**2.4. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к**

 **выполнению контрольной работы по дисциплине «Теплотехника»**

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие условия:

а) выписывать условие задачи и исходные данные;

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

в) вычисления проводить в единицах СИ, показывать ход решения. После решения задачи нужно дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы. Всегда, если это возможно, нужно осуществлять контроль своих действий и оценивать достоверность полученных числовых данных.;

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

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

е) исправления по замечанию рецензента должны быть записаны отдельно па чистых листах в той же тетради после заголовка «Исправления по замечаниям»;

ж) работа, в которой вышеназванные пункты не выполнены, не проверяется.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Номера задач | Номера вопросов | № варианта | Номера задач | Номера вопросов |
| 01 | 5, 11, 26, 39, 49 | 9, 19 | 51 | 10, 11, ,30, 38, 43 | 8, 13 |
| 02 | 4, 20, 24, 31, 50 | 1, 20 | 52 | 9, 20, 28, 33, 42 | 3, 12 |
| 03 | 3, 19, 22, 40, 48 | 10, 18 | 53 | 8, 19, 26, 31, 41 | 1, 11 |
| 04 | 2, 18, 30, 32, 47 | 12, 17 | 54 | 6, 17, 24, 40, 49 | 10, 19 |
| 05 | 1, 17, 28, 37, 46 | 7, 16 | 55 | 5, 16, 21, 34, 48 | 4, 18 |
| 06 | 10, 16, 25, 33, 44 | 3, 14 | 56 | 4, 15, 29, 39, 47 | 9, 17 |
| 07 | 9, 15, 23, 38, 45 | 8, 15 | 57 | 7, 18, 22, 36, 45 | 6, 15 |
| 08 | 8, 14, 21, 36, 50 | 6, 20 | 58 | 2, 16, 28, 40, 41 | 19, 11 |
| 09 | 7, 13, 27, 31, 49 | 1, 19 | 59 | 1, 15, 26, 35, 43 | 5, 13 |
| 10 | 6, 12, 29, 35, 48 | 5, 18 | 60 | 10, 14, 23, 31, 45 | 1, 15 |
| 11 | 6, 13, 30, 36, 47 | 6, 17 | 61 | 9, 13, 21, 36, 47 | 6, 17 |
| 12 | 5, 12, 27, 40, 46 | 10, 16 | 62 | 8, 12, 29, 34, 49 | 4, 19 |
| 13 | 4, 11, 25, 35, 45 | 5, 15 | 63 | 7, 11, 25, 39, 50 | 8, 20 |
| 14 | 3, 20, 23, 31, 44 | 1, 14 | 64 | 6, 20, 27, 33, 48 | 3, 18 |
| 15 | 2, 19, 21, 33, 43 |  3, 13 | 65 | 5, 19, 24, 37, 46 | 7, 16 |
| 16 | 1, 18, 29, 38, 42 | 8,12 | 66 | 4, 18, 22, 32, 44 | 2, 14 |
| 17 | 10, 17, 26, 34, 41 | 4, 11 | 67 | 4, 19, 23 33, 42 | 3, 12 |
| 18 | 9, 16, 24, 39, 50 | 9, 20 | 68 | 3, 18, 21, 39, 46 | 9, 16 |
| 19 | 8, 15, 22, 37, 48 | 7, 18 | 69 | 2, 17, 29, 31, 43 | 1, 13 |
| 20 | 7, 14, 28, 32, 46 | 2, 16 | 70 | 1, 16, 27, 36, 45 | 6, 15 |
| 21 | 7, 15, 29, 33, 44 | 3, 14 | 71 | 10, 15, 24, 32, 44 | 2, 14 |
| 22 | 6, 14, 21, 37, 42 | 7, 12 | 72 | 9, 14, 22, 37, 46 | 7, 16 |
| 23 | 5, 13, 28, 31, 43 | 1, 13 | 73 | 8, 13, 30, 35, 47 | 5, 17 |
| 24 | 4, 12, 26, 36, 45 | 6, 15 | 74 | 7, 12, 26, 40, 48 | 10, 18 |
| 25 | 3, 11, 24, 32, 47 | 2, 17 | 75 | 6, 11, 28, 34, 41 | 4, 11 |
| 26 | 2, 20, 22, 34, 49 | 4, 19 | 76 | 5, 20, 25, 38, 42 | 8, 12 |
| 27 | 1, 19, 30, 39, 50 | 9, 20 | 77 | 1, 20, 26, 39, 43 | 9, 13 |
| 28 | 10, 18, 27, 35, 41 | 5, 11 | 78 | 3, 14, 27, 35, 50 | 5, 20 |
| 29 | 9, 17, 26, 40, 43 | 10, 13 | 79 | 2, 13, 25, 37, 49 | 7, 19 |
| 30 | 8, 16, 23, 38, 45 | 8, 15 | 80 | 1, 12, 23, 35, 48 | 2, 18 |
| 31 | 88, 17, 24, 39, 47 | 9, 17 | 81 | 1, 13, 24, 33, 47 | 3, 17 |
| 32 | 7, 16, 30, 34, 49 | 4, 19 | 82 | 10, 12, 21, 39, 46 | 9, 16 |
| 33 | 6, 15, 22, 38, 50 |  8, 20 | 83 | 9, 11, 29, 34, 45 | 4, 15 |
| 34 | 5, 14, 29, 32, 48 | 2, 18 | 84 | 7, 19, 23, 37, 44 | 7, 14 |
| 35 | 4, 13, 27, 37,46 | 7, 16 | 85 | 6, 18, 25, 31, 43 | 1, 13 |
| 36 | 3, 12, 25, 33, 44 | 3, 14 | 86 | 5, 17, 22, 35, 42 | 5, 12 |
| 37 | 2, 11, 23, 35, 43 | 5, 13 | 87 | 4, 16, 30, 40, 41 | 10, 11 |
| 38 | 1, 20, 21, 40, 42 | 10, 12 | 88 | 3, 15, 28, 36, 43 | 6, 13 |
| 39 | 10, 19, 28, 36, 41 | 6, 11 | 89 | 2, 14, 26, 38, 45 | 8, 15 |
| 40 | 9, 18, 26, 31, 44 | 1, 14 | 90 | 2, 15, 27, 39, 47 | 9, 17 |
| 41 | 9, 19, 27, 32, 46 | 2, 16 | 91 | 1, 14, 25, 34, 49 | 4, 19 |
| 42 | 8, 18, 25, 40, 48 | 10, 18 | 92 | 10, 13, 22, 40, 50 | 10, 20 |
| 43 | 7, 17, 21, 35, 47 | 5, 17 | 93 | 9, 12, 30, 35, 48 | 5, 18 |
| 44 | 6, 16, 23, 39, 45 | 9, 15 | 94 | 8, 11, 28, 33, 46 | 3, 16 |
| 45 | 5, 15, 30, 33, 43 | 3, 13 | 95 | 7, 20, 24, 38, 44 | 8, 14 |
| 46 | 4, 14, 28, 38, 42 | 8, 12 | 96 | 6, 19, 26, 32, 42 | 2, 12 |
| 47 | 3, 13, 26, 34, 41 | 4, 11 | 97 | 5, 18, 23, 36, 43 | 6, 13 |
| 48 | 2, 12, 34, 36, 46 | 6, 16 | 98 | 4, 17, 21, 31, 44 | 1, 14 |
| 49 | 1, 11, 22, 40, 47 | 10, 17 | 99 | 3, 16, 29, 37, 46 | 7, 16 |
| 50 | 10, 20, 29, 37, 48 | 7, 18 | 100 | 3, 17, 30, 38, 48 | 8, 18 |

**Контрольная работа № 1**

Контрольная работа 1 включает в себя относящиеся к темам ……........ курса. В задачах 1…10 рассматривается обратимый адиабатный процесс для смеси идеальных газов. Решая эти задачи, необходимо внимательно отнестись к способу задания смеси (в массовых или объемных долях) и расчету показателя адиабаты смеси, состоящей из двух- и трехатомных идеальных газов.

В задачах 11…20 рассматривается сочетание двух простейших термодинамических процессов идеального газа. Необходимо учитывать при решении задач зависимость теплоемкости газа от температуры.

Задачи 21…30 посвящены процессам, протекающим в области влажных паров различных еществ: аммиака, диоксида углерода, хладона. При решении этих задач необходимо пользоваться таблицами свойств веществ на линии насыщения.

В задачах 31…40 рассматриваются процессы изменения состояния водяного пара. Свойства пара определять по *hS* – диаграмме. Пользоваться таблицами и расчетами следует лишь в тех случаях, когда величина не может быть найдена по диаграмме, а также для контроля правильности расчетов.

Задачи 41…50 посвящены применению дифференциальных соотношений термодинамики. Наиболее существенным при изучении раздела является усвоение техники использования этих соотношений. В некоторых задачах имеет место зависимости частного характера, которые получаются из соответствующих уравнений состояния при фиксированном значении одного из параметров. Это позволяет избежать громоздких вычислений и делает используемые для решения задач приемы более наглядными.

**ЗАДАЧИ.**

**1.** Смесь идеальных газов состоит из 8 кг СО2, 10 кг N2 и 2 кг О2. В начальном состоянии объем смеси V1 = 16 м3, а температура t1 = 57 0С. В результате адиабатного сжатия давление смеси возрастает до значения р2 = 0,6 МПа. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**2.** Смесь идеальных газов задана объемными долями: ; ; . Общая масса смеси М = 20 кг. В начальном состоянии объем смеси V1 = 15 м3, а температура t1 = 47 0С. В результате адиабатного сжатия давление смеси возрастает до значения р2 = 0,9 МПа. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**3.** Смесь идеальных газов состоит из 30 кг СО2, 24 кг N2 и 6 кг О2. В начальном состоянии объем смеси V1 = 1,7 м3, а температура t1 = 330 0С. В результате адиабатного расширения температура газа уменьшается до t2 = 10 0С.. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и давление смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**4.** Смесь идеальных газов задана объемными долями: ; ; . Общая масса смеси *т* = 20 кг. В начальном состоянии параметры смеси *р*1 = 0,1 *МПа* и *t*1 = 40 0*С*. В результате адиабатного сжатия объем смеси уменьшается до значения *V*2 = 7,0 *м*3. Определить объем смеси в начальном состоянии, температуру и давление смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость смеси не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах

**5.** Смесь идеальных газов состоит из 15 кг СО2, 12 кг N2 и 3 кг О2. В начальном состоянии объем смеси *V*1 = 20 м3, а давление *р*1 = 0,1 МПа. В результате адиабатного сжатия температура смеси возрастает до значения *t*2 = 327 0С. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**6.** Смесь идеальных газов состоит из 3,2 кг СО2, 4,0 кг N2 и 0,8 кг О2. В начальном состоянии параметры смеси р1 = 0,6 МПа и t1 = 370 0С. В результате адиабатного расширения давление смеси уменьшается до р2 = 0,1 МПа. Определить объем смеси в начальном и конечном состояниях, температуру и плотность смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**7.** Смесь идеальных газов задана объемными долями: ; ; . Общая масса смеси *т* = 10 кг. В начальном состоянии объем смеси V1 = 3,5 м3, а давление р1 = 0,3 МПа. В результате адиабатного расширения объем смеси увеличился до значения V2 = 7 м3. Определить температуру смеси в начальном состоянии, давление и температуру смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Принять, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**8.** Смесь идеальных газов задана объемными долями: ;; . Общая масса смеси *т* = 10 кг. В начальном состоянии объем смеси V1 = 4 м3, а температура t1 = 387 0С. В результате адиабатного расширения давление смеси уменьшается до значения р2 = 0,1 МПа. Определить давление смеси в начальном состоянии, объем и температуру смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**9.** Смесь идеальных газов состоит из 20 кг , 16 кг  и 4 кг . В начальном состоянии параметры смеси= 0,1 МПа, а температура = 60 0С. В результате адиабатного сжатия давление газа возрастает до = 0,5 МПа. Определить объем смеси в начальном и конечном состоянии, температуру и плотность смеси в конечном состоянии, работу сжатия и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость газов не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в  - и – диаграммах.

**10.** Смесь идеальных газов задана объемными долями: ; ; . Общая масса смеси *т* = 10 кг. В начальном состоянии параметры смеси *р*1 = 0,9 *МПа* и *t*1 = 330 0*С*. В результате адиабатного расширения объем смеси увеличился до значения *V*2 = 7,5 *м*3. Определить объем смеси в начальном состоянии, температуру и давление смеси в конечном состоянии, работу расширения и изменение внутренней энергии смеси. Считать, что теплоемкость смеси не зависит от температуры. Определить парциальные давления газов, входящих в смесь, в конечном состоянии. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**11.** Воздух из начального состояния *1* ( и ) изохорно охлаждается до температуры , а затем изотермически сжимается до состояния *3*, в котором . Показать процессы 1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**12.** Кислород из начального состояния *1* изотермически сжимается до состояния *2*, а затем в изохорном процессе охлаждается до состояния *3*, в котором . В точке *2* параметры кислорода  и , в точке *3* температура . Показать процесс 1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные значение работы, теплоты, изменения внутренней энергии и энтропии кислорода в процессах 1-2, 2-3 и 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**13.** Воздух из начального состояния *1* изотермически сжимается до состояния *2*, а затем в изобарном процессе расширяется до состояния *3*, в котором . Параметры воздуха в точке *2*  и . Температура воздуха в состоянии *3* . Показать процесс 1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  кислорода в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости кислорода от температуры.

**14.** Кислород из состояния 1 изотермически расширяется до состояния *2*, в котором  и , а затем сжимается в изобарном процессе до объема . Температура кислорода в состоянии 3 . Показать процесс 1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  кислорода в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости кислорода от температуры.

**15.** Воздух из начального состояния *1* ( и ) в изобарном процессе нагревается до температуры , а затем изотермически сжимается до состояния *3*, в котором . Показать процессы 1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**16.** Воздух из начального состояния *1* ( и ) в изохорном процессе нагревается до температуры , а затем изотермически расширяется до состояния *3*, в котором . Показать процессы 1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и v в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**17.** Азот из состояния 1 ( и ) в изобарном процессе расширяется до состояния 2, в котором , а затем изотермически переводится в состояние 3, в котором . Показать процессы 1-2 и 2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**18.** Кислород из состояния 1 изотермически расширяется до состояния *2*, в котором  и , а затем в изохорном процессе нагрева переходит в состояние *3*, в котором  и . Показать процесс1-2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  кислорода в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изохорный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости кислорода от температуры.

**19.** Азот из состояния 1 ( и ) в изохорном процессе охлаждается до температуры , а затем изотермически сжимается до состоянии 3, в котором . Показать процессы 1-2 и 2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**20.** Воздух из состояния 1 ( и ) в изобарном процессе охлаждается до температуры , а затем изотермически расширяется до состоянии 3, в котором . Показать процессы 1-2 и 2-3 в - и -диаграммах. Определить значения , , и  в точках 1, 2, 3. Вычислить удельные работу, теплоту, изменение внутренней энергии и энтропии в процессах 1-2, 2-3, 1-2-3 в целом. Изобарный процесс рассчитать с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

**21.** Влажный пар аммиака из состояния 1 (,) в изохорном процессе переходит в состояние 2, где его температура . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2 показать в *pV*-, - и -диаграммах.

**22.** Влажный пар диоксида углерода из состояния 1 (,) в изохорном процессе переходит в состояние 2, где его температура . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2-3 показать в *pV* -, - и -диаграммах

**23.** Влажный пар хладагента R12 из состояния 1 (,) адиабатно расширяется до состояние 2, где его температура . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2-3 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**24.** Сухой пар аммиака с начальной температурой  в результате охлаждения при постоянном объеме переходит в двухфазное состояние 2, в котором . Затем в изобарном процессе аммиак нагревается до состояния 3, в котором степень сухости аммиака . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2-3 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**25.** Влажный пар диоксида углерода из состояния 1 (,) адиабатно расширяется до состояния 2, в котором . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2. Процесс 1-2 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**26.** Влажный пар аммиака из состояния 1 (,) адиабатно расширяется до состояние 2, в котором . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**27.** Влажный пар хладагента R12 из состояния 1 (,) в изохорном процессе переходит в состояние 2, в котором . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту q процесса. Процесс 1-2 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**28.** Сухой пар диоксида углерода с начальной температурой  адиабатно расширяется до состояния 2, в котором . Затем в изобарном процессе отвода теплоты диоксид углерода переходит в состояние 3, в котором степень сухости . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2-3 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**29.** Сухой пар хладагента R12 с начальной температурой  адиабатно расширяется до состояние 2, в котором . Затем в изобарном процессе отвода теплоты хладагент переходит в состояние 3, в котором степень сухости . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2-3 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**30.** Влажный пар хладагента R12 из состояния 1 ( и ) в изохорном процессе подвода теплоты нагревается до температуры , а затем в изобарном процессе переходит в состояние 3, в котором степень сухости . Определить значения *p*, *t*, *v*, *s*, *u*, *х* в состояниях 1 и 2 и удельную теплоту *q* процесса. Процесс 1-2-3 показать в *pV* -, - и -диаграммах.

**31.** Начальное состояние водяного пара задано параметрами  и . Из этого состояния пар охлаждается при постоянном давлении до состояния сухого пара , а затем адиабатно расширяется до удельного объема . Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и3 удельные количества теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в - и -диаграммах.

**32.** Начальное состояние водяного пара задано параметрами  и . Из этого состояния пар адиабатно сжимается до состояния сухого пара  и далее при постоянном давлении нагревается до температуры . Определить параметры пара в точках 1, 2, 3, удельные количества теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Показать процесс 1-2-3 в - и -диаграммах.

**33.** Водяной пар в начальном состоянии имеет параметры  и . Из этого состояния при постоянном объеме пар нагревается до температуры  и далее при неизменной температуре расширяется до удельного объема . Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и 3, удельные количества теплоты и работу расширения пара в процессе 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в - и -диаграммах.

**34.** Начальное состояние водяного пара задано параметрами и . Из этого состояния пар адиабатно расширяется до состояния сухого пара (), а затем при постоянном давлении охлаждается до степени сухости . Определить параметры пара в состояниях *1*, *2*, *3*, удельные количество теплоты и работу расширения процесса. 1-2-3. Показать процессы в - и -диаграммах.

**35.** Водяной пар из начального состояния и  при постоянном объеме охлаждается до температуры , а затем адиабатно переводится в состояние *3*, где его степень сухости . Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и 3, удельные количества теплоты и работу расширения пара в процессе 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в - и -диаграммах.

**36.** Водяной пар в начальном состоянии имеет параметры  и . Из этого состояния пар адиабатно сжимается до давления  и затем при постоянном давлении охлаждается до температуры . Определить параметры пара в состояниях 1, 2 и3 удельные количества теплоты и работу расширения процесса 1-2-3. Процесс 1-2-3 показать в - и -диаграммах.

**37.** Начальное состояние водяного пара задано параметрами  и . Из этого состояния при постоянном давлении пар переходит в двухфазное состояние с . Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях, удельную работу сжатия. Показать процесс в - и -диаграммах.

**38.** Сухой насыщенный водяной пар с начальной температурой  адиабатно сжимается так, что объем пара уменьшается в 10 раз. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях, удельную работу сжатия и изменение энтальпии пара в процессе. Показать процесс в - и -диаграммах.

**39.** Водяной пар с начальными параметрами и  сжимается при постоянной температуре и переходит в двухфазное состояние со степенью сухости . Определить начальные и конечные параметры пара, удельные количество теплоты и работу сжатия процесса. Показать процессы в*-* и -диаграммах.

**40.** Начальное состояние водяного пара задано параметрами и . Из этого состояния пар охлаждается при постоянном давлении до состояния сухого пара , а затем адиабатно расширяется до удельного объема . Определить параметры пара в состоянии *1*, *2*, *3*, удельные количество теплоты и работу расширения процесса. 1-2-3. Показать процессы в - и -диаграммах.

**41.** Определить приращение изохорной теплоемкости вещества при изотермическом изменении его удельного объема от ** до **(), если свойства этого вещества при ** задаются уравнением , где *а* и *b* – постоянные величины **.

**42.** Вещество подчиняется уравнению состояния Ван-дер-Ваальса , где *а* и *b* – постоянные величины (). Найти изменение внутренней энергии при изотермическом изменении удельного объема от ** до *.*

**43.** Определить приращение энтальпии вещества при изотермическом изменении давления от  до , если вещество подчиняется уравнению , где **.

**44.** Вещество подчиняется уравнению состояния , где  - постоянная величина. Найти значение энтропии этого вещества при  и . Приняв за начало отсчета значение энтропии в точке  и , а молекулярная масса .

**45.** Определить приращение изобарной теплоемкости вещества при изотермическом изменении давления от  до  (), если свойства этого вещества при  задаются уравнением , где а и и – постоянные величины .

**46.** Используя соотношение для дифференциального дроссель-эффекта в форме , определить изменение температуры при дросселировании вещества, подчиняющегося уравнению состояния , если , , а давление уменьшается  до .

**47.** Вещество подчиняется уравнению состояния , . Найти изменение энтропии в изотермическом процессе, если удельный объем уменьшается от  до , а молекулярная масса .

**48.** Вещество подчиняется уравнению состояния , . Найти количество теплоты, которое подводится к 1 кг этого вещества при изотермическом расширении  от **; **, а молекулярная масса .

**49.** Определить изобарную теплоемкость вещества, подчиняющегося уравнению состояния ,  - постоянная величина, если изохорная теплоемкость при той же температуре , а молекулярная масса .

**50.** Используя выражение для полного дифференциала давления в форме  получить уравнение, связывающее коэффициенты термической расширяемости , термической упругости  и изотермической сжимаемости . Вычислить величину  при давлении , если при этих условиях .

 **ВОПРОСЫ.**

**1.** При изучении свойств вещества в двух его состояниях были замерены параметры ,  и  и ,  и  . Какие выводы можно сделать по результатам измерений?

**2.** Может ли газовая постоянная смеси идеальных газов СО и СО2, быть равна ? Дайте обоснование ответу.

**3.**Можно ли найти такой состав идеальных газов СО, N2 О2, при котором газовая постоянная смеси была бы равна ? Дайте обоснование ответу.

**4.** Найдите энтальпию вещества массой 10 кг, если его внутренняя энергия равна 3400 кДж при давлении 0,2 МПа и удельном объеме .

***5.*** Для некоторого газа зависимость истинной теплоемкости  от температуры определяется формулой . Найдите значение средней изобарной теплоемкости этого вещества в интервале температур от  до .

***6.*** Чему равна мольная теплоемкость двухатомного газа в политропном процессе, в котором на каждые 4 *кДж* подведенного количества теплоты газ совершает работу, равную 2 *кДж*?

**7.** При расчете политропного процесса расширения идеального двухатомного газа с показателем политропы *п* = 1,2 получено, что к газу подведено  количество теплоты и температура газа увеличилась на 30 0С. Можно ли признать правильными результаты расчета? Дайте обоснование ответу.

**8.**В процессе расширения идеальный газ совершает работу , а его внутренняя энергия уменьшается на . Как изменяется энтропия газа в этом процессе? Изобразите процесс в координатах *pV* и *ТS*.

**9.** В политропном процессе сжатия над идеальным газом совершается работа, а его внутренняя энергия уменьшается. Как изменяется энтропия газа в этом процессе? Изобразите процесс в координатах *pv* и *TS.*

**10.** В политропном процессе идеальный газ совершает работу , а его внутренняя энергия уменьшается на  . Как изменяется энтропия газа в этом процессе? Можно ли, не зная, какой это газ, вычислить показатель политропы.

**11.**Покажите, что в координатах *TS* изохоры идут круче, чем изобары.

**12.**В чем состоит сходство и в чем различие понятий «теплота» и «работа»?

**13.** Покажите, что изохорная и изобарная теплоемкости вещества с любыми свойствами не могут быть отрицательными величинами*.*

**14.**Почему нельзя определить состояние вещества в двухфазной области, задав значения давления и температуры? Величину какого типа следует здесь использовать вместо одного из этих параметров? Приведите конкретный пример.

**15.**Необходимо экспериментально определить зависимость приращения энтропии от объема в изотермическом процессе. Каким образом это можно осуществить, если непосредственное измерение энтропии (или ее приращение) невозможно.

**16.**Приведите уравнение связи между изобарной и изохорной теплоемкостями для вещества с любыми свойствами. Могут ли эти теплоемкости в каком-то состоянии иметь равные значения?

**17.**Покажите, что нижняя пограничная кривая идет в координатах *TS* слева направо вверх. Как объяснить, почему эта точка имеет точку перегиба?

**18.** Покажите, что в изобарном процессе теплота равна изменению энтальпии, а в изохорном - меньше изменения энтальпии.

**19**. Используя уравнение Ван-дер-Ваальса , выразите критическая температуру, давление и удельный объем через константы этого уравнения.

**20.**Покажите, что в фазовой hS-диаграмме критическая точка не может совпадать с точкой пограничной кривой, в которой энтальпия имеет максимальное значение. На какой ветви пограничной кривой, левой или правой, находится критическая точка?

**Контрольная работа №2.**

**1.** В идеальную сушильную камеру подается  влажного воздуха при параметрах  и . Относительная влажность воздуха на выходе из камеры . Определить массовый и объемный расход влажного воздуха на выходе из камеры. Принять давление в камере . Задачу решить с использованием *hd* -диаграммы и привести схему решения.

**2.** Определить массовый и объемный расход влажного воздуха на входе в идеальную сушильную камеру, если известно, что в камере испаряется  кг воды в секунду, параметры влажного воздуха на выходе из камеры  и , а изменение влагосодержания воздуха в камере . Принять давление в камере . Задачу решить с использованием *hd* - диаграммы и привести схему решения.

**3.** В сушильную установку подается  влажного воздуха с параметрами ,  и . Определить объемный расход влажного воздуха на входе в установку и количество воды, испаряющейся из высушиваемого материала в секунду, если изменение влагосодержания воздуха в установке  на 1 кг сухого воздуха.

**4.** Влажный воздух поступает в идеальную сушильную камеру при параметрах  и  и выходит из камеры при относительной влажности . Приняв давление в камере , определить плотность влажного воздуха на выходе из камеры и количество сухого воздуха, необходимого для испарения 1000 кг воды из высушиваемого материала. При расчете использовать *hd* - диаграмму и привести схему решения.

**5.** Влажный воздух на входе в идеальную сушильную установку имеет относительную влажность  и температуру . В калорифере он подогревается до . Затем в сушильной камере во влажный воздух испаряется вода в количестве 20 г на 1 кг сухого воздуха. Приняв давление в сушильной камере , определить температуру и плотность влажного воздуха на выходе из сушильной камеры и расход теплоты на испарения 1 кг. Задачу решить с использованием *hd* - диаграммы и привести схему решения.

**6.** Влажный воздух на входе в сушильную установку имеет параметры ** и . Объемный расход влажного воздуха на входе **. Определить количество воды, испаряемой этим воздухом в секунду из высушиваемого материала, если изменение влагосодержания в камере ** на 1 кг сухого воздуха. Задачу решить с использованием *hd* - диаграммы. Принять давление **.

**7.** Определить необходимый объемный расход влажного воздуха на входе в сушильную установку для испарения из материала 10 кг воды в секунду, если параметры влажного воздуха на входе в установку ** и , а изменение влагосодержания воздуха в сушильной камере составляет . Принять давление .

**8.** Расход сухого воздуха через идеальную сушильную установку составляет . Определить объемный расход влажного воздуха на входе в установку , на входе в сушильную камеру и на выходе из нее, если **, ,  и **. Принять давление . Задачу решить с использованием *hd* - диаграммы.

**9.** Влажный воздух поступает в сушильную установку с параметрами  и **, а выходит из нее с параметрами  и **. Определить массовый и объемный расход воздуха на выходе из установки, если из высушиваемого материала испаряется 2,8 кг воды в секунду. Принять давление . Задачу решить с использованием *hd* - диаграммы.

**10.** Влажный воздух массой 5 кг с параметрами ** и , адиабатно смешивается с 10 кг влажного воздуха, параметры которого ** и . Определить влагосодержание, относительную влажность, температуру и плотность образовавшегося при смешении влажного воздуха. Принять давление воздуха до и после смешения .

**11.** К соплу парциальной газовой турбины подводятся продукты сгорания топлива с начальными параметрами  и . В сопле давление понижается до . Считая продукты сгорания идеальным газом с  и , определить:

1. какой тип сопла применен в турбине;
2. параметры и скорость газа в выходном сечении сопла;
3. расход газа, если минимальный диаметр сопла .

Потерями напора пренебречь.

**12.** Воздух с начальными параметрами  и  вытекает через сопло во внешнюю среду, давление в которой постоянно и равно . Считая воздух идеальным газом с , определить: 1) параметры и скорость в выходном сечении сужающегося сопла при скоростном коэффициенте ; 2) параметры и скорость в выходном сечении сопла Лаваля при расчетном режиме (); 3) площадь минимального сечения сопла Лаваля при расходе .

**13.** Водород с начальными параметрами  и  вытекает через сопло во внешнюю среду, давление в которой постоянно и равно . Считая водород идеальным газом с , определить:

1. параметры и скорость в выходном сечении идеального суживающегося сопла;
2. параметры и скорость в выходном сечении сопла Лаваля при расчетном режиме ();
3. площадь минимального сечения сопла Лаваля при расходе .

**14.** Азот с начальными параметрами  и  вытекает через сужающееся сопло в среду, давление в котором постоянно и равно . Считая азот идеальным газом с , определить значения , , ,  и массовый расход азота, если площадь выходного сечения , а скоростной эффект . Изменяются ли параметры азота в выходном сечении, если давление среды увеличится до .

**15.** Кислород с начальными параметрами  и  вытекает через сопло в среду, давление в которой постоянно и равно 0,42 МПа. Считая кислород идеальным газом с , определить 1) параметры и скорость в выходном сечении сужающегося сопла при скоростном коэффициенте ; 2) параметры и скорость в выходном сечении сопла Лаваля при расчетном режиме (); 3) расход кислорода при минимальной площади канала .

**16.** Воздух с начальными параметрами  и  вытекает через сужающееся сопло в среду, давление в котором постоянно и равно . Считая воздух идеальным газом с . Определить давление, скорость, температуру, плотность в выходном сечении, массовый расход, если площадь выходного сечения , а скоростной эффект . Изменяются ли определенные в задаче величины, если давление среды увеличится до .

**17.** Гелий с начальными параметрами  и  вытекает через сопло, минимальный диаметр которого , во внешнюю среду, где давление постоянно и равно . Считая гелий идеальным газом с , определить 1) параметры и скорость в выходном сечении, если сопло сужающееся и ; 2) параметры и скорость в выходном сечении сопла Лаваля при расчетном режиме (); 3) расход гелия для первого и второго сопел, приняв для сужающейся части Лаваля .

**18.** Диоксид углерода с начальными параметрами  и  вытекает через суживающееся сопло в среду, давление в которой постоянно и равно . Считая диоксид углерода идеальным газом с . Определить площадь выходного сечения сопла, а также параметры и скорость газа в этом сечении, если массовый расход газа равен , а скоростной эффект . Изменяются ли расход газа, если давление среды понизится до .

**19.** Воздух с начальными параметрами  и  вытекает через сужающееся сопло во внешнюю среду, давление в котором постоянно и равно . Считая воздух идеальным газом с . Определить давление, скорость, температуру, плотность в выходном сечении, если скоростной коэффициент массовый расход, . Определить также площадь выходного сечения, необходимую для обеспечения расхода воздуха, равного . Изменится ли расход воздуха, если давление среды снизить до .

**20.** Воздух с начальными параметрами  и  вытекает через сопло Лаваля во внешнюю среду. Давление воздуха в выходном сечении сопла , расход воздуха 60 кг/с. Считая воздух идеальным газом с . Определить параметры и скорость воздуха в критическом и выходном сечении сопла. Теплообменом и потерями на трение в сопле пренебречь. Определить длину расширяющееся части сопла Лаваля, считая, что оно имеет коническую форму с углом раствора сопла .

**21.** Водяной пар с начальными параметрами  и  вытекает через сужающееся сопло в среду, давление в которой постоянно и равно *0,1 МПа*. Объемный расход пара во входном сечении . Приняв для пара , определить параметры и скорость пара в выходном сечении сопла, а также площадь выходного сечения, если скоростной коэффициент . Какую скорость и температуру имел бы пар в выходном сечении сопла Лаваля при расчетном режиме работы и .

**22.** Определить скорость и степень сухости водяного пара в выходном сечении, а также отношение расходов пара для двух сужающихся сопл: 1) пар на входе в сопло имеет  и ; 2) пар от состояния с параметрами  и  дросселируется до давления , а затем вытекает через сопло.Для обоих случаев принять, что давление в среде, куда вытекает пар, равно , а . Изобразить рассчитываемые процессы в hS-диаграмме.

**23.** Определить скорость и степень сухости водяного пара в выходном сечении, а также отношение расходов пара для двух сопл Лаваля: 1) пар на входе в сопло имеет параметры  и , а в выходном сечении сопла давление пара ; 2) перед поступлением в сопло пар дросселируется от заданного выше давления ( и ) до давления , а затем в сопле расширяется до давления .

**24.** Водяной пар вытекает через суживающее сопло в среду, где давление постоянно и равно . Параметры пара на входе в сопло  и , скоростной коэффициент . Приняв , определить скорость истечения пара из сопла, его параметры в выходном сечении и массовый расход пара при площади выходного сечения . Какую скорость и температуру имел бы пар в выходном сечении при том же скоростном коэффициенте, если бы истечение происходило через сопло Лаваля, работающее в расчетном режиме.

**25.** Определить скорость и степень сухости водяного пара в выходном сечении, а также отношение расходов пара для двух суживающихся сопл: 1) пар на входе в сопло имеет параметры  и ; 2) пар от состояния с параметрами  и  дросселируется до давления , а затем вытекает через сопло.

Для обоих случаев принять, что давление в среде, куда вытекает пар, равно , а . Изобразить рассчитываемые процессы в *hS* - диаграмме.

**26.** Водяной пар течет по соплу Лаваля. Параметры пара во входном сечении сопла  и . Давление пара в выходном сечении сопла . Приняв для пара, определить параметры пара в критическом и выходном сечениях сопла. Определит также площадь этих сечений, если расход пара равен . Потерями на трение в сужающейся части сопла пренебречь, а для расширяющейся части принять скоростной коэффициент .

**27.** Определить скорость и степень сухости водяного пара в выходном сечении, а также отношение расходов пара для двух сопл Лаваля: 1) пар на входе в сопло имеет параметры  и , а выходном сечении сопла давление пара ; 2) перед поступлением в сопло пар от указанного выше состояния ( и ) дросселируется до давления , а затем в сопле расширяется до давления .

**28.** Водяной пар течет по соплу Лаваля. Параметры пара во входном сечении сопла  и . Объемный расход пара на входе в сопло . Давление пара в выходном сечении сопла . Приняв для пара , определить его параметры и скорости в выходном и критическом сечениях, площади выходного и критического сечений. Потерями на трение в сужающейся части сопла пренебречь, а для расширяющейся части принять скоростной коэффициент .

**29.** Водяной пар вытекает через суживающее сопло во внешнюю среду, давление в которой постоянно и равно . Параметры пара на входе в сопло  и . Пренебрегая трением и теплообменом в сопле и приняв для пара , определить параметры пара в выходном сечении, скорость истечения, массовый расход пара и площадь выходного сечения, если объемный расход пара в выходном сечении . Какую скорость имел бы пар в выходном сечении сопла Лаваля на расчетном режиме при скоростном коэффициенте ?

**30.** Водяной пар течет по соплу Лаваля. Параметры пара во входном сечении сопла  и  и объемный расход . Давление пара в выходном сечении сопла . Приняв для пара , определить его параметры и скорости в выходном и критическом сечениях, площади выходного и критического сечений. Потерями на трение в сужающейся части сопла пренебречь, а для расширяющейся части принять скоростной коэффициент .

**31.** Определить предельную степень повышения давления и теоретическую мощность, затрачиваемую на привод одноступенчатого компрессора при адиабатном сжатии воздуха, если во избежание горения смазки температура воздуха на выходе не должна превышать 2000 С. Массовый расход азота , а его начальная температура . Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**32.** Определить предельную степень повышения давления и теоретическую мощность, затрачиваемую на привод одноступенчатого компрессора при политропном () сжатии азота, а также расход охлаждающей воды, если во избежание горения смазки температура азота на выходе не должна превышать . Массовый расход азота , а его начальная температура , охлаждающая вода нагревается в рубашке цилиндра на . Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**33.** Воздух адиабатно сжимается в одноступенчатом компрессоре от давления  до . Во сколько раз уменьшится теоретическая мощность, затрачиваемая на привод компрессора, если адиабатное сжатие заменить изотермическим. Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**34.** Фактическая мощность, затрачиваемая на привод одноступенчатого компрессора составляет . Определить адиабатный кпд этого компрессора, если в нем адиабатно сжимается  воздуха от давления  и  до . Изобразить процесс в *рV-* и *ТS* – диаграммах.

**35**. Фактическая мощность, затрачиваемая на привод одноступенчатого охлаждаемого компрессора, составляет . Определить изотермический кпд этого компрессора, если в нем изотермически сжимается  азота от давления  и  до . Изобразить процесс в *рV*- и *ТS* – диаграммах.

**36.** Воздух массовый расход которого равен  адиабатно сжимается в поршневом компрессоре от давления  и  до . Определить необходимое число ступеней сжатия, а также теоретическую мощность, затрачиваемую на привод компрессора, если во избежание горения смазки температура воздуха на выходе из каждой ступени не должна превышать . Изобразить процесс в *рV*- и *ТS* – диаграммах.

**37.** Азот сжимается в одноступенчатом компрессоре по политропе с показателем политропы  от давления  и  до . Во сколько раз уменьшится теоретическая мощность, затрачиваемая на привод компрессора, если одноступенчатое сжатие заменить двухступенчатым при неизменном показателе политропы. Определить также максимальные температуры азота в обоих случаях и изобразить процесс в *рV*- и *ТS* – диаграммах.

**38.** Определить расход охлаждающей воды, а также массовую и объемную (при начальных условиях) подачи одноступенчатого компрессора, в котором по политропе с показателем сжимается гелий от давления  и  до . Теоретическое значение мощности, затрачиваемой на привод компрессора, , а вода нагревается в рубашке цилиндра на . Изобразить процесс в *рV*- и *ТS* – диаграммах.

**39.** Определить массовую и объемную (при начальных условиях) подачу двухступенчатого компрессора, в котором адиабатно сжимается воздух от давления  и  до . Теоретическое значение мощности, затрачиваемой на привод компрессора, . Определить также количество теплоты, которое отводится от воздуха в промежуточном холодильнике. Изобразить процесс в *рV*- и *ТS* – диаграммах.

**40.** Определить массовую и объемную (при начальных условиях) подачу трехступенчатого компрессора, в котором адиабатно сжимается воздух от давления  и  до . Теоретическое значение мощности, затрачиваемой на привод компрессора, . Определить также количество теплоты, которое отводится от воздуха в промежуточном холодильнике. Изобразить процесс в *рV*- и *ТS* – диаграммах.

**41.** Рассчитать цикл ДВС с изохорным подводом теплоты (цикл Отто), если начальные параметры рабочего тела ; , степень сжатия , а отведенное количество теплоты . Определить параметры в характерных точках, подведенное количество теплоты, работу и термический кпд цикла, а также термический кпд ц. Карно в том же интервале температур. Изобразить циклы в *рV*- и *ТS* – диаграммах. Рабочее тело воздух.

**42.** Рассчитать цикл ДВС с изобарным подводом теплоты (цикл Дизеля), если начальные параметры рабочего тела ; , степень сжатия , а отведенное количество теплоты . Определить параметры в характерных точках, подведенное количество теплоты, работу и термический кпд цикла, а также термический кпд ц. Карно в том же интервале температур. Изобразить циклы в *рV*- и *ТS* – диаграммах. Рабочее тело воздух.

**43.** Рассчитать цикл ДВС со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера), если начальные параметры рабочего тела , , степень сжатия , степень повышения давления , а отведенное количество теплоты . Определить параметры в характерных точках цикла, подведенное количество теплоты, работы и термический КПД цикла, а также термический КПД цикла Карно в том же интервале температур. Изобразить циклы в *рV*- и *ТS* – диаграммах. Рабочее тело воздух.

**44.** Определить параметры в характерных точках циклов ДВС с изохорным (цикл Отто) и изобарным (цикл Дизеля) подводом теплоты и сопоставить значения термических кпд, если начальные параметры, максимальные температуры и отведенные количества теплоты одинаковы и равны ; , , . Изобразить циклы в *рV*- и *ТS* – диаграммах. Рабочее тело воздух.

**45.** Определить параметры в характерных точках циклов ДВС с изобарным (цикл Дизеля) и смешанным (цикл Тринклера) подводом теплоты и сопоставить значения их термический КПД, если начальные параметры, максимальные температуры и отведенные количества теплоты одинаковы и равны: ; ; ; . Степень повышения давления в цикле со смешанным подводом теплоты . Изобразить циклы в *рV*- и *ТS* – диаграммах. Рабочее тело воздух.

**46.** Определить параметры в характерных точках циклов ДВС с изохорным (цикл Отто) и изобарным (цикл Дизеля) подводом теплоты и сопоставить значения термических коэффициентов, если начальные параметры, степени сжатия и отведенные количества теплоты одинаковы и равны: , , , . Изобразить цикл в координатах *рV*- и *ТS* . Рабочее тело – воздух.

**47.** Рассчитать цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты и адиабатным сжатием в компрессоре, если начальные параметры рабочего тела , , степень повышения давления при сжатии , а температура рабочего тела на выходе из турбины . Определить параметры в характерных точках цикла, подведенное и отведенное количество теплоты, полезную работу и термический кпд, а также термический кпд цикла Карно в том же интервале температур. Изобразить цикл в координатах *рV*- и *ТS* . Рабочее тело – воздух.

**48.** Рассчитать цикл ГТУ с изохорным подводом теплоты, если начальные параметры рабочего тела , , степень повышения давления при сжатии , а температура рабочего тела на входе в турбину . Определить параметры в характерных точках цикла, подведенное и отведенное количество теплоты, полезную работу и термический кпд, а также термический кпд цикла Карно в том же интервале температур. Изобразить цикл в координатах *рV*- и *ТS* . Рабочее тело – воздух.

**49.** Рассчитать цикл ГТУ с адиабатным сжатием в компрессоре, изобарным подводом теплоты и предельной регенерацией, если начальные параметры рабочего тела , , температура воздуха на выходе из компрессора , температура рабочего тела на выходе из турбины . Определить параметры в характерных точках цикла, подведенное и отведенное количество теплоты, полезную работу и термический кпд, а также термический кпд цикла Карно в том же интервале температур. Изобразить цикл в координатах *рV*- и *ТS* . Рабочее тело – воздух.

**50.** Рассчитать цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты и регенерацией (степень регенерации 0,8), если начальные параметры рабочего тела , , степень повышения давления при сжатии , а температура рабочего тела на выходе из турбины . Определить параметры в характерных точках цикла, подведенное и отведенное количество теплоты, полезную работу и термический кпд, а также термический кпд цикла Карно в том же интервале температур. Изобразить цикл в координатах *рV*- и *ТS* . Рабочее тело – воздух.

**ВОПРОСЫ.**

**1.** Выведите формулу для расчета объема влажного воздуха, приходящегося на 1 кг сухого воздуха.

**2.** Постройте на *hd* - диаграмме влажного воздуха линию, соответствующую значению газовой постоянной влажного воздуха .

**3.**Почему процесс испарения в идеальной сушильной камере изображается в *hd* -диаграмме линией *h* = *const*.

**4.** От каких факторов зависит расход газа при критическом течении в минимальном сечении сопла? Как влияет каждый из них на расход?

**5.**Воздух течет по каналу, имеющему форму сопла Лаваля, давление воздуха во входном сечении , давление в среде, куда вытекает воздух . Приведите графики изменения скорости и давления воздуха по длине канала.

**6.**В каком случае адиабатное обратимое расширение и дросселирование пара при заданном падении давления сопровождается одинаковым падением температуры?

**7.** Через данное сужающееся сопло при критическом режиме вытекает во внешнюю среду в первом случае воздух, во втором - водород. Сравните скорости истечения и расходы в этих двух случаях при одинаковых значениях параметров на входе  и .

**8.** Используя уравнение первого закона термодинамики для потока, покажите при каких допущениях техническая работа сжатия в компрессоре может быть определена по формуле.

**9.** Покажите, что в сужающемся сопле  нельзя превзойти скорость звука.

**10.** Воздух с давлением  и температурой вытекает через сужающееся сопло в среду с давлением  . Как изменится скорость истечения и массовый расход воздуха, если сужающееся сопло заменить комбинированным (сопло Лаваля)? Площади выходного сечения сужающегося сопла и мимнимального сечения сопла одинаковы.

**11.**В каком случае мощность, затрачиваемая на привод компрессора, будет иметь наибольшее а в каком наименьшее, если в нем адиабатно сжимается азот, гелий и диоксид углерода? Начальные и конечные температуры, а также массовые расходы газа со всех трех случаях одинаковы.

**12.**Объясните почему с увеличением числа ступеней сжатия в поршневом компрессоре его подача при прочих равных условиях увеличивается?

**13.** Используя выражение для дифференциального дроссель эффекта, покажите, что при дросселировании вещества с аномальными свойствами  и  температура повышается.

**14.**Получите расчетную формулу для определения оптимального распределения перепада давления по ступеням компрессора при многоступенчатом сжатии.

**15.**Построите график, иллюстрирующий влияние интенсивности охлаждения воздуха в рубашке одноступенчатого поршневого компрессора, в относительных координатах  и , где  и  ,  и  - работа, затрачиваемая на привод компрессора, и отведенное количество теплоты при политропном  и изотермическом сжатии соответственно.

**16.**Получите выражения для дифференциального дроссель-эффекта газа, подчиняющегося уравнению состояния  (b - постоянная величина). Существует ли для данного газа линия инверсии?

**17.**Построите график зависимости термического КПД цикла ДВС с изобарным подводом теплоты (цикл Дизеля) от степени сжатия в интервале значений рабочего тела  = 8…18 показатель адиабаты .

**18.** Сравните графическим способом термические КПД циклов с изохорным (цикл Отто) и изобарным (цикл Дизеля) от степени сжатия в интервале значений . Показатель адиабаты .

**19**. Построите грфик зависимости термического КПД цикла ДВС с изохорным подводом теплоты (цикл Отто) от показателя адиабаты рабочего тела k = 1.3; 1.31…1.4 при степени сжатия = 6.5.

**20.**Изобразите графически влияние степени регенерации теплоты (= 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0) на термический КПД ГТУ с изобарным подводом теплоты и адиабатным сжатием в компрессоре, если полезная работа цикла, подведенное количество теплоты в цикле без регенерации , а в цикле с регенерацией.

**3. Контроль знаний студентов.**

**3.1. Промежуточный контроль**

Текущая успеваемость студентов контролируется промежуточной аттестацией в виде тестирования. Тесты промежуточной аттестации включают пройденный материал на лекциях и темы, включенные в лабораторные занятия

**Тесты**

В каждый вариант теста включены вопросы по разделам:

*1. Техническая термодинамика: основные понятия и определения:*

* рабочее тело и основные параметры, описывающие его состояние; понятие о теплоемкости, ее виды;
* идеальные газы, уравнение состояния: реальные газы, уравнение состояния;
* основные термодинамические процессы идеального газа;
* двигатели внутреннего сгорания: цикл Отто, цикл Дизеля, цикл Тринклера, их характеристика, термический КПД, достоинства и недостатки;
* циклы ДВС в p-V,T-S диаграммах

*2. Теория теплообмена*:

* способы переноса теплоты и их характеристика;
* теплопроводность и закон Фурье, коэффициент теплопроводности; конвективный теплообмен и закон Ньютона-Рихмана, коэффициент теплоотдачи;
* теплообмен излучением, излучение твердых тел, коэффициент излучения;
* теория подобия: числа подобия;

Тест рассчитан на 50 минут.

**Вариант № 1**

***1. Какое давление измеряется с помощью манометра?***

1) барометрическое;

2) избыточное;

3) атмосферное;

4) абсолютное;

5) разряжение.

***2. Как называется термодинамический процесс, в котором вся подведенная теплота расходуется на увеличение внутренней энергии?***

1) изохорный;

2) изобарный;

3) изотермический;

4) адиабатный;

5) политропный.

***3. Из каких термодинамических процессов состоит цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто)?***

1) 2-х изохор и 2-х адиабат;

2) 2-х изохор и 2-х изотерм;

3) 2-х изобар и 2-х адиабат;

4) 2-х изобар и 2-х изотерм;

5) 2-х изохор и 2-х изобар.

***4. Как называется процесс переноса теплоты, происходящий между непосредственно соприкасающимися телами или частицами тел с различной температурой и возможный в твердых телах, жидкостях и газах?***

1) теплопроводность;

2) свободная конвекция;

3) излучение (радиация);

4) вынужденная конвекция;

5) сложный теплообмен.

***5. Каким уравнением описывается закон Фурье (основной закон теплопроводности)?***



***6. Как называется число подобия, характеризующее конвективный теплообмен на границе твердое тело - жидкость?***

1) Рейнольдса;

2) Эйлера;

3) Прандтля;

4) Грасгоффа;

5) Нуссельта.

***7. Для идеального цикла ДВС, работающего с подводом теплоты при p=const, определить степень сжатия и степень предварительного (изобарного) расширения, если известны параметры тела в характерных точках:***

* объем рабочего тела в начале адиабатного процесса сжатия 1 м3/кг;
* объем рабочего тела в конце процесса адиабатного сжатия 0,05 м3/кг;
* объем рабочего тела в конце изобарного процесса расширения 0,1 м3/кг.



**Вариант № 2**

***1. Уравнение, описывающее состояние идеального газа вида pV=mRT, называется:***

1) уравнением Клапейрона;

2) уравнением Гей - Люссака;

3) уравнением Бойля-Мариотта;

4) уравнением Клапейрона - Менделеева;

5) уравнением Клаузиуса.

***2. Как называется процесс, в котором вся подведенная теплота идет на совершение работы?***

1) изохорный;

2) изобарный;

3) изотермический;

4) адиабатный;

5) политропный.

***3. Из каких термодинамических процессов состоит цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля)?***

1) 2-х адиабат и 2-х изобар;

2) 2-х адиабат и 2-х изохор;

3) 2-х изотерм и 2-х изобар;

4} 2-х адиабат, 1-ой изобары и 1-ой изохоры;

5) 2-х изотерм, 1-ой изобары и 1-ой изохоры.

***4. Как называется процесс переноса теплоты, осуществляемый при перемещении неравномерно нагретой жидкости или газа, причем движение рабочего тела осуществляется с помощью насоса?***

1)теплопроводность;

2) свободная конвекция;

3) излучение (радиация);

4) вынужденная конвекция;

5) сложный теплообмен.

***5. Каким уравнением описывается закон Ньютона-Рихмана (положен в основу изучения конвективного теплообмена)?***



***6. Как называется число подобия, характеризующее соотношение между силами давления и силами инерции?***

1) Рейнольдса;

2) Эйлера;

3) Прандтля;

4) Грасгоффа;

5) Нуссельта.

***7. Для идеального цикла ДВС, работающего с подводом теплоты при V=const, определить степень сжатия и степень повышения давления, если известны параметры рабочего тела в характерных точках цикла:***

* объем в начале адиабатного процесса сжатия 0.92 м3/кг;
* объем в конце адиабатного процесса сжатия 0.23 м3/кг;
* давление в начале изохорного процесса подвода теплоты 0.74 МПа;
* давление в конце изохорного процесса подвода теплоты 2.96 МПа



**Вариант № 3**

***1. Теплоемкость, равная отношению количества теплоты, выделяющейся или поглощаемой в процессе к изменению температуры при условии, что разность температур – величина постоянная, называется:***

1) истинной;

2) молярной;

3) удельной;

4) средней;

5) объемной.

***2. Как называется процесс, в котором работа совершается лишь за счет уменьшения внутренней энергии?***

1) изохорный;

2) изобарный;

3) изотермический;

4) адиабатный;

5) политропный.

***3. Из каких термодинамических процессов состоит цикл ДВС со смешанным подводом теплоты как при постоянном объеме, так и при постоянном давлении (цикл Тринклера)?***

1) 2-х адиабат, 2-х изобар и 1-ой изохоры;

2) 2-х адиабат, 2-х изохор и 1-ой изобары;

3) 2-х изотерм, 2-х изобар и 1-ой изохоры;

4) 2-х изотерм, 2-х изохор и 1-ой изобары;

5) 2-х изохор, 1-ой адиабаты, 1-ой изотермы и 1-ой изобары.

***4. Как называется процесс переноса теплоты, который достигается за счет разности плотностей отдельных частей рабочего тела, вследствие нагревания?***

1) теплопроводность;

2) свободная конвекция;

3) излучение (радиация);

4) вынужденная конвекция;

5) сложный теплообмен.

***5. Каким уравнением описывается мощность лучистого потока, проходящего между параллельными пластинами?***





***6. Как называется число подобия, характеризующее режим движения жидкости?***

1) Рейнольдса;

2) Эйлера;

3) Прандтля;

4) Грасгоффа;

5) Нуссельта.

***7. Для идеального цикла ДВС работающего с подводом теплоты при р = const определить удельное количество отведенной теплоты, если известно:***

***удельное количество подведенной теплоты = 1162 кДж/кг;***

***термический КПД цикла  = 0,65.***

1) 385 кДж/кг;

2) 500кДж/кг;

3) 406,7 кДж/кг;

4) 710,6 кДж/кг;

5) 630,2 кДж/кг.

Вариант №4

1. ***Уравнение, наиболее точно описывающее состояние реального газа вида***

***, называется:***

1) уравнением Ван-дер-Ваальса;

2) уравнением Майера-Боголюбова;

3) уравнением Вукаловича-Новикова;

4) уравнением Клапейрона-Менделеева;

5) уравнением Вукаловича.

***2. Как называется процесс, в котором подведенная к рабочему телу теплота равна изменению энтальпии?***

1) изохорный;

2) изобарный;

3) изотермический;

4) адиабатный;

5) политропный.

***3. Цикл ДВС работающий с подводом теплоты при V = const, характеризуется:***

1) степенью сжатия  и степенью изобарного (предварительного) расширения ;

2) степенью сжатия  и степенью повышения давления ;

3) степенью изобарного (предварительного) расширения  и степенью повышения давления ;

4) степенью сжатия ;

5) степенью повышения давления .

***4. Как называется процесс переноса теплоты между двумя телами, разделенными полностью или частично пропускающей электромагнитные волны средой?***

1) теплопроводность;

2) свободная конвекция;

3) излучение (радиация);

4) вынужденная конвекция;

5)сложный теплообмен.

***5. Коэффициент , входящий в закон Фурье , называется:***

1) коэффициентом излучения абсолютно черного тела;

2) коэффициентом теплоотдачи;

3) коэффициентом теплопроводности;

4) приведенным коэффициентом излучения;

5) коэффициентом теплопередачи.

***6. Как называется число подобия, характеризующее физические свойства жидкости?***

1) Рейнольдса;

2) Эйлера;

3) Прандтля;

4) Грасгоффа;

5) Нуссельта

***7. Для идеального цикла ДВС, работающего с подводом теплоты при V=const, определить полезно использованное количество теплоты, если известно:***

* теплоемкость в процессе при *=const* ;
* температура в начале адиабатного процесса сжатия 320 К;
* температура в конце адиабатного процесса сжатия 592 К;
* температура в конце изобарного процесса расширения 2368К;
* температура в конце адиабатного процесса расширения 1340К.

1) 340кДж/кг;

2) 400кДж/кг;

3) 800кДж/кг;

4) 545 кДж/кг;

5) 630кДж/кг.

**Вариант** № **5**

***1. Какое из перечисленных ниже понятий не является параметром состояния рабочего тела?***

1) давление;

2) внутренняя энергия;

3) температура;

4) энтальпия;

5) теплота.

***2. Как называется процесс, в котором удельная теплоемкость является величиной постоянной?***

1) изохорный;

2) изобарный;

3) изотермический;

4) адиабатный;

5) политропный.

***3. Цикл ДВС, работающий с подводом теплоты при р = const, характеризуется:***

1) степенью сжатия  и степенью изобарного (предварительного) расширения ;

2) степенью сжатия  и степенью повышения давления ;

3) степенью изобарного (предварительного) расширения  и степенью повышения давления ;

4) степенью сжатия ;

5) степенью повышения давления .

***4. Как называется совокупность всех видов процессов переноса теплоты?***

1)теплопроводность;

2) свободная конвекция;

3) излучение (радиация);

4) вынужденная конвекция;

5) сложный теплообмен.

***5. Коэффициент , входящий в уравнение Ньютона-Рихмана , называется:***

1) коэффициентом излучения абсолютно черного тела;

2 коэффициентом теплоотдачи;

3) коэффициентом теплопроводности;

4) приведенным коэффициентом излучения;

5) коэффициентом теплопередачи.

***6. Как называется число подобия, характеризующее соотношение подъемной силы, возникающей вследствие разности плотностей жидкости и силы молекулярного трения (аэродинамических сил)?***

1) Рейнольдса;

2) Эйлера;

3) Прандтля;

4) Грасгоффа;

5)Нуссельта.

***7. Для идеального цикла ДВС, работающего с подводом теплоты при V = const, определить термический КПД, если известно:***

* удельное количество подведенной теплоты *q1* = 1279,3 кДж/кг;
* удельное количество отведенной теплоты *q2* = 734,7 кДж/кг;

1) 0,43;

2) 0,55;

3) 0,30;

4) 0,64;

5) 0,70.

Ключи к выполнению теста

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вопроса | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 | Вариант 5 |
| 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 |
| 3 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| 4 | 1 | 4 | 2 | 3 | 5 |
| 5 | 1 | 2 | 5 | 3 | 2 |
| 6 | 5 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 7 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 |

**3.2. Итоговый контроль**

Итоговый контроль знаний студентов – экзамен.

Требования к экзамену:

* выполнение и защита лабораторных работ;
* положительная оценка за промежуточное тестирование;
* успешная сдача экзамена.

**ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система и термодинамический процесс.
2. Основные параметры состояния. Уравнения состояния идеальных газов.
3. Смеси рабочих тел. Способы задания состава смеси, соотношения между массовыми и объемными долями.
4. Вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений компонентов.
5. Равновесное и неравновесное состояние. Теплота и работа как формы передачи энергии.
6. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы).
7. Теплоемкость. Массовая, объемная и молярная теплоемкости.
8. Теплоемкость при постоянных объеме и давлении. Зависимость теплоемкости от температуры и давлении. Средняя и истинная теплоемкости.
9. Формулы и таблицы для определения теплоемкостей. Теплоемкость смеси рабочих тел.
10. Первый закон термодинамики. Сущность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики.
11. Аналитические выражения первого закона термодинамики. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния.
12. Внутренняя энергия. Энтальпия. Р,V- диаграмма.
13. Анализ термодинамических процессов. Общие методы исследования процессов изменения состояния рабочих тел.
14. Политропные процессы. Основные характеристики политропных процессов. Изображение в координатах P-V и T-S.
15. Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный – частные случаи политропного процесса.
16. Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов Пары. Основные определения.
17. Процессы парообразования в P-V, T-S и I-S диаграммах. Водяной пар – как рабочее тело. Понятие об уравнениях Ван-дер-Ваальса и Вукаловича-Новикова.
18. Термодинамические параметры воды и водяного пара в P-V, T-S и I-S диаграммах. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью I-S диаграммы.
19. Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров.
20. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Массовый расход при истечении идеального газа через суживающее сопло. Критическое давление.
21. Расчет скорости и массового расхода для критического режима. Условия перехода для критического режима. Условия перехода через критическую скорость. Сопло Лаваля.
22. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью i (h)-S диаграммы. Действительный процесс истечения.
23. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса дросселирования.
24. Понятие об эффекте Джоуля-Томсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов.
25. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования в i (h)-S диаграмме.
26. Термодинамический анализ работы компрессоров. Классификация компрессоров и принцип действия. Поршневые компрессоры.
27. Индикаторная диаграмма идеального компрессора. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Полная работа, затрачиваемая на привод компрессора.
28. Индикаторная диаграмма реального поршневого компрессора. Предел сжатия. Многоступенчатое сжатие газов и паров.
29. Второй закон термодинамики. Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики.
30. Прямой и обратный обратимые циклы Карно. Энтропия – как функция состояния. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Т-S диаграмма.
31. Термодинамический анализ тепловых двигателей. Принцип действия поршневых ДВС. Циклы с изохорным и изобарным подводом теплоты (цикл Отто и Дизеля). Цикл со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера). Изображение циклов в P-V и T-S диаграммах. Термические кпд циклов ДВС.
32. Сравнительный анализ циклов ДВС. Циклы газотурбинных установок с изобарным и изохорным подводом теплоты (цикл Брайтона и Гемфри). Изображение циклов в P-V и T-S диаграммах. Термические кпд циклов ГТУ.
33. Циклы паросиловых установок. Принципиальная схема паросиловых установок. Схема работы паровой турбины. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический кпд цикла Ренкина.
34. Изображение цикла в P-V, T-S и I-S диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок. Теплофикационный цикл.
35. Теплопроводность – как вид теплообмена. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, диэлектриках, жидкостях и газах.
36. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности.
37. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенок. Теплопроводность сферической стенки.
38. Конвективный теплообмен. Основные понятия и определения. Понятие о пограничном слое. Уравнение Ньютона –Рихмана.
39. Коэффициент теплоотдачи. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи на границе потока и стенки; уравнение энергии для потока жидкости; уравнение движения вязкой жидкости (уравнение Навье -Стокса); уравнение неразрывности. Условия однозначности к дифференциальным уравнениям конвективного теплообмена.
40. Основы теории подобия. Основные определения условия подобия физических явлений. Критерии подобия.
41. Физический смысл основных критериев подобия. Определяющие критерии. Теоремы подобия. Критериальные уравнения.
42. Теплоотдача при свободном движении теплоносителя. Критериальные уравнения.
43. Теплообмен при вынужденном движении теплоносителей: теплообмен при движении теплоносителя вдоль плоской поверхности; теплообмен при течении жидкости в трубах; теплообмен при поперечном омывании одиночной круглой трубы и при поперечном омывании пучков труб, коридорно и шахматно расположенных.Критериальные уравнения. Теплообмен при изменении агрегатного состояния.
44. Теплообмен при кипении; механизм процессов при пузырьковом и пленочном режимах кипения. Теплообмен при конденсации.
45. Тепловой баланс лучистого теплообмена. Законы теплового излучения. Излучение газов. Сложный лучистсто-конвективный теплообмен. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой: теплообмен между плоско-паралельными поверхностями; защита от излучения.
46. Теплопередача через плоскую, цилиндрическую (гладкую и оребренную) стенки. Коэффициент теплопередачи. Уравнение теплопередачи.
47. Тепловая изоляция. Выбор материала тепловой изоляции. Критическая толщина тепловой изоляции труб.
48. Основы расчета теплообменных аппаратов. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Конструктивный и поверочный расчеты теплообменных аппаратов.
49. Гидромеханический расчет теплообменных аппаратов. Технико-экономический расчет.
50. **Библиографический список.**
51. *Нащокин, В.В.*Техническая термодинамика и теплопередача [Текст]: учебное пособие для вузов / В.В. Нащокин – М.: Высшая школа, 1980 – 469 с.
52. *Архаров, А.М.* Теплотехника [Текст]: учеб. для студентов втузов / А.М.Архаров, С.И. Исаев, И.А. Кожинов и др. – М.: Машиностроение, 1986 – 432 с.
53. *Луканин, В.Н.* Теплотехника [Текст]: учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.– под ред. Луканина В.Н. **–** М.: Высш. шк., 2003 –671 с.
54. *Ерофеев*, *В. Л.* Теплотехника [Текст]: учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, П. Д. Семенов, А.С. Пряхин – М.: Академкнига, 2006 – 670
55. *Мазур*, *Л.С* Техническая термодинамика и теплотехника [Текст]: учебник для вузов / Л.С. Мазур, М.: Высшая школа, 2003 – 352 с
56. *Архаров, А.М.* Теплотехника [Текст]: учебник для вузов / *А.М. Архаров.* – М. : МГТУ им. Баумана*,* 2004 – 712 с.
57. *Кудинов, В. А.* Техническая термодинамика [Текст] / В. А. Кудинов, Э. М Карташов - М.: Высшая школа, 2001. – 261 с.; ил.
58. *Корычев, Н. А*. Тепловые процессы и аппараты. [Текст]: учебное пособие (лабораторный практикум) / Н.А. Корычев, И.Й. Соколова, В.В. Князев. – Сыктывкар: Изд-во СЛИ, 2002 – 87 с.
59. *Балахонцев, Е. В*. Теплотехника. [Текст]: методические указания (с программой) и контрольные задания / Е. В. Балахонцев. А. П. Верес – М. : Высшая школа, 1986.
60. *Краснощеков, Е. А.,* Задачник по теплопередаче [Текст] / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел - М.: Энергия, 1975. – 280 с., ил.
61. *Павлов, К.Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст]: учебное пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков – Л.: Химия, 1987 – 576 с.
62. *Панкратов, Г.П.* Сборник задач по теплотехнике [Текст]: учебное пособие для неэнергетич. cпец. вузов /Г.П.Панкратов, М.: Высшая школа, 1986 –248 с.
63. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. [Текст]: каталог / М. : ЦИНТИМНЕФТЕМАШ - 1991.
64. Унифицированные кожухотрубчатые теплообменные аппараты специального назначения. [Текст]: каталог / М. : ЦИНТИМНЕФТЕМАШ. – 1987.
65. Теплообменные аппараты «Труба в трубе» [Текст]: каталог / М. : ЦИНТИМНЕФТЕМАШ. - 1992.