

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению практических занятий
по дисциплине

ТЕПЛОТЕХНИКА

Донецк
2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ОХРАНА ТРУДА И АЭРОЛОГИЯ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

к выполнению практических занятий
по дисциплине «Теплотехника»
для обучающихся по специальности
21.05.04 «Горное дело»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
«Охрана труда и аэрология»
Протокол № 4 от 14.12.2022 г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании учебно-
издательского совета ДОННТУ
Протокол № 1 от 25.01.2023 г.

Донецк
2023

УДК 621.1.016(076)

М54

Составитель:

Кавера Алексей Леонидович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 Методические рекомендации к выполнению практических занятий по дисциплине «Теплотехника» для обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. охраны труда и аэрологии ; сост. А. Л. Кавера. – Донецк : ДОННТУ, 2023. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

В методических рекомендациях приведен теоретический материал и задачи по темам, для которых рабочей программой предусмотрены практические занятия.

УДК 621.1.016(076)

Практическое занятие № 1. Определение абсолютного давления

Теоретические основы.

Термодинамическое давление (p), представляет собой силу, действующую по направлению нормали на единичную площадку некоторой поверхности, находящейся в системе. Единицей давления служит паскаль (Па) – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м² и нормальной к ней. В термодинамических соотношениях используется абсолютное давление, представляющее собой сумму манометрического (избыточного) и барометрического (атмосферного) давлений:

$$p = p_{изб} + p_{бар}.$$

Нормальное барометрическое давление

$$p_n = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101325 \text{ Па} = 1 \text{ атм.}$$

Рабочим телом часто является газ (при не очень низких и не при сверхвысоких температурах). В термодинамике идеальным газом называют газ, удовлетворяющий состоянию

$$p\tilde{v} = \tilde{R}T, \text{ (уравнение Менделеева-Клапейрона)}$$

где \tilde{v} – молярный объем,

$\tilde{R} = 8,314 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ – универсальная газовая постоянная.

$$\tilde{v} = \frac{V}{\nu}; \quad pV = \nu\tilde{R}T; \quad pV = \frac{m}{\mu}\tilde{R}T;$$

$R = \frac{\tilde{R}}{\mu}$ – удельная газовая постоянная;

μ – молярная масса, кг/кмоль;

$$pV = mRT.$$

Для однородной системы:

$$pv = RT.$$

Газ, приведенный к нормальным условиям – газ под давлением $p_n=101325$ Па и при температуре $T_n=273,15$ К.

Термодинамическая температура (T), ее значение выражается в кельвинах (К) или в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), но во всех термодинамических соотношениях используется только термодинамическая температура, выраженная в кельвинах. Связь между температурами, выраженными по двум шкалам, определяется соотношением

$$T = t + 273,15.$$

Объем (V) системы выражается в м³. Для выражения координаты состояния однородных систем используют удельный объем v (м³/кг). Иногда в термодинамических соотношениях вместо удельного объема применяется обратная величина – плотность ρ (кг/м³). ($v = V/m, \rho = m/V \Rightarrow v = 1/\rho$)

Задача 1.

Давление в котле по манометру составляет 0,3 атм. при показании барометра 745 мм рт. ст. Определить абсолютное давление (Па) в котле.

Задача 2.

Давление в конденсаторе паровой турбины по вакуумметру составляет 95 кПа при показании барометра 745 мм рт. ст. Определить абсолютное давление (Па) в конденсаторе.

Задача 3.

Найти плотность и удельный объем углекислого газа при нормальных условиях.

Задача 4.

Найти плотность и удельный объем кислорода при показании манометра 2,5 атм. и температуре 27°C.

Задача 5.

В баллоне находится газ метан под давлением 200 атм. и при температуре 27°C. Вычислить плотность газа.

Практическое занятие № 2. Уравнение Менделеева-Клапейрона

Теоретические основы.

Формы записи уравнения Менделеева-Клапейрона и его составляющие представлены в теоретических основа к практическому занятию № 1.

Задача 1.

Газ при показании манометра 2,5 атм. и температуре 27°C занимает объем 4,5 м³. Привести объем газа к нормальным условиям.

Задача 2.

В баллоне с объемом 2 л, помещен кислород. Найти массу газа, если показания манометра 100 атм., температура 27°C, а атмосферное давление 745 мм рт. ст.

Задача 3.

В резервуаре, объем которого 4 м³, помещен углекислый газ. Найти массу газа, если избыточное давление 0,4 атм., температура 80°C, а атмосферное давление 745 мм рт. ст.

Задача 4.

При температуре 15°C и давлении 2,15 атм. плотность газа равна 4 кг/м³. Найти массу килограмм-моля газа.

Задача 5.

Зонд, используемый для исследования верхних слоев атмосферы, наполнен водородом под давлением в 1 атм. при температуре 27°C. Масса оболочки зонда 3 кг, диаметр шара 5 м. Определить массу водорода и грузоподъемность зонда.

Задача 6.

В баллоне емкостью 200 л находился кислород под давлением 12 МПа при температуре 22°C. Определить, сколько израсходовано кислорода, если давление в баллоне снизилось до 8 МПа, а температура – до 17°C.

Задача 7.

В баллоне объемом 12 л находился метан при температуре 22°C. После того, как часть газа израсходовали, давление в баллоне снизилось на 4 атм. Сколько

граммов метана было потрачено?

Задача 8.

Баллон емкостью 200 л содержит метан под давлением 9,2 МПа при температуре 22°C. Определить массу израсходованного метана, если при неизменной температуре давление в баллоне упало в 23 раза.

Задача 9.

Компрессор подает сжатый воздух в воздухооборник, при этом давление в нем, измеряемое манометром, повышается в 9 раз, а температура – от 22 до 50°C. Определить массу воздуха, поданного компрессором в воздухооборник вместимостью 6 м³, если перед пуском компрессора в воздухооборнике находился воздух с давлением 0,1 МПа.

Задача 10.

На сколько увеличится атмосферное давление при опускании по вертикальному стволу шахты на 600 м, если температура постоянна и равна 22°C.

Практическое занятие № 3. Уравнение Ван-дер-Ваальса

Теоретические основы.

Наиболее простым (а их было много, и некоторые имели до 60 констант, которые нужно было определять экспериментально), качественно правильно описывающим поведение реального газа и дающим удовлетворительные результаты, оказалось уравнение Ван-дер-Ваальса. Оно получено введением поправок в уравнение Менделеева-Клапейрона.

$$\left(p + \frac{a}{\tilde{v}^2}\right)(\tilde{v} - b) = \tilde{R}T,$$

где a и b – константы, разные для различных газов.

b имеет смысл объема, недоступного для движения молекул газа, вследствие их конечных размеров (объема газа при бесконечно большом давлении).

$\frac{a}{\tilde{v}^2}$ имеет смысл внутреннего давления, обусловленного притяжением молекул.

Константы a и b также можно вычислить, зная параметры критического состояния, по формулам

$$a = \frac{27T_k^2 \tilde{R}^2}{64p_k}, \quad b = \frac{T_k \tilde{R}}{8p_k}.$$

Задача 1.

Для воды параметры критического состояния следующие: критическое давление 22,129 МПа, критическая температура 374,15°C, критический удельный объем 0,00326 м³/кг. Найти константы уравнения Ван-дер-Ваальса для воды.

Задача 2.

Вычислить константы уравнения Ван-дер-Ваальса и газовую постоянную метилформиата (*метиловый эфир муравьиной кислоты* – HCO_2CH_3), используя его критические параметры: $T_k=487,2$ К, $p_k=59,25$ атм., $v_k=0,172$ м³/кмоль.

Практическое занятие № 4. Первый закон термодинамики

Теоретические основы.

В технической термодинамике количество термического воздействия (количество теплоты) обозначается Q и считается положительной величиной, когда в результате теплового взаимодействия внутренняя энергия возрастает. Остальные воздействия называются работой. В технической термодинамике отдельно рассматривают работу объемной деформации системы и работу, не связанную с объемной деформацией. Механическая работа, совершаемая при объемной деформации, обозначается L .

Работа считается положительной величиной, когда деформация системы происходит с уменьшением внутренней энергии, т. е. когда система совершает работу над окружающей средой. Такое же правило знаков применяется и для других видов работ, в связи с чем, знаки количеств нетермических воздействий всегда противоположны знакам количеств соответствующих работ.

С учетом введенных обозначений и правила знаков, уравнение первого закона термодинамики для термодиформационной системы получит вид

$$\Delta U = Q - L,$$

а первый закон – следующую формулировку: изменение внутренней энергии термодинамической системы равно разности между количеством теплоты и работой.

В случае элементарного, бесконечно малого процесса:

$$dU = dQ - dL.$$

Уравнение первого закона термодинамики в удельных величинах, для однородной термодиформационной системы, участвующей в элементарном термодинамическом процессе, получит вид

$$du = dq - dl.$$

Работу изобарного расширения можно найти по формуле

$$L = p(V_2 - V_1).$$

Удельную работу изобарного расширения можно найти по формуле

$$l = R(T_2 - T_1).$$

Удельную теплоту можно найти по формуле

$$q = c_p (t_2 - t_1),$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость.

Удельную изобарную теплоемкость можно определить из выражения

$$c_p = \frac{(i+2)R}{2},$$

где i – число степеней свободы молекулы. Для двухатомных газов можно принять $i=5$, для многоатомных – $i=7$.

Изменение энтропии при изобарном расширении можно определить по формуле

$$s_2 - s_1 = c_p \ln(T_2/T_1).$$

Для адиабатного процесса справедливо соотношение

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

где k – показатель адиабаты. Для одноатомного газа $k=1,66$, для двухатомного $k=1,4$, для трех- и многоатомных газов $k=1,33$.

Задача 1.

4 м³ углекислого газа имеют давление 1,4 МПа и начальную температуру 27°C. Какое количество теплоты нужно подвести к газу в изобарном процессе, чтобы повысить его температуру до 327°C? Определить параметры конечного состояния, работу расширения, изменение внутренней энергии и энтропии.

Задача 2.

Метан, занимающий объем 20 л под давлением 10 атм., был изобарно нагрет от температуры 25°C до 100°C. Определить теплоту, участвующую в процессе, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Задача 3.

6 кг кислорода с начальной температурой 12°C и абсолютным давлением 0,6 МПа адиабатно сжимают до давления 1,7 МПа, а потом изобарно расширяют до первоначального объема. Определить параметры в конце адиабатного сжатия и изобарного расширения, изменение внутренней энергии и энтропии, теплоту и работу изобарного расширения.

Практическое занятие № 5. Определение параметров компонентов газовых смесей

Теоретические основы.

Газ, входящий в газовую смесь, оказывает на стенки сосуда давление, которое не зависит от присутствия в этом объеме других газов.

Давление, которое создавал бы отдельный компонент газовой смеси, если бы он сам занимал весь объем, предназначенный для смеси при температуре смеси, называется **парциальным давлением**.

Согласно закону Дальтона, полное давление смеси химически не реагирующих между собой газов равно сумме парциальных давлений отдельных газов, входящих в смесь:

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (\text{закон парциальных давлений})$$

где n – число компонентов газовой смеси.

Объем, который создавал бы отдельный газ при давлении и температуре смеси, называется **парциальным объемом**.

$$\frac{V_i}{V_{см}} = \frac{P_i}{P_{см}}.$$

Состав смеси может быть задан массовыми g_i , объемными r_i , или молярными долями компонентов.

$$g_i = m_i/m_{см}, \quad r_i = V_i/V_{см}, \quad r_i = \nu_i/\nu_{см}.$$

Молярные и объемные доли численно равны.

Состав смеси можно задать через парциальные давления отдельных компонентов, что равносильно заданию объемных или молярных долей.

Газовую постоянную смеси определим по формуле

$$R_{см} = \tilde{R} / \mu_{см},$$

где $\mu_{см}$ – кажущаяся молярная масса газовой смеси, которую определим по формуле

$$\mu_{см} = \sum_{i=1}^n (\mu_i r_i), \quad \text{или} \quad \mu_{см} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (g_i / \mu_i)},$$

где μ_i – молярная масса i -го компонента газовой смеси.

Между массовыми и объемными долями компонентов имеется связь:

$$r_i = \frac{g_i \mu_{см}}{\mu_i}.$$

Задача 1.

Объемный состав сухих дымовых газов следующий: углекислого газа 12,3 %, кислорода 7,2 %, азота 80,5 %. Найти молярную массу, газовую постоянную и плотность смеси при давлении 745 мм рт. ст. и температуре 800°C.

Задача 2.

Определить газовую постоянную, плотность газовой смеси и парциальное давление ее составляющих, если объемный состав смеси следующий: углекислого газа 12 %, кислорода 11 %, азота 72 %, водяного пара 5 %. Давление смеси равно 0,32 МПа, а ее температура 100°C.

Задача 3.

Анализ продуктов сгорания показал их следующий объемный состав: углекислого газа 13 %, кислорода 6 %, азота 80,4 %, оксида углерода (угарного газа) 0,6 %. Определить массовый состав, газовую постоянную и плотность газовой смеси при давлении 0,6 МПа и температуре 100°C.

Задача 4.

Газ коксовой печи имеет следующий массовый состав: углекислого газа 3 %, водорода 51 %, азота 13 %, оксида углерода (угарного газа) 7 %, метана 26 %. Определить объемный состав, газовую постоянную и плотность смеси при давлении 0,12 МПа и температуре 30°C.

Задача 5.

Генераторный газ имеет следующий объемный состав: углекислого газа 4,7 %, водорода 6 %, азота 60,9 %, оксида углерода (угарного газа) 26,4 %, метана 2 %. Определить газовую постоянную, молярную массу, плотность смеси и парциальное давление компонентов, при температуре 30°C и давлении 0,1 МПа.

Задача 6.

Массовый состав продуктов сгорания следующий: углекислого газа 11,2 %, кислорода 6,4 %, азота 81,8 %, оксида углерода (угарного газа) 0,6 %. Найти объемные доли компонентов, газовую постоянную, молярную массу и плотность газовой смеси, если ее давление равно 745 мм рт. ст., а температура 600°C.

Задача 7.

Определить газовую постоянную, удельный объем при нормальных условиях и объемный состав газовой смеси, если она имеет следующий массовый состав: углекислого газа 9,4 %, водорода 8,7 %, азота 6,4 %, оксида углерода (угарного газа) 18,7 %, метана 51,2 %, кислорода 5,6 %.

Задача 8.

Сухой атмосферный воздух по объемному составу имеет: азота 78,09 %, кислорода 20,95 %, аргона 0,93 %, углекислого газа 0,03 %. Определить массовый состав воздуха, парциальное давление азота и кислорода при нормальных условиях.

Задача 9.

Газовая смесь состоит из 7 кг кислорода, 0,2 кг водорода и некоторого количества углекислого газа. Смесь находится в сосуде емкостью 8 м³ при давлении 0,2 МПа и температуре 27°C. Определить массу углекислого газа, парциальное давление компонентов, массовый состав и газовую постоянную смеси.

Практическое занятие № 6. Термодинамический анализ процессов идеального газа

Теоретические основы.

При изохорном процессе давление газа прямо пропорционально его абсолютной температуре:

$$p_2/p_1 = T_2/T_1.$$

Количество теплоты, подведенной к рабочему телу в изохорном процессе при $c_v = const$ равно

$$q = \int_1^2 c_v dT = c_v (T_2 - T_1).$$

Удельную изохорную теплоемкость можно определить по формуле

$$c_v = \frac{iR}{2}.$$

Удельную изобарную теплоемкость можно определить из выражения

$$c_p = c_v + R.$$

Так как $l = 0$, то в соответствии с первым законом термодинамики

$$\Delta u = c_v (T_2 - T_1) \text{ при } c_v = const.$$

Изменение энтропии определяется по формуле

$$s_2 - s_1 = c_v \ln(p_2/p_1) = c_v \ln(T_2/T_1).$$

При изобарном процессе объем газа пропорционален его абсолютной температуре:

$$v_2/v_1 = T_2/T_1.$$

Так как $pv_1 = RT_1$ и $pv_2 = RT_2$, то

$$l = R(T_2 - T_1).$$

Количество теплоты, сообщаемое газу при нагревании (или отдаваемое им при охлаждении), при $c_p = const$

$$q = c_p (t_2 - t_1).$$

Изменение энтропии при $c_p = const$ равно

$$s_2 - s_1 = c_p \ln(T_2/T_1).$$

При изотермическом процессе давление и объем обратно пропорциональны друг другу:

$$p_2/p_1 = v_1/v_2.$$

Работа процесса:

$$l = \int_1^2 p dv = \int_1^2 RT dv / v = RT \ln(v_2 / v_1) = RT \ln(p_1/p_2).$$

Внутренняя энергия идеального газа в данном процессе остается постоянной ($\Delta u = 0$) и вся подводимая к газу теплота полностью превращается в работу расширения ($q = l$). При изотермическом сжатии от газа отводится теплота в количестве, равном затраченной на сжатие работе.

Изменение энтропии в изотермическом процессе выражается формулой

$$s_2 - s_1 = R \ln(p_1/p_2) = R \ln(v_2/v_1).$$

При адиабатном процессе $dq=0$. Уравнения адиабаты идеального газа при постоянном отношении теплоемкостей ($k = c_p/c_v = \text{const}$) имеет вид:

$$(v_2/v_1)^k = p_1/p_2 \quad \text{или} \quad p_1 v_1^k = p_2 v_2^k.$$

Если выразить зависимость температуры от объема или давления, то получим

$$T_2/T_1 = (v_1/v_2)^{k-1}; \quad T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{(k-1)/k}.$$

Величина $k = c_p/c_v$ называется показателем адиабаты.

Работа расширения при адиабатном процессе, согласно первому закону термодинамики, совершается за счет уменьшения внутренней энергии и может быть вычислена по формуле

$$l = -\Delta u = c_v (T_1 - T_2) = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2).$$

Поскольку $dq=0$, то и теплоемкость ($c=dq/dT$) адиабатного процесса равна нулю. Энтропия рабочего тела не изменяется ($ds = 0$ и $s = \text{const}$).

Задача 1.

Вычислить удельную газовую постоянную, удельные изобарную и изохорную теплоемкости, показатель адиабаты метана.

Задача 2.

Найти изменения энтропии при следующих процессах:

- при изотермическом расширении 10 г метана от объема 25 л до объема 100 л;
- при изобарном нагревании 10 г метана от температуры 22°C до температуры 100°C.

Задача 3.

К воздуху, находящемуся в цилиндре с жестко закрепленным поршнем при температуре 22°C, подводится теплота таким образом, что его температура повышается до 272°C. Определить изменение удельной энтропии воздуха в цилиндре.

Задача 4.

Водород, массой 12 г при подводе 10,37 кДж теплоты изотермически расширился. Во сколько раз увеличился объем газа, если его температура была равна 27°C?

Задача 5.

При адиабатном расширении внутренняя энергия кислорода уменьшилась на 8,36 кДж, а объем увеличился в 10 раз. Определить массу газа, если его начальная температура равна 47°C.

Задача 6.

Водород в объеме 15 л, находившийся под давлением в 1 атм., адиабатно сжат до объема 3 л. Найти работу сжатия.

Задача 7.

Газ, занимавший объем 2 л под давлением 4 атм., был нагрет от 22°C до 100°C при постоянном давлении. Определить работу расширения газа.

Задача 8.

При адиабатном сжатии 2 г азота, имевшего температуру 27°C, объем газа уменьшился в 10 раз. Определить конечную температуру газа и работу сжатия.

Задача 9.

Сколько теплоты выделяется при изотермическом сжатии 10 л газа, который

находился под давлением в 1 атм., до объема в 1 л?

Задача 10.

Метан, массой 0,1 кг был изобарно нагрет так, что его объем увеличился в 3 раза, затем метан был изохорно охлажден так, что давление его уменьшилось в 3 раза. Определить изменение энтропии метана.

Практическое занятие № 7. Водяной пар. Определение параметров водяного пара

Теоретические основы.

Термодинамические параметры кипящей воды и сухого насыщенного пара берутся из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара. Состояние воды определяется двумя параметрами, поэтому таблицы составлены так, что по p и T легко найти v , i , s . Остальные параметры находятся по термодинамическим соотношениям. Состояние кипящей воды и сухого насыщенного пара определяется одним параметром, поэтому таблицы составлены так, что по значению p находятся величины v' , i' , s' , v'' , i'' , s'' , r .

Параметры, соответствующие состояниям жидкости на нижней пограничной кривой, обозначаются с одним штрихом, на верхней – с двумя штрихами.

Нижняя (левая) пограничная кривая является предельной для существования пара. Точки кривой определяют состояние кипящей воды. Влево от кривой до линии затвердевания лежит область не кипящей однофазной жидкости, вправо – область влажного пара.

Верхняя пограничная кривая дает зависимость удельного объема сухого насыщенного пара от давления.

Все точки горизонталей между нижней и верхней пограничными кривыми соответствуют состояниям влажного насыщенного пара.

Удельная теплота парообразования (r), представляет собой количество теплоты, необходимое для превращения одного килограмма воды в сухой насыщенный пар той же температуры.

Задача 1.

Вода находится под манометрическим давлением 15 атм., температура воды 200°C. Объясните, наступило ли парообразование?

Задача 2.

В цилиндре находится насыщенный пар; термометр показывает температуру пара 230°C. Определить показания манометра.

Задача 3.

Начальное состояние 3 кг водяного пара характеризуется давлением 1,2 МПа и удельным объемом 0,133 м³/кг. Пар нагревается при постоянном давлении до температуры 270°C. Определить конечный удельный объем водяного пара, подведенную теплоту, работу, совершенную паром, а также изменение внутренней энергии и энтропии в процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Конспект лекций по дисциплине «Теплотехника» (для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело») / сост. А.Л. Кавера. – Донецк : ДОННТУ, 2019. – 70 с.
2. Радченко, С. А. Теплотехника и энергетические машины [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 630 с. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://ed.donntu.ru/books/20/cd9631.pdf>
3. Базаров И. П. Термодинамика: Учебник. 5-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 384 с.
4. Термодинамика промышленной теплотехники: учебник-монография / В. В. Кравцов [и др.]; В.В. Кравцов, В.В. Карнаух, А.Б. Бирюков, Н.С. Масс; ДонНТУ, Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. - Донецк: [б.и.], 2011.
5. Кудинов И.В., Стефанюк Е.В. Теоретические основы теплотехники. Часть 1. Термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Кудинов, Е.В. Стефанюк. – Самара: СГАСУ, 2013. – 172 с. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. – ISBN 978-5-9585-0554-8 – Режим доступа: <http://ed.donntu.ru/books/20/cd9639.pdf>
6. Ерохин В.Г., Маханько М.Г. Основы термодинамики и теплотехники: учебник. Изд. 2-е. М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 224 с.
7. Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс] : Учеб. пособие для вузов / ВМ. Ляшков, 2-е изд., испр. и доп. – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2015. – 328 с. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. – ISBN 978-5-16-102649-6 – Режим доступа: <http://ed.donntu.ru/books/20/cd9635.pdf>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

к выполнению практических занятий по дисциплине
«Теплотехника»

Составитель:

Кавера Алексей Леонидович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой
«Охрана труда и аэрология» ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Кавера Алексей Леонидович – заведующий кафедрой охраны труда и аэрологии
ГОУВПО «ДОННТУ», кандидат технических наук, доцент.