами: 1-3-2 и 1-4-2. Найдите отношение количеств теплоты, которые необходимо сообщить 1 кмоль газа в этих двух процессах.



Практическое занятие №5. Второй закон термодинамики

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 5.1 Цикл состоит из двух изохор и двух адиабат. Отношение наибольшего объема газа к наименьшему в цикле равно 8. Рабочим веществом является одноатомный идеальный газ. Определить КПД цикла.

Задача 5.2 Азот совершает цикл Карно. Определить КПД цикла, если при адиабатном расширении объем газа увеличивается в 3 раза.

Задача 5.3 Идеальный газ с коэффициентом Пуассона $\gamma=5/3$ совершает процесс, в котором давление изменяется по закону $p=p_0-\alpha V$, где $p_0=0,1$ МПа, $\alpha=50$ кПа/м³. При каком значении объема энтропия газа будет максимальной?

Задача 5.4 Во сколько раз следует изотермически увеличить объем идеального газа в количестве 3 моль, чтобы его энтропия увеличилась на 25 Дж/К?

Задача 5.5 Изобразить цикл Карно на диаграмме TS (S – энтропия). По диаграмме определить: а) переданное рабочему телу количество теплоты; б) отданное рабочим телом холодильнику количество теплоты; в) работу, совершенную рабочим телом в цикле.

Задача 5.6 Как изменится КПД цикла Карно, если в качестве рабочего тела взять одноатомный газ вместо двухатомного? Относительное изменение объема газа при адиабатном расширении оставить без изменений.

Задача 5.7 Тепловая машина работает по циклу Карно. Рабочим веществом машины является идеальный одноатомный газ. При адиабатном расширении газа объем газа увеличивается в 8 раз. Определить КПД машины.

Задача 5.8 Тепловая машина работает по циклу Карно. Работа, совершенная рабочим телом при изотермическом расширении, по абсолютной величине в 1,5 раза больше, чем при изотермическом сжатии. Определить КПД машины.

Задача 5.9 Идеальный одноатомный газ совершает цикл Карно. Работа, совершаемая газом при изотермическом расширении, равна его работе при адиабатном расширении. Объем газа при изотермическом расширении увеличивается в 2,72 раза. Определить КПД цикла.

Задача 5.10 Идеальный газ с числом степеней свободы i совершает цикл Карно. Количество теплоты, полученное газом от нагревателя, равно его работе при адиабатном расширении. Объем газа при изотермическом расширении увеличивается от V_1 до V_2 . Определить КПД цикла.

Задача 5.11 Внутри теплоизолированного цилиндра с подвижным поршнем находится газ. При горизонтальном положении цилиндра поршень находится посередине цилиндра. Температура газа по обе стороны поршня одинакова. Когда цилиндр поставили вертикально, поршень сместился под действием силы тяжести. Определить изменение энтропии газа в обеих частях цилиндра. Считать, что поршень не проводит тепло.

Задача 5.12 Внутри теплоизолированного цилиндра с подвижным поршнем находится газ. При горизонтальном положении цилиндра поршень находится посередине цилиндра. Температура газа по обе стороны поршня одинакова. Когда цилиндр поставили вертикально, поршень сместился под действием силы тяжести. Определить изменение энтропии газа в обеих частях цилиндра. Считать, что поршень является теплопроводящим.

Задача 5.13 Как будет изменяться энтропия термодинамической системы при изотермическом расширении и изотермическом сжатии? Сравнить изменения энтропии системы в этих процессах по абсолютной величине.

Задача 5.14 Газ в закрытом теплоизолированном сосуде разделен теплопроводящей перегородкой на две части с разными температурами. В результате теплообмена температура газа в обеих частях становится одинаковой. Сравнить изменения энтропии газа в разных частях сосуда по абсолютной величине?

Задача 5.15 Нагретый кусок металла бросают в холодную жидкость. Как изменится энтропия куска металла и жидкости после установления равновесия? Сравнить изменения энтропии куска металла и жидкости по абсолютной величине?

Задача 5.16 Идеальный газ в количестве 2 молей сначала адиабатно сжимается так, что объем уменьшается в 3 раза, затем изотермически расширяется до начального объема. Изобразить процессы на диаграмме pV . Определить изменение энтропии газа.

Задача 5.17 Идеальный газ в количестве 3 молей сначала изобарно уменьшает объем в 2 раз, затем изохорно увеличивает давление за счет нагревания в 2 раза. Изобразить процессы на диаграмме pV . Определить изменение энтропии газа.

Задача 5.18 В термосе смешивают горячую воду массой 1 кг при температуре 50°C с холодной водой такой же массы при температуре 10°C . Определить приращение энтропии системы.

Задача 5.19 Водяной пар массой 100 г при температуре 100°C превращается в воду, которая затем охлаждается до температуры 0°C . Определить приращение энтропии.

Задача 5.20 Температура вещества зависит от энтропии по закону $T = \alpha S^n$, где α, n – постоянные. Определить теплоемкость C вещества как функцию энтропии S . При каком условии $C < 0$?

Задача 5.21 Один моль идеального газа совершает процесс, в котором энтропия газа изменяется в зависимости от температуры по закону $S = \alpha T + C_{\mu V} \ln T$, где α – постоянная больше нуля; $C_{\mu V}$ – молярная теплоемкость газа при постоянном объеме. В начальном состоянии заданы объем V_0 и температура T_0 . Определить зависимость температуры газа от объема.

Задача 5.22 Один моль идеального газа с известным значением теплоемкости $C_{\mu V}$ совершает процесс, в котором энтропия S изменяется в зависимости от температуры по закону $S = \alpha/T$, где $\alpha = \text{const}$. Выразить теплоемкость газа в этом процессе как функцию температуры. Определить количество теплоты, сообщенное газу, и работу, совершенную газом, при изменении температура газа от T_1 до T_2 .

Задача 5.23 Теплоизолированный сосуд разделен перегородкой на две части так, что объем одной из них в 2 раза больше другой. В меньшей части находилось 0,3 моля азота, а в большей части – 0,7 моля кислорода. Температуры газов были одинаковы. Перегородку убрали, и газы перемешались. Определить приращение энтропии системы.

Задача 5.24 Процесс расширения двух молей аргона происходит так, что давление увеличивается прямо пропорционально объему. Определить приращение энтропии газа при увеличении его объема в 2 раза.

Практическое занятие №6. Процессы идеального газа

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 6.1 Идеальный газ с показателем адиабаты γ расширили по закону $P = \alpha V$, где $\alpha = \text{const}$. Первоначальный объем газа V_1 . В результате расширения объем увеличился в η раз. Найдите приращение внутренней энергии газа.

Задача 6.2 Газ, занимающий объем $V_1 = 2 \text{ м}^3$ при давлении $P_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, совершает круговой процесс, состоящий из нескольких этапов. Сначала газ изохорически охлаждается до температуры, при которой его давление равно $P_2 = 10^5 \text{ Па}$. Затем он изобарически охлаждается до состояния, из которого возвращается в начальное состояние таким образом, что его давление изменяется с изменением объема по закону $P = \alpha V$ (α - постоянная величина). Нарисуйте график данного кругового процесса на PV -диаграмме и найдите совершенную газом работу.

Задача 6.3 При сжатии газа его объем уменьшился на 2 л, а давление увеличилось в 2 раза. Найти первоначальный объем газа V_1 .

Задача 6.4 В узкой откачанной и запаянной с двух концов горизонтальной трубке посередине находится столбик ртути длиной 0,3 м. Если трубку поставить вертикально, столбик ртути сместится на 15 см. Определить давление в трубке до того как из нее откачали воздух, если ее длина 1 м, а плотность ртути $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Задача 6.5 Газ массой $12 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ занимает объем $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ при температуре 180°C . При какой температуре плотность этого газа будет равна 6 кг/м^3 .

Задача 6.6 Определить на сколько изменилась масса гелия, находящегося в баллоне объемом $0,25 \text{ м}^3$ под давлением 10^6 Па при температуре 20°C , если из баллона была выпущена часть массы газа, после чего давление понизилось до 10^5 Па , а температура уменьшилась до 10°C .

Задача 6.7 Определить объем баллона со сжатым углекислым газом, находящимся под давлением в 100 атмосфер при температуре 27°C , если при нормальных условиях то же количество углекислого газа занимает объем $1,3 \text{ м}^3$.

Практическое занятие №7. Циклы различных двигателей

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 7.1 Рассчитать значения внутреннего КПД теоретического цикла газотурбинной установки с изобарным подводом тепла (без регенерации) с целью оценки влияния температуры газов перед турбиной на внутренний КПД ГТУ, для двух случаев:

- 1) при температуре газов перед турбиной $t_3 = 600^\circ \text{C}$
- 2) при температуре газов перед турбиной $t_3 = 800^\circ \text{C}$ остальные параметры принять следующие: начальная температура рабочего тела $t_1 = 20^\circ \text{C}$ степень повышения давления $\beta = 7$ внутренний КПД компрессора и турбины $\eta_t = \eta_k = 0,85$ Принять показатель адиабаты равным $k = 1,4$. Теплоемкость считать постоянной.

Задача 7.2 Для цикла состоящего из процессов 1-2 при $T = \text{const}$ (изотерма); 2-3 при $V = \text{const}$ (изохора); 3-4 при $T = \text{const}$ (изотерма); 4-1 при $V = \text{const}$ (изохора), требуется:

1. Рассчитать давление, удельный объем, температуру для основных точек цикла.
2. Для каждого из процессов определить значения показателей политропы, теплоемкости, вычислить изменение внутренней энергии, энтальпии, теплоту и работу процесса.

3. Определить суммарные количества подведенной и отведенной теплоты, работу цикла и термической КПД.

4. Построить цикл PV и TS на диаграммах состояния. Принять газовую постоянную воздуха $R=287$ Дж/(кг·К); $p_1=0,3$ МПа, $T_1=300$ К, $p_2=0,8$ МПа, $T_3=473$ К

Задача 7.3 По заданным исходным параметрам рабочего тела (смеси идеальных газов) для заданного прямого цикла определить:

1 Газовую постоянную, молекулярную массу и теплоемкость рабочего тела.

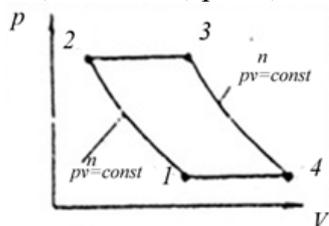
2 Параметры и функции состояния (p, V, T, h, u, s) в характерных точках цикла. Энтальпию определить относительно состояния при нормальных физических условиях ($T_0=273$ К, $p_0=0,101$ МПа)

3 Работу, количество подведенной и отведенной теплоты, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии на 1 кг рабочего тела в каждом процессе.

4 Работу цикла, количество подведенной и отведенной теплоты на 1 кг рабочего тела в цикле, термический к.п.д. цикла.

5 К.п.д. цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальные и минимальные значения температуры.

Построить цикл в p - V и T - s координатах. Для построения кривых каждый процесс должен быть построен по двум промежуточным точкам. Расчеты свести в таблицу. Теплоемкость считать постоянной. Исходные данные: Состав смеси идеальных газов: $M_{CO_2}=0,054$ кмоль; $M_{N_2}=0,25$ кмоль; $M_{H_2O}=0,013$ кмоль; $p_1=0,1$ МПа; $t_1=-50^\circ\text{C}$; $p_2=0,5$ МПа; $n=1,2$; $\rho=v_3/v_2=2$.



Задача 7.4 По заданным исходным параметрам рабочего тела (смеси идеальных газов) для заданного прямого цикла определить:

1 Газовую постоянную, молекулярную массу и теплоемкость рабочего тела.

2 Параметры и функции состояния (p, V, T, h, u, s) в характерных точках цикла. Энтальпию определить относительно состояния при нормальных физических условиях ($T_0=273$ К, $p_0=0,101$ МПа)

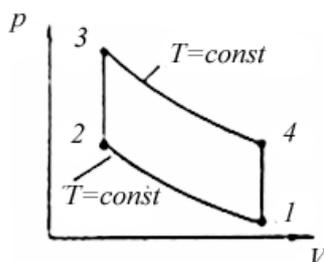
3 Работу, количество подведенной и отведенной теплоты, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии на 1 кг рабочего тела в каждом процессе.

4 Работу цикла, количество подведенной и отведенной теплоты на 1 кг рабочего тела в цикле, термический к.п.д. цикла.

5 К.п.д. цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальные и минимальные значения температуры.

Построить цикл в p - V и T - s координатах. Для построения кривых каждый процесс должен быть построен по двум промежуточным точкам. Расчеты свести в таблицу. Теплоемкость считать постоянной.

Состав смеси идеальных газов: $G_{CO_2}=3,94$ кг; $G_{N_2}=18,75$ кг; $G_{H_2O}=0,805$ кг; $p_1=0,1$ МПа; $t_1=27^\circ\text{C}$; $p_2=0,8$ МПа; $q_{23}=620$ кДж/кг.

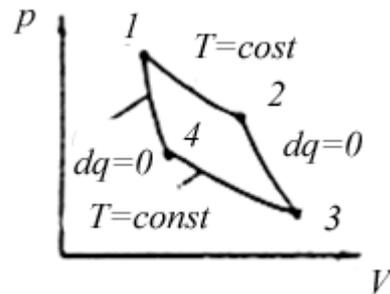


Задача 7.5 По заданным исходным параметрам рабочего тела (смеси идеальных газов) для заданного прямого цикла определить:

- 1 Газовую постоянную, молекулярную массу и теплоемкость рабочего тела.
- 2 Параметры и функции состояния (p, V, T, h, u, s) в характерных точках цикла. Энтропию определить относительно состояния при нормальных физических условиях ($T_0=273 \text{ K}$, $p_0=0,101 \text{ МПа}$)
- 3 Работу, количество подведенной и отведенной теплоты, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии на 1 кг рабочего тела в каждом процессе.
- 4 Работу цикла, количество подведенной и отведенной теплоты на 1 кг рабочего тела в цикле, термический КПД цикла.
- 5 КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальные и минимальные значения температуры.

Построить цикл в p - V и T - s координатах. Для построения кривых каждый процесс должен быть построен по двум промежуточным точкам. Расчеты свести в таблицу. Теплоемкость считать постоянной.

Состав смеси идеальных газов: $V_{\text{CO}_2}=1, 2 \text{ м}^3$; $V_{\text{N}_2}=7, 0 \text{ м}^3$; $V_{\text{H}_2\text{O}}=0, 3 \text{ м}^3$; $p_1=3,0 \text{ МПа}$; $t_1=400^\circ\text{C}$; $p_2=1,4 \text{ МПа}$; $p_3=0,6 \text{ МПа}$.

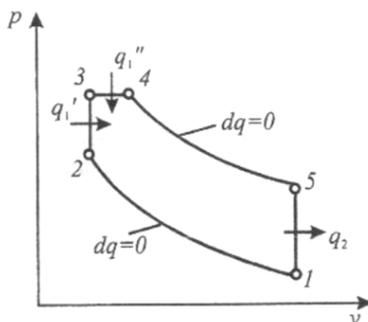


Задача 7.6 Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом тепла определить параметры рабочего тела в характерных точках, термический к.п.д., количество подведенного и отведенного тепла, полезную работу и степень заполнения цикла, если начальные параметры рабочего тела $p_1= 0,1 \text{ МПа}$ и $t_1= 25^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon=8$, степень повышения давления: $\lambda= 2,5$ и степень предварительного расширения: $\rho= 1,3$. Рабочее тело — воздух

Задача 7.7 Для теоретического цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с изохорно-изобарным подводом теплоты определить параметры состояния p, v, T характерных точек цикла, полезную работу и термический КПД по заданным значениям начального давления p_1 и температуры t_1 степени сжатия ε , степени повышения давления λ и степени предварительного расширения ρ . Рабочим телом считать воздух, полагая теплоемкость его постоянной. Изобразить цикл ДВС в p - v и T - s диаграммах. Сравнить термический КПД цикла с термическим КПД цикла Карно, проведенного в том же интервале температур t_1 - t_4 . Исходные данные: $p_1= 97 \text{ кПа}$; $t_1= 40^\circ\text{C}$; $\varepsilon= 19$; $\lambda=1,7$; $\rho= 1,2$.

Задача 7.8 Для теоретического цикла ДВС со смешанным подводом теплоты, смотри рисунок 1, определить количество подведенной теплоты q_1 , количество отведенной теплоты q_2 , полезную работу цикла $l_{ц}$, и термический КПД цикла η_t . Определить также, КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с заданным циклом минимальную и максимальную температуры. Параметры рабочего тела в начале процесса сжатия: давление — $p_1=0,1 \text{ МПа}$; начальная температура — $t_1= -14^\circ\text{C}$. Заданы безразмерные характеристики цикла: степень сжатия — $\varepsilon=v_1/v_2=22$; степень повышения давления — $\lambda=p_3/p_2=1,7$; степень предварительного расширения — $\rho=v_3/v_4=1,7$. В одном киломоле рабочего тела содержится: $0, 73 \text{ кмоль N}_2$; $0, 05 \text{ кмоль O}_2$; $0, 04 \text{ кмоль CO}_2$; остальное — H_2O (т.е. состав смеси задан мольными долями).

1. Рассчитать молекулярную массу, газовую постоянную, теплоемкости C_p и C_v газовой смеси, а также показатель адиабаты κ . Считать их постоянными для всего цикла.
2. Определить для характерных точек цикла значения давления p , температуры T , удельного объема v , энтальпии h , и энтропии s . Результаты свести в таблицу.
3. Рассчитать количество подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, работу цикла $l_{ц}$, изменение энтальпии, внутренней энергии и энтропии для всех процессов, образующих цикл. Результаты свести в таблицу.
4. Определить термический КПД заданного цикла η_t , а также КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с заданным циклом минимальную и максимальную температуры.
5. По результатам расчетов изобразить цикл ДВС на миллиметровой бумаге в масштабе в координатах $p-v$ и $T-s$. Величину энтропии определить относительно состояния при нормальных физических условиях ($T_0=273$ К, $p_0=0,101$ МПа). При изображении процессов кривыми линиями определить параметры, по крайней мере, одной промежуточной точки.



Задача 7.9 Изобразите схему газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты и ее цикл в координатах $P-v$ и $T-s$. Дайте краткие пояснения. Назовите основные методы повышения термического КПД газотурбинной установки.

Задача 7.10 Сравнить значения термического КПД двух тепловых двигателей внутреннего сгорания, работающих с изохорным и изобарным подводом теплоты в идеальном цикле, если известны: значение начального давления $p_1=95$ кПа, температура $t_1=35^\circ\text{C}$, степень сжатия $\epsilon=10$ и количество подведенной теплоты $q_1=800$ кДж/кг. Рабочее тело – воздух. Изобразить оба цикла в pv и Ts диаграммах.

Задача 7.11 Для теоретического цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с изохорно-изобарным подводом теплоты определить параметры состояния p , v , T характерных точек цикла, полезную работу и термический КПД по заданным значениям начального давления $p_1=97$ кПа и температуры $t_1=40^\circ\text{C}$, степени сжатия $\epsilon=19$, степени повышения давления $\lambda=1,7$ и степени предварительного расширения $\rho=1,2$. Рабочим телом считать воздух, полагая теплоемкость его постоянной. Изобразить цикл ДВС в $p-v$ и $T-s$ диаграммах. Сравнить термический КПД цикла с термическим КПД цикла Карно, проведенного в том же интервале температур t_1-t_4 .

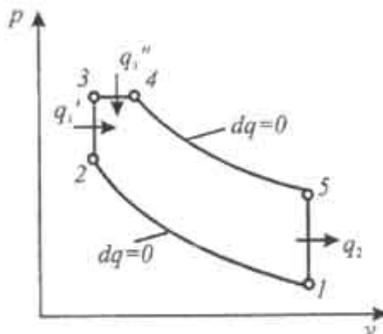
Задача 7.12 Для теоретического цикла ДВС со смешанным подводом теплоты (смотри рисунок 1), определить количество подведенной теплоты q_1 , количество отведенной теплоты q_2 , полезную работу цикла $l_{ц}$, и термический КПД цикла η_t . Определить также КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с заданным циклом минимальную и максимальную температуры. Параметры рабочего тела в начале процесса сжатия: давление — $p_1=0,1$ МПа; начальная температура — $t_1= -14^\circ\text{C}$. Заданы характеристики цикла: степень сжатия — $\epsilon=v_1/v_2=22$; степень повышения давления — $\lambda=p_3/p_2=1,6$; степень предварительного расширения — $\rho=v_3/v_4=1,6$. Смесь задана массовыми долями в составе: $N_2=0,73$; $O_2=0,05$; $CO_2=0,04$; $H_2O=0,18$.

- 1 Рассчитать молекулярную массу, газовую постоянную, теплоемкости C_p и C_v газовой смеси, а также показатель адиабаты κ .
- 2 Определить для характерных точек цикла значения давления p , температуры T , удельного объема v , энтальпии h , и энтропии s . Результаты свести в таблицу.

3 Рассчитать количество подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, работу цикла $l_{ц}$, изменение энтальпии, внутренней энергии и энтропии для всех процессов, образующих цикл. Результаты свести в таблицу.

4 Определить термический КПД заданного цикла η_t , а также КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с заданным циклом минимальную и максимальную температуры.

5 По результатам расчетов изобразить цикл ДВС на миллиметровой бумаге в масштабе в координатах $p-v$ и $T-s$. Величину энтропии определить относительно состояния при нормальных физических условиях ($T_0=273$ К, $p_0=0,101$ МПа). При изображении процессов кривыми линиями определить параметры, по крайней мере, одной промежуточной точки.



Практическое занятие №8. Дросселирование газа

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 8.1 Воздух из резервуара с постоянным давлением $p_1=1$ МПа и температурой $t_1=15$ °С вытекает в атмосферу через трубку с внутренним диаметром 10 мм. Найти скорость истечения воздуха и его секундный массовый расход. Атмосферное давление принять равным 0,1 МПа. Процесс расширения считать адиабатным.

Задача 8.2 Из резервуара, в котором находится кислород с постоянным давлением $p_1=5$ МПа, газ вытекает через сужающееся сопло в среду с давлением $p_2=4$ МПа. Температура кислорода в резервуаре равна 100 °С. Определить теоретическую скорость истечения и расход, если площадь выходного сечения сопла $f_2=20$ мм². Найти также скорость истечения кислорода и его расход, если истечение будет происходить в атмосферу. В обоих случаях считать истечение адиабатным. Атмосферное давление принять равным 0,1 МПа.

Задача 8.3 Определить скорость истечения водяного пара из сужающегося сопла и из сопла Лавалья, если абсолютное давление пара на входе в сопло $p_1=3,5$ МПа, температура пара на входе в сопло $t_1=300$ °С и давление среды (пара) на выходе из сопла (абсолютное) $p_2=0,1$ МПа. Найти также скорость звука в критическом сечении (т.е. на выходе сужающегося сопла) приняв $K=1,3$. Вычислить также отношение скоростей, показывающее эффективность использования сопла Лавалья. Истечение считать изоэнтропным.

Задача 8.4 Влажный пар с начальными параметрами $p_1=50$ бар и степенью сухости $x_1=0,95$ вытекает из сопла Лавалья в среду с давлением $p_2=1$ бар. Найти скорость истечения и состояние пара в конце процесса, а также площадь выходного сечения сопла, если $M=3$ кг/с.

Задача 8.5 Решить задачу по условию задачи 8.4 для случая, когда истечение происходит через сужающееся сопло.

Задача 8.6 Водяной пар с параметрами $p_1=30$ бар и $t_1=300$ °С расширяется адиабатно в сопле Лавалья до давления среды $p_2=1$ бар. Определить скорость истечения и

параметры пара в выходном сечении сопла. Для сравнения определить скорость истечения в случае, когда используется сужающееся сопло.

Задача 8.7 До какого давления p_2 необходимо дросселировать влажный насыщенный пар при $p_1=50$ бар и $x_1=0.95$, чтобы он стал сухим насыщенным?

Задача 8.8 Влажный насыщенный водяной пар с параметрами: давление $p_1=50$ бар и $x=0.65$ дросселируется до давления $p_2=1$ бар. Определить параметры пара после дросселирования. Как изменилась при дросселировании температура пара?

Задача 8.9 Давление воздуха при движении через вентиль понижается от $p_1=0.8$ МПа до $p_2=0.6$ МПа. Начальная температура воздуха $t_1=20$ °С. Определить изменение температуры и энтропии в рассматриваемом процессе дросселирования.

Задача 8.10 Воздух в количестве 55 кг при температуре $t_1=200$ °С дросселируется от давления $p_1=1.2$ МПа до давления 0.7 МПа. Определить энтальпию воздуха после дросселирования (принимая, что энтальпия его при температуре 0 °С равна нулю) и изменение энтропии в рассматриваемом процессе.

Практическое занятие №9. Основы теплопередачи

К практическому занятию по теме «Основы теплопередачи» студентам рекомендуется подготовить и презентовать реферат по одной из ниже перечисленных тем. Материал реферата будет полезен при выполнении индивидуальных кейс-задач, которые студенты, после получения алгоритма решения, будут выполнять самостоятельно с применением дополнительного материала, выданного в ходе лекционного курса для самостоятельной проработки.

Примерный перечень тем рефератов для подготовки к практическому занятию №9:

1. Виды теплообмена
2. Теплопроводность
3. Конвекция
4. Тепловое излучение
5. Виды сложного переноса теплоты
6. Теплопередача через плоскую стенку
7. Теплопередача через однослойную стенку
8. Теплопередача через многослойную стенку
9. Теплопередача через цилиндрическую стенку
10. Теплопередача через ребристую стенку
11. Коэффициент теплопередачи и его физический смысл

Практическое занятие №10. Теплопроводность

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 10.1 Обмуровка топки парового котла состоит из двух слоев. Внутренний слой выполнен из шамотного кирпича: $\delta_1 = 400$ мм, $\lambda_1 = 1,4$ Вт/(м·К), а наружный – из красного кирпича: $\delta_2 = 200$ мм, $\lambda_2 = 0,58$ Вт/(м·К). Температуры внутренней и наружной поверхности обмуровки соответственно $T_1 = 900$ °С и $T_3 = 90$ °С. Определить потери тепла q через обмуровку и наибольшую температуру T_2 красного кирпича.

Задача 10.2 Определить потерю тепла Q [Вт] через стенку из красного кирпича [$\lambda = 0,8$ Вт/(м·К)] длиной $l = 5$ м, высотой $h = 4$ м и толщиной $\delta = 510$ мм, если температура воздуха внутри помещения $T_{ср1} = 18$ °С, коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки $\alpha_1 = 7,5$ Вт/(м²·К), температура наружного воздуха $T_{ср2} = -30$ °С, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки $\alpha_2 = 20$ Вт/(м²·К). Вычислить также температуры на поверхностях стены $T_{п1}$ и $T_{п2}$.

Задача 10.3 Определить расход тепла q через стенку трубы ($d_1/d_2 = 20/30$ мм) из жаропрочной стали, коэффициент теплопроводности которой $\lambda = 17,4$ Вт/(м·К), а температуры внешней и внутренней поверхностей $T_1 = 600^\circ\text{C}$, $T_2 = 450^\circ\text{C}$.

Задача 10.4 Вычислить потерю тепла с 1 м неизолированного трубопровода диаметром $d_1/d_2 = 300/330$ мм, проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой $T_{ср1} = 90^\circ\text{C}$. Температура окружающего воздуха $T_{ср2} = -15^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности материала трубы $\lambda = 50$ Вт/(м·К), коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы $\alpha_1 = 1000$ Вт/(м²·К) и от трубы к окружающему воздуху $\alpha_2 = 12$ Вт/м²·К. Определить также температуры на внутренней и внешней поверхностях трубы.

Задача 10.5 Через плоскую металлическую стенку топки котла толщиной $\delta = 14$ мм от газов к кипящей воде проходит удельный тепловой поток $q = 25000$ Вт/м². Коэффициент теплопроводности стали $\lambda = 50$ Вт/(м·К). Определить перепад температур на поверхностях стенки.

Задача 10.6 Определить удельный тепловой поток через бетонную стенку толщиной $\delta = 300$ мм, если температуры на внутренней и наружных поверхностях стенки соответственно равны $T_1 = 15^\circ\text{C}$ и $T_2 = -15^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности бетона $\lambda = 1,0$ Вт/(м·К).

Задача 10.7 Определить потерю тепла q через свод пламенной печи, выложенной из шамотного кирпича [$\delta = 250$ мм, $\lambda = 1,28$ Вт/(м·К)]. Температура свода печи на горячей стороне $T_1 = 1000^\circ\text{C}$, а на холодной $T_2 = 200^\circ\text{C}$.

Задача 10.8 Определить расход тепла Q [Вт] через кирпичную стенку толщиной $\delta = 250$ мм на площади 3×5 м², если температуры поверхностей стенки $T_1 = 10^\circ\text{C}$ и $T_2 = 20^\circ\text{C}$, а коэффициент теплопроводности кирпича $\lambda = 1,16$ Вт/(м·К).

Задача 10.9 Вычислить плотность теплового потока q через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали $\lambda_{ст} = 40$ Вт/(м·К); б) из бетона $\lambda_{б} = 1,1$ Вт/(м·К); в) из диатомитового кирпича $\lambda_{к} = 0,11$ Вт/(м·К). Во всех случаях толщина стенки $\delta = 50$ мм. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными и равными $T_1 = 100^\circ\text{C}$ и $T_2 = 90^\circ\text{C}$. Стенка нагревательной печи имеет два слоя кирпича. Внутренний слой выполнен из огнеупорного кирпича толщиной $\delta_1 = 350$ мм, а наружный из красного кирпича толщиной $\delta_2 = 250$ мм. Определить температуру на внутренней поверхности стенки T_1 и на внутренней стороне красного кирпича T_2 , если на наружной стороне температура стенки $T_3 = 90^\circ\text{C}$, а потеря тепла через 1 м² поверхности стенки равна 1 кВт. Коэффициенты теплопроводности огнеупорного и красного кирпича соответственно равны: $\lambda_{ок} = 1,4$ Вт/(м·К) и $\lambda_{кк} = 0,58$ Вт/(м·К).

Задача 10.10 Обмуровка печи состоит из слоев шамотного и красного кирпича и диатомитовой засыпки между ними. Диатомитовая засыпка имеет толщину $\delta_2 = 50$ мм и $\lambda_2 = 0,14$ Вт/(м·К), а красный кирпич имеет $\delta_3 = 250$ мм и $\lambda_3 = 0,7$ Вт/(м·К). Во сколько раз необходимо увеличить толщину красного кирпича для того, чтобы обмуровка печи без диатомитовой засыпки имела такое же внутреннее термическое сопротивление, как и с засыпкой?

Задача 10.11 Определить поток тепла q через поверхность стальной стенки котла [$\delta_1 = 20$ мм, $\lambda_1 = 58$ Вт/(м·К)], покрытую слоем накипи [$\delta_2 = 2$ мм, $\lambda_2 = 1,16$ Вт/(м·К)]. Наибольшая температура поверхности стенки равна 250°C , а наименьшая температура накипи 100°C . Определить также наибольшую температуру накипи.

Практическое занятие №11. Конвективный теплообмен

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 11.1 Температура поверхности вертикальной стенки высотой $h = 3$ м равна $t_c = 10^\circ\text{C}$. Температура воздуха в помещении $t_{ж} = 20^\circ\text{C}$. Определить коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке.

Задача 11.2 Определить коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стенке трубы диаметром $d=17$ мм, если температура стенки $t_c=30^\circ\text{C}$, а температура воды в трубе $t_{ж}=60^\circ\text{C}$. Скорость воды в трубе $w=0,5$ м/с.

Задача 11.3 Тепло горячей воды, движущейся внутри круглой горизонтальной трубы, передается воздуху, омывающему трубу по наружной поверхности свободным потоком. Требуется определить коэффициенты теплоотдачи водой внутренней поверхности трубы и наружной ее поверхности к воздуху, а также коэффициент теплопередачи от воды к воздуху. Внутренний диаметр трубы $d_1=30$ мм, толщина стенки трубы $\delta=3,0$ мм; длина трубы $l=1,4$ м; материал трубы — красная медь, с коэффициентом теплопроводности $\lambda=378$ Вт/(м·К); средняя скорость воды в трубе $w=0,35$ м/с; средняя температура воды в трубе $t_{ж1}=80^\circ\text{C}$, температура воздуха $t_{ж2}=20^\circ\text{C}$.

Задача 11.4 Определить потери теплоты в единицу времени с одного погонного метра горизонтально расположенной цилиндрической трубы диаметром $d=270$ мм в окружающую среду, если температура стенки трубы $t_{ст}=230^\circ\text{C}$, а температура воздуха $t_{в}=25^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи определять из критериальных уравнений теплоотдачи при поперечном обтекании трубы. Особое внимание обратить на вид конвекции, режим течения и определяющую температуру. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре. Лучистым теплообменом пренебречь. Расчет вести для режима смешанной конвекции, средняя скорость движения воздуха $w=0,1$ м/с.

Задача 11.5 Воздух течет внутри трубы, имея среднюю температуру $t_{в}=15^\circ\text{C}$, давление $p=1$ МПа, скорость w . Определить коэффициент теплоотдачи от трубы к воздуху α_1 , а так же линейную плотность теплового потока q , если внутренний диаметр трубы $d_1=40$ мм, а толщина ее $\delta=3$ мм, теплопроводность $\lambda=20$ Вт/м·К. Температура и коэффициент теплоотдачи горячих газов, омывающих трубу равны соответственно $t_2=700^\circ\text{C}$, $\alpha_2=40$ Вт/м·К, $w=10$ м/с, $\lambda_{в}\cdot 10^2=2,55$ Вт/(м·К); $v_{в}\cdot 10^6=14,61$ м²/с.

Задача 11.6 Электрошина сечением $h \times \delta=100$ мм \times 10 мм и удельным сопротивлением ρ , установленная на ребро, охлаждается свободным потоком воздуха, температура которого $t_{ж}$. При установившейся электрической нагрузке температура электрошины не должна превышать 70°C . Определить коэффициент теплоотдачи α , допустимую силу тока J и величину теплового потока, теряемую в окружающую среду, если длина электрошины l .

Задача 11.7 Изолированный горизонтальный трубопровод проложен на открытом воздухе, температура которого $t_{ж}=-35^\circ\text{C}$. Температура наружной поверхности изоляции равна $t_{ст}=45^\circ\text{C}$, наружный диаметр изоляции равен $d=100$ мм. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловые потери с 1 м длины трубопровода. Во сколько раз возрастут тепловые потери, если трубопровод будет обдуваться поперечным потоком воздуха со скоростью $w=6$ м/с?

Задача 11.8 Определить тепловой поток от неизолированного трубопровода наружным диаметром $d=100$ мм и длиной $l=4$ м к окружающему воздуху. Температура стенки $t_c=120^\circ\text{C}$, температура воздуха $t_{ж}=4^\circ\text{C}$. Расположение трубопровода вертикальное.

Задача 11.9 Определить потери теплоты в единицу времени с одного погонного метра горизонтально расположенной цилиндрической трубы диаметром $d=290$ мм в окружающую среду, если температура стенки трубы $t_c=200^\circ\text{C}$, а температура воздуха $t_{в}=10^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи определять из критериальных уравнений теплоотдачи при поперечном обтекании трубы. Особое внимание обратить на вид конвекции, режим течения и определяющую температуру. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре. Лучистым теплообменом пренебречь. Расчет вести для режима вынужденной конвекции, средняя скорость движения воздуха $w=3$ м/с.

Задача 11.10 Одинаковы ли будут коэффициенты теплоотдачи при одинаковом температурном напоре и противоположных направлениях теплового потока (от поверхности трубы к воздуху и от воздуха к поверхности)? Почему?

Задача 11.11 Определить потери теплоты в единицу времени с одного погонного метра горизонтально расположенной цилиндрической трубы диаметром $d=250$ мм в окружающую среду, если температура стенки трубы $t_c=180^\circ\text{C}$, а температура воздуха $t_{в}=0^\circ\text{C}$. Коэффициент

теплоотдачи определять из критериальных уравнений теплоотдачи при поперечном обтекании трубы. Особое внимание обратить на вид конвекции, режим течения и определяющую температуру. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре. Лучистым теплообменом пренебречь. Расчет вести для режима свободной конвекции

Задача 11.12 По трубопроводу с внешним диаметром $d_n=170$ мм и толщиной стенки $\delta=9$ мм течет газ со средней температурой $t_g=1000^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке $\alpha_1=60$ Вт/(м²К). Снаружи трубопровод охлаждается водой со средней температурой $t_w=60^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воде $\alpha_2=4000$ Вт/(м²К). Определить коэффициент теплопередачи от газа к воде, погонный тепловой поток и температуры наружной и внутренней стенки трубы. Тепловой поток считать стационарным. Лучистым теплообменом пренебречь.

Задача 11.13 По вертикальной трубе, длиной $l=2,0$ м, движется дым со скоростью $w=0,5$ м/с. Температура дыма $t_1=400^\circ\text{C}$. Снаружи трубы находится воздух с температурой $t_2=20^\circ\text{C}$. Внутренний диаметр трубы $d=0,2$ м, толщина стенки $\delta_1=0,02$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_1=40$ Вт/(м К). На трубе, с обеих сторон нанесена изоляция толщиной $\delta_2=0,005$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_2=0,5$ Вт/(м К). Определить температуру стенки трубы на поверхности изоляции со стороны воздуха.

Задача 11.14 Определить потерю теплоты с поверхности 1м неизолированного трубопровода, если его внутренний диаметр $d_1=76$ мм, толщина стенки $\delta=3$ мм, коэффициент его теплопроводности $\lambda=50$ Вт/м град. Температура воды $t_{ж1}=95^\circ\text{C}$, наружная температура $t_{ж2}=15^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы $\alpha_1=5000$ Вт/м² град, а от трубы к воздуху $\alpha_2=15$ Вт/м² град. Во сколько раз уменьшатся потери тепла, если трубопровод изолировать слоем совелита толщиной $\delta_s=15$ мм

Задача 11.15 Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным неизолированным паропроводом диаметром $d=100$ мм и длиной $l=3,0$ м. Температура его наружной поверхности $t_c=170^\circ\text{C}$. Температура воздуха в помещении $t_{ж}=30^\circ\text{C}$.

Практическое занятие №12. Критерии подобия

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач по теме приведен ниже. Литература, содержащая примеры решения, а так же дополнительный теоретический материал представлена в рабочей программе дисциплины «Термодинамика и теплопередача».

Задача 12.1 Продукты горения (55% N₂, 20% CO₂, 23% H₂O, 2% O₂ – в объемных долях) с температурой $t_g=800^\circ\text{C}$ проходят по шамотной трубе с внутренним диаметром $d=140$ мм. Давление газа $p=0,14$ МПа, коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_k=25$ Вт/м²•К. Чему равна линейная плотность теплового потока через стенку трубы, если температура ее внутренней поверхности $t_c=400^\circ\text{C}$?

Задача 12.2 Стальная труба длиной $l=250$ м и диаметром $d_1/d_2=150/165$ мм покрыта слоем изоляции теплопроводностью $\lambda=0,3$ Вт/(м•°С) и толщиной $\delta=9$ мм, по трубе течет вода с температурой $t_w=130^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha_1=1,5$ кВт/(м²•°С), снаружи труба омывается воздухом с температурой $t_{возд}=-10^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha_2=14$ Вт/(м²•°С). Определить сколько тепла теряется в течение года. Теплопроводность стали $\lambda_{тр}=45$ Вт/(м•°С). Как изменятся теплотери. Если на внутренней поверхности трубы образовался слой ржавчины толщиной $\delta_r=0,2$ мм и коэффициентом теплопроводности $\lambda_r=5$ Вт/(м•°С)

Задача 12.3 Стальной слиток размером $100\times 200\times 300$ мм, имеющий температуру $t_0=20^\circ\text{C}$ помещен в печь с температурой $t_c=1500^\circ\text{C}$ на время $\tau=1,5$ часа. Определить температуру в центре слитка, если известны: коэффициент температуропроводности $a=6,94 \times 10^{-6}$ м²/с, коэффициент теплоотдачи от среды к слитку $\alpha=165$ Вт/м²×град, коэффициент теплопроводности слитка $\lambda=37,2$ Вт/м×град.

Задача 12.4 Батон охлаждается в воздухе, имеющем температуру $t_{ж}=21^\circ\text{C}$. Начальная температура батона $t_c=240^\circ\text{C}$. Диаметр батона $d=60$ мм. Физические параметры батона: коэффициент теплопроводности $\lambda=0,224$ Вт/м град, коэффициент температуропроводности

$a=24,3 \times 10^{-8}$ м²/с. Коэффициент теплоотдачи от батона к воздуху $\alpha=10$ Вт/м² град. Определить температуры поверхности батона и его середины через 1 час после начала охлаждения.

Задача 12.5 Бетонная колонна охлаждается в воздухе, имеющем температуру $t_{ж} = -20^{\circ}\text{C}$. Начальная температура бетонной колонны $t_c=30^{\circ}\text{C}$. Радиус колонны $r=0,4$ м. Физические параметры бетона: коэффициент теплопроводности $\lambda=0,87$ Вт/м град, плотность $\rho=2100$ кг/м³, теплоемкость $C=0,88$ кДж/кг град. Коэффициент теплоотдачи от колонны к воздуху $\alpha=8$ Вт/м² град. Определить температуры поверхности колонны и ее середины через 6 и 12 часов после начала охлаждения.

Задача 12.6 Плоская пластина длиной $l=1$ м, обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха: $w_0=80$ м/с, $t_0=10^{\circ}\text{C}$. Перед пластиной установлена турбулизирующая решетка и на ней развивается турбулентный пограничный слой для всей длины пластины. Вычислить среднее значение коэффициента теплоотдачи.

Задача 12.7 Тонкая пластина длиной $l=125$ мм обтекается продольным потоком воды, скорость которой вне пограничного слоя равна $w_0=2$ м/с. Температура набегающего потока воды $t_0=20^{\circ}\text{C}$. Температура поверхности пластины $t_c=50^{\circ}\text{C}$. Ширина пластины $b=1$ м. Вычислить тепловой поток от пластины к жидкости.

Задача 12.8 Стальная заготовка диаметром $d=80$ мм и длиной $l=400$ мм, с начальной температурой $t_0=17^{\circ}\text{C}$ помещается в нагревательную печь с температурой $t_c=1000^{\circ}\text{C}$. Определить до какой температуры на поверхности t_p и в центре t_c , заготовка нагреется за время $\tau=35$ секунд. Принять коэффициент теплоотдачи от газов к заготовке равным $\alpha_1=150$ Вт/(м²К), плотность стали $\rho=7800$ кг/м³, теплоемкость $C=0,46$ КДж/(кг К), коэффициент теплопроводности $\lambda=45$ Вт/(м К). Задачу решать с использованием графиков зависимости безразмерной температуры от чисел подобия для цилиндра и пластины.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные занятия – это потенциально наиболее значимый и результативный компонент естественнонаучной, общей профессиональной и специальной подготовки в области техники и технологий, предназначенный для приобретения навыков работы на реальном оборудовании, с аналогами которого будущему специалисту, возможно, придется иметь дело в своей практической деятельности.

На лабораторный практикум возлагаются следующие важные задачи:

- практическое закрепление полученных теоретических знаний;
- приобретение навыков самостоятельной работы с реальным оборудованием;
- планирование и постановка инженерного эксперимента;
- выбор оборудования для проведения эксперимента;
- обработка и объяснение результатов эксперимента;
- сопоставление результатов теоретического анализа с экспериментальными данными.

В идеальной постановке образовательного процесса для повышения эффективности усвоения учебного материала, каждый объект изучения в рамках учебной дисциплины в обязательном порядке должен снабжаться всеми необходимыми компонентами теоретического, практического, модельного и экспериментального изучения.

Общие указания к выполнению лабораторных работ

На первом занятии каждый студент должен получить инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности. Студенты, не прошедшие инструктаж, к проведению лабораторных работ не допускаются.

До проведения очередной лабораторной работы студент обязан:

- защитить отчет по предыдущей лабораторной работы;
- получить допуск к планируемой лабораторной работе, а именно:

Знать основные теоретические положения по изучаемому вопросу, описать лабораторную установку и порядок выполнения работы.

При невыполнении вышеизложенного студент к выполнению лабораторной работы не допускается.

Включение лабораторной установки производится только с разрешения преподавателя. При выполнении лабораторной работы следует строго соблюдать последовательность действий.

По окончании замеров результаты опыта предоставляются на проверку преподавателю. При неудовлетворительных результатах лабораторный опыт следует повторить.

На основании результатов опыта составляется отчет по лабораторной работе. Отчет выполняется на листах формата А4 в соответствии с представленными указаниями по составлению отчета и с соблюдением требований оформления, установленных университетом.

Каждая лабораторная работа должна содержать:

Цель

Основные теоретические сведения

Описание установки

Порядок выполнения эксперимента

Обработка результатов эксперимента

Отчет

Контрольные вопросы для защиты отчета

Методические указания для проведения лабораторных работ по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» представлены в перечне дополнительной литературы рабочей программы дисциплины.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа является одним из видов учебной деятельности обучающихся, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику изучаемой учебной дисциплины, индивидуальные особенности обучающегося.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуется как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка обучающегося;
- контроль и оценка со стороны преподавателя.

Организация и руководство аудиторной самостоятельной работы

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы являются:

- выполнение лабораторных и практических работ по инструкциям; работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными;
- само- и взаимопроверка выполненных заданий;
- решение проблемных и ситуационных задач.

Выполнение лабораторных и практических работ осуществляется на лабораторных и практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Для обеспечения самостоятельной работы преподавателями разрабатываются методические указания по выполнению лабораторной/практической работы.

Работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными может реализовываться на практических занятиях. Преподаватель формулирует цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само- и взаимопроверка выполненных заданий чаще используется на практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

Решение проблемных и ситуационных задач используется на лекционном, практическом и других видах занятий. Проблемная/ситуационная задача должна иметь четкую формулировку, к ней должны быть поставлены вопросы, ответы на которые необходимо найти и обосновать. Критерии оценки правильности решения проблемной/ситуационной задачи должны быть известны всем обучающимся.

Организация и руководство внеаудиторной самостоятельной работы

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Для методического обеспечения и руководства самостоятельной работой в образовательном учреждении разрабатываются учебные пособия, методические рекомендации по самостоятельной подготовке к различным видам занятий (семинарским, лабораторным, практическим и т.п.) с учетом специальности, учебной дисциплины, особенностей контингента студентов, объема и содержания самостоятельной работы, форм контроля и т.п.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;
- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, ребусов, кроссвордов, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ и др.); подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии, заданий в тестовой форме и др.;
- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; составление схем; решение ситуационных производственных (профессиональных) задач; подготовка к деловым и ролевым играм; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности; подготовка презентаций, творческих проектов; подготовка курсовых и выпускных работ; опытно-экспериментальная работа; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет

внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др.

Методические рекомендации по изучению теоретических основ дисциплины

Изучение теоретической части дисциплины призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплин включает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- знакомство с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы, коллоквиумы);
- подготовку и написание рефератов;
- выполнение контрольных работ;
- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.

При выполнении самостоятельной работы по написанию реферата студенту необходимо: прочитать теоретический материал в рекомендованной литературе, периодических изданиях, на Интернет-сайтах; творчески переработать изученный материал и представить его для отчета в форме реферата, проиллюстрировав схемами, диаграммами, фотографиями и рисунками.

Тексты контрольных работ и рефератов должны быть изложены внятно, простым и ясным языком.

При ответе на экзамене необходимо: продумать и четко изложить материал; дать определение основных понятий; дать краткое описание явлений; привести примеры. Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.

5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амирханов Д.Г. Теплопередача [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.Г. Амирханов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2008. — 119 с. — 978-5-7882-0611-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63482.html>
2. Зеленцов Д.В. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.В. Зеленцов. — Электрон. текстовые данные. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 140 с. — 978-5-9585-0456-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20525.html>
3. Скаков С.В. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : курс лекций / С.В. Скаков. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 122 с. — 978-5-88247-698-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55663.htm>
4. Амирханов Д.Г. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.Г. Амирханов, Р.Д. Амирханов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 264 с. — 978-5-7882-1664-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63486.html>
5. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 308 с. — (Серия : Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-01738-0.
6. Сандаков С.А. Термодинамика [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / С.А. Сандаков, И.А. Пикулев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2008. — 58 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21767.html>
7. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям / . — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 17 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55163.html>
8. Теплотехника [Текст] : лабораторный практикум / М. В. Гриценко, А. В. Гриценко ; АмГУ. Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. - 132 с. : рис. - Библиогр.: с. 131
9. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140101-тепловые электрические станции / АмГУ, Эн.ф. ; сост. М. В. Гриценко, С. П. Присяжная. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 58 с.
10. Теоретические основы теплотехники. Термодинамика [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140101 - Тепловые электрические станции / АмГУ, Эн.ф. ; сост. М. В. Гриценко. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 71 с.
11. Кудинов И.В. Теоретические основы теплотехники. Часть I. Термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кудинов И.В., Стефанюк Е.В.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 172 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22626>
12. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. М: Издательство МЭИ, 2004.
13. Сандаков С.А. Термодинамика [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам/ Сандаков С.А., Пикулев И.А.— Электрон. текстовые данные.—Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2008.— 58 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21767>.— ЭБС «IPRbooks»