

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Забайкальский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Факультет Энергетический

Кафедра Химии

## УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

для студентов заочной формы обучения

по дисциплине «Термодинамика»  
наименование дисциплины (модуля)

для направления подготовки (специальности) ...21.05.04 «Горное дело»  
код и наименование направления подготовки (специальности)

наименование профиля подготовки **Обогащение полезных ископаемых**

Общая трудоемкость дисциплины 108 часов (3 зачетных единицы)

Виды занятий	Распределение по семестрам в часах	Всего часов
	9 семестр	
Общая трудоемкость	108	108
Аудиторные занятия, в т.ч.:	12	12
лекционные (ЛК)	6	6
практические (семинарские) (ПЗ, СЗ)	6	6
лабораторные (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа студентов (СРС)	96 контрольная работа	96
Форма промежуточного контроля в семестре	зачет	0
Курсовая работа (курсовой проект) (КР, КП)	0	0

## **Краткое содержание курса**

Основные свойства и параметры состояния термодинамических систем и законы преобразования энергии. Термодинамические процессы и основы их анализа. Термодинамика потока. Элементы химической термодинамики. Основные закономерности теплообмена и массообмена при стационарном и нестационарном режимах. Расчет показателей и параметров теплообмена при переносе. Методы анализа эффективности термодинамических процессов горного производства и управления интенсивности обмена энергией в них.

### **Форма текущего контроля**

#### **Контрольная работа.**

Контрольная работы выполняется в виде конспекта ответов на 5 теоретических вопросов и 4 расчетные задачи и предоставляется преподавателю в начале сессии. Контрольные вопросы и задачи следует выбрать студенту по табл. 1 вариантов, а числовые данные для каждой задачи – по табл. 2.

Перед выполнением контрольных работ следует тщательно изучить разделы курса «Техническая термодинамика». Сначала необходимо дать ответы на контрольные вопросы, а затем решить соответствующие задачи (вопросы и условия задач приводятся в пояснительной записке).

Ответы на контрольные вопросы должны быть ПОЛНЫМИ. Их следует сопровождать необходимыми формулами, графиками и схемами. При решении задач следует указывать, по каким формулам и в каких единицах измерений определяются величины, откуда взяты подставленные в формулы значения. При использовании таблиц, номограмм, эмпирических формул и других справочных материалов нужно дать ссылку на литературный источник. Вычисления всех величин приводятся в развернутом виде. Решение задач нужно иллюстрировать схемами и графиками, приведенными в соответствующих местах записи, которая обязательно должна иметь поля.

Контрольная работа оформляется в тетради 18 листов, на титульный лист наклеивается типовая этикетка с указанием ФИО, группы, номера варианта. Допускается оформление контрольной работы в печатном виде по требованиям, изложенным в методической инструкции **МИ 01-03-2023** Общие требования к построению и оформлению учебной текстовой документации<sup>1</sup>. Нумерация формул, таблиц и рисунков в работе - сквозная. Список использованных источников (литературы) необходимо оформить в соответствии с ГОСТ 7.80-2000.

Контрольную работу необходимо сдать преподавателю кафедры химии ЗабГУ (ауд. 03-417), ведущему дисциплину «Термодинамика».

**Таблица 1 – Номера контрольных вопросов и задач**

Задания	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номера контрольных вопросов	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
	29	30	21	22	23	24	25	26	27	28
	33	34	35	36	37	38	39	40	31	32
	50	49	48	47	43	45	44	46	42	41
Номера контрольных задач	1	2	3	4	5	6	7	8	2	3
	9	10	11	12	13	14	10	11	12	13
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	18
	32	31	30	29	28	27	26	25	24	27

### Контрольные вопросы

1. Какой газ называется идеальным? Напишите уравнение состояния идеального газа.
2. Какие параметры называются термическими? В каких единицах они измеряются?
3. Какие термодинамические процессы называются обратимыми?
4. Напишите уравнение первого закона термодинамики и дайте необходимые пояснения.
5. Как находится изменение внутренней энергии в любом термодинамическом процессе?

<sup>1</sup> [https://zabgu.ru/files/html\\_document/pdf\\_files/fixed/Normativny'e\\_dokumenty'/MI\\_01-03-2023\\_Obshhie\\_trebovaniya\\_k\\_postroeniyu\\_i\\_oformleniyu\\_uchebnoj\\_tekstovoj\\_dokumentacii.pdf](https://zabgu.ru/files/html_document/pdf_files/fixed/Normativny'e_dokumenty'/MI_01-03-2023_Obshhie_trebovaniya_k_postroeniyu_i_oformleniyu_uchebnoj_tekstovoj_dokumentacii.pdf)

6. Как аналитически и графически находится работа в обратимых термодинамических процессах?

7. Как с помощью теплоемкостей вычисляется количество подводимой (отводимой) теплоты?

8. Что такое истинная и средняя теплоемкости?

9. Что такое кажущаяся молекулярная масса смеси газов?

10. Как изменяется температура газа в изобарном, изохорном и адиабатном процессах? Ответ иллюстрируйте графиками процессов в  $v - p$   $s - T$  координатах.

11. Что происходит с температурой и давлением газа при его адиабатном расширении?

12. Как находится изменение энтальпии в любом термодинамическом процессе?

13. Как находится изменение энтропии в любом термодинамическом процессе?

14. Изобразите в координатах  $v - p$  и  $s - T$  прямой обратимый цикл Карно. Дайте необходимые пояснения.

15. Приведите ряд формулировок второго закона термодинамики.

16. Изобразите в координатах  $v - p$  и  $s - T$  изобарный и адиабатный процессы с водяным паром.

17. Что такое теплота парообразования? Чему она равна в критической точке?

18. Как можно рассчитать скорость истечения идеального газа из суживающегося сопла?

19. Как изменяются скорость и температура газа при его истечении из сопла Лавалья?

20. Что такое дросселирование? Как изменяется температура реального газа при дросселировании?

21. Дайте определения относительной влажности и влагосодержания влажного воздуха.

22. Чем ограничивается степень повышения давления в одной ступени поршневого компрессора?
23. Изобразите в координатах  $v - p$  и  $s - T$  термодинамические процессы сжатия газа в компрессорах.
24. Почему изотермный процесс сжатия газа в компрессоре является энергетически выгодным?
25. Изобразите в координатах  $v - p$  и  $s - T$  теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания.
26. Как находится термический КПД цикла ДВС с изобарным подводом теплоты.
27. Как находится термический КПД цикла ДВС с изохорным подводом теплоты.
28. От каких величин зависит термический КПД цикла газовой турбины с изобарным подводом теплоты.
29. Какое влияние оказывают начальные и конечные параметры пара на величину термического КПД цикла Ренкина.
30. Опишите цикл работы воздушной холодильной установки.
31. Какие известны способы передачи теплоты в пространстве?
32. Сформулируйте закон теплопроводности Фурье.
33. Дайте определения коэффициентов теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи.
34. Как определяется термическое сопротивление многослойной плоской стенки?
35. Что такое критический диаметр тепловой изоляции?
36. Какие существуют пути интенсификации теплопередачи?
37. В каких технологических процессах имеют место нестационарные процессы теплопроводности?
38. Какие величины входят в состав чисел подобия Био и Фурье?
39. В чем сущность подобия физических процессов? Приведите основные числа теплового подобия.

40. В чем разница между естественной и вынужденной конвекцией?
41. Как рассчитывается средний коэффициент теплоотдачи при ламинарном течении жидкости в трубах?
42. Как рассчитывается средний коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении жидкости в трубах?
43. Как рассчитывается средний коэффициент теплоотдачи при поперечном омывании потоком одиночной трубы?
44. Как рассчитывается средний коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции жидкости около горизонтальной трубы?
45. Какие факторы влияют на процесс теплоотдачи при пленочной конденсации водяного пара на вертикальных и горизонтальных трубах?
46. В чем особенности излучения и поглощения лучистой энергии газами?
47. От каких факторов зависит степень черноты поверхности?
48. Приведите преимущества и недостатки противоточной и прямоточной схем движения теплоносителей в теплообменниках.
49. На каких основных уравнениях базируется тепловой расчет теплообменников?
50. Как находится средний температурный напор для противоточной и прямоточной схем движения теплоносителей в теплообменниках?

### **Контрольные задачи**

1. После пуска ДВС избыточное давление сжатого воздуха в пусковом баллоне объемом  $V$  снизилось от  $p_1$  до  $p_2$ . Температура воздуха в баллоне до пуска была  $T_1$ , а после –  $T_2$ . Барометрическое давление равно 730 мм рт. ст. Определить массу израсходованного воздуха.
2. Баллон объемом  $V$  наполнен диоксидом углерода при температуре  $T$ . Измеренное с помощью манометра давление газа равно  $p$ , барометрическое давление равно 740 мм рт. ст. Определить массу газа в баллоне.

3. В емкости объемом  $V$  находится азот при температуре  $T$ . Масса азота равна  $M$ . Определить избыточное давление газа, если барометрическое давление  $p_6$ .

4. Компрессор нагнетает воздух в емкость объемом  $V$ . За 20 мин. работы компрессора измеряемое с помощью манометра давление в емкости увеличилось с  $p_1$  до  $p_2$ , а температура – с  $t_1$  до  $t_2$ . Барометрическое давление равно  $p_6$ . Определить часовую производительность компрессора.

5. Смесь газов задана массовыми долями: 20 % CO и 80 % CO<sub>2</sub>. Определить удельный объем и плотность смеси при нормальных условиях и при температуре  $T$  и давлении  $p$ . Найти также парциальные давления компонентов смеси.

6. В объеме  $V$  находится смесь газов, состав которой задан объемными долями: 10 % O<sub>2</sub>, 5 % CO<sub>2</sub> и 85 % N<sub>2</sub>. Давление смеси  $p$  и температура  $t$ . Определить массу смеси и массу кислорода. Найти также парциальные давления компонентов смеси.

7. Объемные доли компонентов влажного воздуха: 21 % O<sub>2</sub>, 78,1 % N<sub>2</sub> и 0,9 % водяного пара. Определить массовые доли и парциальные давления компонентов при давлении смеси  $p$ . Определить также плотность и удельный объем воздуха при нормальных условиях.

8. Состав продуктов сгорания органического топлива задан объемными долями: 13 % CO<sub>2</sub>, 8 % O<sub>2</sub> и 79% N<sub>2</sub>. Найти кажущуюся молекулярную массу, газовую постоянную и плотность продуктов сгорания, а также парциальные давления компонентов, если давление и температура продуктов сгорания равны  $p$  и  $t$  соответственно.

9. Воздух массой  $M$  кг нагревается при постоянном давлении  $p$  от температуры  $t_1$  до  $t_2$ . Найти объем газа в конце процесса подвода теплоты и количество подводимой теплоты. Теплоемкость газа принять зависящей от температуры. Изобразить графики процесса в координатах  $v - p$  и  $s - T$ .

10. Смесь (объемные доли компонентов смеси: 92 % N<sub>2</sub>, 5 % CO<sub>2</sub> и 3 % O<sub>2</sub>) охлаждается от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$  при постоянном

давлении. Найти теплоту, которую необходимо отвести от 1 кг смеси. Найти также парциальные давления компонентов при давлении смеси  $p$  и конечную плотность смеси. Теплоемкость газа принять не зависящей от температуры.

**11.** В изохорном процессе  $M$  кг азота нагреваются от начального давления  $p_1$  и температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$ . Определить количество подводимой теплоты, конечное давление газа и изменение энтропии. Теплоемкость газа принять зависящей от температуры. Изобразить графики процесса в координатах  $v$ - $p$   $s$ - $T$ .

**12.** Воздух адиабатно сжимается в цилиндре тепловозного дизеля так, что его объем уменьшается в 12 раз. Начальные параметры воздуха равны  $p_1$  и  $t_1$ . Определить затрачиваемую на сжатие 1 кг воздуха работу, конечную температуру и конечную плотность воздуха. Изобразить графики процесса в координатах  $v$  -  $p$   $s$  - $T$ .

**13.** Воздух политропно сжимается в цилиндре поршневого компрессора. Показатель политропы процесса равен  $n$ , параметры воздуха в начале сжатия равны  $p_1$  и  $t_1$ , давление воздуха в конце процесса сжатия равно  $p_2$ . Определить затрачиваемую на сжатие 1 кг воздуха работу, количество отводимой от газа теплоты и конечную температуру. Изобразить графики процесса в координатах  $v$  -  $p$   $s$  - $T$ .

**14.** Метан политропно сжимается в цилиндре поршневого компрессора. Показатель политропы процесса равен  $n$ , параметры метана в начале сжатия равны  $p_1$  и  $t_1$ , давление метана в конце процесса сжатия равно  $p_2$ . Определить затрачиваемую на сжатие 1 кг метана работу, количество отводимой от газа теплоты и изменение энтропии. Изобразить графики процесса в координатах  $v$  -  $p$   $s$  - $T$ .

**15.** В пароперегревателе парового котла  $k$  1 кг влажного насыщенного пара (степень сухости  $x$ ) подводится теплота при постоянном давлении  $p$ , в результате чего пар перегревается до температуры  $t_2$ . Определить количество подводимой теплоты, а также энтальпию, внутреннюю энергию и плотность



пара в начале и конце процесса подвода теплоты. Решение задачи иллюстрировать диаграммой  $s - h$ .

**16.** 1 кг перегретого водяного пара при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  адиабатно расширяется так, что его объем увеличивается в 8 раз. Определить конечные параметры пара ( $p_2, \rho_2, t_2, s_2$ ), а также совершаемую работу и изменение внутренней энергии. Решение задачи иллюстрировать диаграммой  $s - h$ .

**17.** 1 кг влажного насыщенного водяного пара (степень сухости  $x$ ) при давлении  $p_1$  адиабатно сжимается так, что его объем уменьшается в 10 раз. Определить конечные параметры пара ( $p_2, \rho_2, t_2, s_2$ ), а также совершаемую работу и изменение внутренней энергии. Решение задачи иллюстрировать диаграммой  $s - h$ .

**18.** В сушильную установку поступает влажный воздух с температурой  $t_1$  и относительной влажностью  $\phi_1$ . В калорифере установки воздух нагревается до температуры  $t_2$  и направляется в сушильную камеру, из которой выходит при относительной влажности  $\phi_3$ . Барометрическое давление равно 745 мм рт. ст. Определить количество воздуха, необходимого для испарения 1 кг влаги из высушиваемого материала, а также количество теплоты, затрачиваемой на испарение 1 кг влаги. Решение задачи иллюстрировать диаграммой  $d - H$ .

**19.** Влажный воздух с температурой  $t_1$  и относительной влажностью  $\phi_1$  охлаждается при постоянном давлении так, что пар в воздухе становится сухим насыщенным. Барометрическое давление равно 745 мм рт. ст. Определить количество отводимой от влажного воздуха теплоты и конечные параметры воздуха (температуру, энтальпию, влагосодержание, парциальное давление пара в Па). Решение задачи иллюстрировать диаграммой  $d - H$ .

**20.** Воздух при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  вытекает через суживающееся сопло в атмосферу. Диаметр выходного отверстия сопла  $d_2$ . Барометрическое давление равно 745 мм рт. ст. Определить теоретическую

скорость истечения воздуха из сопла, часовой массовый расход, а также температуру воздуха в выходном срезе сопла.

**21.** Азот при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  вытекает через сопло Лаваля (угол конуса расширяющейся части сопла равен  $12^\circ$ ) в атмосферу. Массовый часовой расход азота  $M$ . Барометрическое давление равно 740 мм рт. ст. Определить основные размеры сопла и температуру азота в выходном срезе сопла. Истечение считать изоэнтальпическим, потерями на трение пренебречь.

**22.** Перегретый водяной пар при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  вытекает через суживающееся сопло в атмосферу. Диаметр выходного отверстия сопла  $d_2$ . Барометрическое давление равно 755 мм рт. ст. Определить теоретическую скорость истечения пара из сопла, часовой массовый расход, а также температуру пара в выходном срезе сопла.

**23.** Перегретый водяной пар при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  дросселируется до давления  $p_2$ . Определить параметры пара после дросселя, а также изменение энтропии и внутренней энергии. Решение задачи иллюстрировать диаграммой  $s - h$ .

**24.** Рассчитать идеальный цикл двигателя внутреннего сгорания с изобарным подводом теплоты при следующих исходных данных: рабочее тело обладает свойствами воздуха (зависимостью теплоемкости от температуры можно пренебречь); заданы характеристики цикла: степень сжатия  $\epsilon$  и степень предварительного расширения  $\rho$ ; начальные параметры цикла  $p_1$  и  $t_1$ . Необходимо в результате расчета определить параметры рабочего тела в переходных точках цикла, найти для 1 кг рабочего тела количества подводимой и отводимой теплот, а также найти работу и термический КПД цикла. Цикл изобразить в координатах  $v - p$   $s - T$ .

**25.** Рассчитать идеальный цикл двигателя внутреннего сгорания с изохорным подводом теплоты при следующих исходных данных: рабочее тело обладает свойствами воздуха (зависимостью теплоемкости от температуры можно пренебречь); заданы характеристики цикла: степень сжатия  $\epsilon$  и степень повышения давления  $\lambda$ ; начальные параметры цикла  $p_1$  и

$t_1$ . Необходимо в результате расчета определить параметры рабочего тела в переходных точках цикла, найти для 1 кг рабочего тела количества подводимой и отводимой теплот, а также найти работу и термический КПД цикла. Цикл изобразить в координатах  $v - p - s - T$ .

**26.** Рассчитать идеальный цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты при следующих исходных данных: рабочее тело обладает свойствами воздуха (зависимостью теплоемкости от температуры пренебречь); заданы характеристики цикла степень сжатия  $\varepsilon$ , степень предварительного расширения  $\rho$  и степень повышения давления  $\lambda$ ; начальные параметры цикла  $p_1$  и  $t_1$ . Необходимо в результате расчета определить параметры рабочего тела в переходных точках цикла, найти для 1 кг рабочего тела количества подводимой и отводимой теплот, а также найти работу и термический КПД цикла. Цикл изобразить в координатах  $v - p - s - T$ .

**27.** Рассчитать идеальный цикл газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты при следующих исходных данных: рабочее тело обладает свойствами воздуха (зависимостью теплоемкости от температуры пренебречь); начальные параметры цикла  $p_1$  и  $t_1$ ; степень повышения давления в цикле  $\lambda$ ; температура рабочего тела в конце расширения  $t_4$ . Необходимо в результате расчета определить параметры рабочего тела в переходных точках цикла, найти для 1 кг рабочего тела количества подводимой и отводимой теплот, а также найти работу и термический КПД цикла. Цикл изобразить в координатах  $v - p - s - T$ . Привести принципиальную схему газотурбинной установки.

**28.** Одноступенчатый поршневой компрессор всасывает воздух при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  и сжимает его до давления  $p_2$ . Подача компрессора, отнесенная к нормальным условиям,  $V$ . Определить секундную работу процесса сжатия и теоретическую мощность привода компрессора для случаев изотермного, адиабатного и политропного (показатель политропы равен 1,2) сжатия. Найти также температуру воздуха в конце процессов

адиабатного и политропного сжатия. Процессы сжатия изобразить в координатах  $v - p$   $s - T$ . Привести принципиальную схему компрессора.

**29.** Одноступенчатый поршневой компрессор всасывает воздух при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$  и сжимает его в политропном процессе до давления  $p_2$ . Подача компрессора, отнесенная к нормальным условиям,  $V$ . Показатель политропы сжатия  $n$ . Определить секундную работу процесса сжатия и теоретическую мощность привода компрессора. Определить также расход охлаждающей рубашки компрессора воды, если её температура повышается на  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Процесс сжатия изобразить в координатах  $v - p$   $s - T$ . Привести принципиальную схему компрессора.

**30.** Определить термический КПД паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Начальные параметры перегретого пара  $p_1$  и  $t_1$ . Давление пара в конденсаторе паровой турбины  $p_2$ . Цикл изобразить в координатах  $v - p$ ,  $s - T$  и  $s - h$ . Привести принципиальную схему установки.

**31.** Определить термический КПД паросиловой установки с промежуточным перегревом пара. Начальные параметры перегретого пара  $p_1$  и  $t_1$ . Давление пара во втором пароперегревателе  $p_2$ . Температуру пара при вторичном перегреве принять на  $25\text{ }^\circ\text{C}$  меньше  $t_1$ . Давление пара в конденсаторе паровой турбины  $p_3$ . Цикл изобразить в координатах  $s - T$  и  $s - h$ . Привести принципиальную схему установки.

**32.** Воздушная холодильная установка используется для получения из воды с температурой  $10\text{ }^\circ\text{C}$  льда с температурой  $-7\text{ }^\circ\text{C}$ . Поступающий в компрессор воздух при давлении  $p_1 = p_4$  и температуре  $t_3$  адиабатно сжимается до давления  $p_2 = p_3$  и направляется в охладитель, где за счет отвода теплоты в окружающую среду охлаждается до температуры  $t_3 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ . Расход воздуха, приведенный к нормальным условиям, равен  $V$ . Требуется найти часовое количество производимого льда, холодильный коэффициент и мощность, необходимую для привода компрессора. Цикл изобразить в координатах  $s - T$  и  $v - p$ . Привести принципиальную схему установки.

**Таблица 2 -Числовые значения данных в задачах**

№ зада ч	Величины	Предпоследняя цифра номера зачетной книжки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	V, м <sup>3</sup>	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,15	0,16	0,17
	p <sub>1</sub> , МПа	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
	p <sub>2</sub> , МПа	2,8	2,7	2,8	2,9	2,7	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
	T <sub>1</sub> , К	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
	T <sub>2</sub> , К	283	285	286	287	288	289	290	291	292	293
2	V, м <sup>3</sup>	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	T, К	315	320	325	330	340	345	350	355	360	365
	p, МПа	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
3	V, м <sup>3</sup>	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	1,3	1,4	1,5
	T, К	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355
	M, кг	5	5,1	5,15	5,2	5,25	5,3	5,35	5,4	5,45	5,5
	p <sub>б</sub> , мм рт.ст.	735	740	745	750	755	760	730	735	740	745
4	V, м <sup>3</sup>	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,115	0,116	0,117	0,118	0,119	0,12	0,121	0,122	0,123
	p <sub>2</sub> , МПа	0,15	0,152	0,154	0,156	0,158	0,16	0,162	0,164	0,166	0,168
	t <sub>1</sub> , °С	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	t <sub>2</sub> , °С	15	16	17	19	20	21	22	24	25	26
	p <sub>б</sub> , мм рт.ст.	740	745	750	755	760	730	735	740	745	750
5	T, К	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430
	p, МПа	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
6	V, м <sup>3</sup>	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
	p, МПа	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	t, °С	- 10	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
7	p, МПа	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
8	p, МПа	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
	t, °С	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32
9	M, кг	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	p, МПа	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
	t <sub>1</sub> , °С	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	t <sub>2</sub> , °С	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330
10	t <sub>1</sub> , °С	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540
	t <sub>2</sub> , °С	150	140	130	120	110	100	90	80	70	80
	p, МПа	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23
11	M, кг	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	p <sub>1</sub> , МПа	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
	t <sub>1</sub> , °С	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	t <sub>2</sub> , °С	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980
12	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,11	0,115	0,12	0,11	0,115
	t <sub>1</sub> , °С	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13	n	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,2	1,25	1,24	1,23	1,22
	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,115	0,12	0,125	0,11	0,115	0,12	0,125	0,11	0,115
	t <sub>1</sub> , °С	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	p <sub>2</sub> , МПа	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,7	0,65	0,66	0,67	0,68
14	n	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,111	0,112	0,113	0,114	0,115	0,116	0,117	0,118	0,119
	t <sub>1</sub> , °С	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	p <sub>2</sub> , МПа	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49

Продолжение таблицы 2											
15	x	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
	p, МПа	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	t <sub>2</sub> , °С	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540
16	p <sub>1</sub> , МПа	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10
	t <sub>1</sub> , °С	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460
17	p <sub>1</sub> , МПа	0,92	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1
	x	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
18	t <sub>1</sub> , °С	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	φ <sub>1</sub> , %	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
	t <sub>2</sub> , °С	70	75	80	85	90	70	75	80	85	90
	φ <sub>3</sub> , %	95	94	93	92	91	90	96	95	94	93
19	t <sub>1</sub> , °С	75	70	65	60	55	50	80	75	70	65
	φ <sub>1</sub> , %	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
20	p <sub>1</sub> , МПа	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35
	t <sub>1</sub> , °С	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
	d <sub>2</sub> , мм	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
21	p <sub>1</sub> , МПа	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
	t <sub>1</sub> , °С	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	M, кг/ч	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
22	p <sub>1</sub> , МПа	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
	t <sub>1</sub> , °С	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490
	d <sub>2</sub> , мм	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5
23	p <sub>1</sub> , МПа	7,5	7,4	7,3	7,2	7,1	7	6,9	6,8	6,7	6,6
	t <sub>1</sub> , °С	400	390	380	370	360	350	340	330	320	310
	p <sub>2</sub> , МПа	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1
24	ε	12	12,5	13	13,5	14	12	12,5	13	13,5	14
	ρ	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,6	1,55	1,5	1,45
	p <sub>1</sub> , МПа	0,12	0,115	0,11	0,105	0,1	0,12	0,115	0,11	0,105	0,1
	t <sub>1</sub> , °С	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
25	ε	9	8,5	8	7,5	7	6,5	9	8,5	8	7,5
	λ	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,6	1,5	1,4
	p <sub>1</sub> , МПа	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11
	t <sub>1</sub> , °С	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26	ε	13	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9
	λ	1,7	1,69	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,63
	ρ	1,5	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41
	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,105	0,1	0,095	0,11	0,105	0,1	0,095	0,09	0,105
	t <sub>1</sub> , °С	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
27	p <sub>1</sub> , МПа	0,09	0,091	0,092	0,093	0,094	0,095	0,096	0,097	0,098	0,099
	t <sub>1</sub> , °С	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	λ	1,6	1,61	1,62	1,63	1,64	1,65	1,66	1,67	1,68	1,69
	t <sub>4</sub> , °С	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265
28	p <sub>1</sub> , МПа	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12
	t <sub>1</sub> , °С	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	p <sub>2</sub> , МПа	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69
	V, м <sup>3</sup> /ч	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590
29	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,111	0,112	0,113	0,114	0,115	0,116	0,117	0,118	0,119
	t <sub>1</sub> , °С	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	p <sub>2</sub> , МПа	0,5	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59
	V, м <sup>3</sup> /ч	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390

	n	1,22	1,23	1,24	1,25	1,21	1,22	1,23	1,24	1,21	1,22
30	p <sub>1</sub> , МПа	15	16	17	18	19	12	12,1	12,2	12,3	12,4
	t <sub>1</sub> , °С	550	540	530	520	510	500	490	480	470	460
	p <sub>2</sub> , МПа	0,004	0,0041	0,0042	0,0043	0,0044	0,0044	0,004	0,0041	0,0042	0,0043
31	p <sub>1</sub> , МПа	18	17,5	17	16,5	16	15,5	15	14,5	14	13,5
	t <sub>1</sub> , °С	540	535	530	520	510	500	490	480	470	460
	p <sub>2</sub> , МПа	9	8,8	8,6	8,4	8,2	8	7,8	7,6	7,4	7,2
	p <sub>3</sub> , МПа	0,0035	0,0036	0,0037	0,0038	0,0039	0,004	0,0041	0,0042	0,0043	0,0044
32	p <sub>1</sub> , МПа	0,11	0,111	0,112	0,113	0,114	0,11	0,111	0,112	0,113	0,114
	t <sub>1</sub> , °С	-13	-13,5	-14	-14,5	-15	-15,5	-12,5	-13	-13,5	-14
	p <sub>2</sub> , МПа	0,48	0,485	0,49	0,495	0,5	0,48	0,485	0,49	0,5	0,48
	V, м <sup>3</sup> /ч	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАЧ

### Задачи 1 – 14

Задачи составлены по следующим разделам технической термодинамики: уравнение состояния идеального газа, смеси идеальных газов, теплоемкость, первый закон термодинамики, основные термодинамические процессы.

Во всех расчетах используется абсолютное давление газа, равное сумме избыточного (манометрического) и барометрического давлений. Во всех расчетах используется абсолютная температура газа.

При нахождении количества подводимой (отводимой) теплоты в термодинамических процессах обычно учитывается зависимость теплоемкости от температуры.

В приближенных теплотехнических расчетах нередко пренебрегают зависимостью теплоемкости от температуры и находят теплоемкости из зависимостей

$$c_v = R/(k - 1) \text{ и } c_p = kR/(k - 1).$$

Для точных расчетов количество теплоты находят с помощью средних теплоемкостей, величины которых приведены в таблицах в различных учебниках и справочниках. Так как в таблицах невозможно привести значения средних теплоемкостей для всех возможных интервалов температур, то вводят понятие средней теплоемкости  $c_m$  в интервале

температур от 0 °С до t °С. В этом случае расчет производят по уравнению  $q = c_{m2}t_2 - c_{m1}t_1$ , в котором  $c_{m2}$  - средняя массовая теплоемкость в интервале температур от 0 °С до температуры  $t_2$  °С, а  $c_{m1}$  - средняя Массовая теплоемкость в интервале от 0 °С до  $t_1$ .

Для вычисления средней мольной изохорной теплоемкости газа в интервале температур от 0 °С до t °С используется уравнение

$$\mu c_{vm} = A + B \cdot \exp [C(T + E)^D] + F \cdot \sin(T-273)/H.$$

Величины коэффициентов А, В, С, D, E, F, и Н приведены в табл.1 СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ.

При нахождении теплоемкостей газовых смесей необходимо знать состав смеси и теплоемкости её компонентов. Если заданы массовые доли газов  $m_i$ , входящих в состоящую из n компонентов смесь, то теплоемкость смеси  $c_{см}$  находится по формуле

$$c_{см} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i c_i.$$

Если же заданы объемные доли компонентов  $r_i$ , то объемная теплоемкость смеси находится по формуле

$$c_{см}^1 = \sum_{i=1}^{i=n} r_i c_i^1.$$

### Задачи 15 – 19

Задачи решаются с помощью s- h диаграммы водяного пара или/и таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара (табл. 3 и 4 СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ). В табл. 3 размерность удельного объема – м<sup>3</sup>/кг; давления – Па; энтальпии и энтропии – кДж/кг·К.

Для расчетов процессов с влажным воздухом используется диаграмма d – Н, приведенная в СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ.

### Задачи 20 – 23

Задачи составлены на процессы истечения и дросселирования идеальных газов и паров, которые в данном случае считаются адиабатными (без теплообмена с окружающей средой). При решении задач, связанных с



истечением газов и паров из сопел, потерями на трение можно пренебречь. Скорость потока на входе в сопло  $w_1$  можно принять равной нулю.

Процессы истечения и дросселирования водяного пара решаются с помощью диаграммы  $s - h$ .

Для расчета скорости истечения пара из сопла по формуле

$$w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2) + w_1^2}$$

следует с помощью  $s - h$  диаграммы найти перепад энтальпий  $\Delta h = h_1 - h_2$ . Массовый расход вещества находится по уравнению неразрывности  $w \cdot f = M \cdot v$  при известной площади поперечного сечения сопла  $f$ . Удельный объем пара находится по диаграмме  $s - h$  или с помощью таблиц.

Энтальпии в вышеприведенную формулу подставляются с размерностью Дж/кг.

Если истечение происходит из суживающегося сопла при  $\beta > \beta_{кр}$ , то в выходном срезе сопла устанавливается давление той среды, в которую происходит истечение. Если же  $\beta < \beta_{кр}$ , то в выходном срезе суживающегося сопла устанавливается критическое давление  $p_{кр} = \beta_{кр} \cdot p_1$ .

Для двухатомных газов  $\beta_{кр} = 0,528$ ; для водяного пара (с некоторым приближением) можно принять  $\beta_{кр} = 0,546$ .

### **Задачи 24 – 27**

В этих задачах рассчитываются циклы идеальных двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок.

При расчетах теплоемкость считать не зависящей от температуры. Рабочее тело обладает свойствами сухого воздуха ( $R = 287$  Дж/кг·К,  $k = 1,4$ ).

### **Задачи 28 – 29**

Задачи связаны с расчетами поршневых компрессоров. В этих задачах подача компрессора  $V$  отнесена к нормальным условиям ( $p = 101325$  Па,  $T = 273,15$  К).

### Задачи 30 – 31

В этих задачах рассчитываются циклы паросиловых установок. Решение задач производится с помощью диаграммы  $s - h$  и/или таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара. Параметры кипящей воды находятся по табл. 3 и 4 СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ.

### Задача 32

Для превращения 1 кг воды с температурой  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в лед с температурой  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  от воды необходимо, во-первых, отвести теплоту, идущую на охлаждение воды от  $10$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; во-вторых, – теплоту плавления льда ( $q_{пл} = 330,7\text{ кДж/кг}$ ); в-третьих, – теплоту, идущую на охлаждение льда от температуры  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (теплоемкость льда  $c_{л} = 2,09\text{ кДж/кг}$ ).

Часовая холодопроизводительность (холодильная мощность)

$$Q_o = V_v c_p^1 (T_1 - T_4),$$

где  $c_p^1 = 1,298\text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$  – объемная изобарная теплоемкость воздуха.

Масса получаемого льда равна

$$M = Q_o / q_v,$$

где  $q_v$  – теплота, отводимая от воды при превращении её в лед.

Холодильный коэффициент  $\varepsilon = T_1 / (T_2 - T_1)$ .

Мощность привода компрессора

$$N = Q_o / (3600 \cdot \varepsilon).$$

### ВНИМАНИЕ!

Ниже, в таблицах, приведены справочные данные, необходимые для решения задач.

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Таблица 3 - Численные значения коэффициентов в уравнении для нахождения  $\mu_{vm}$**

Газ	A, кДж/ кмоль·К	B, кДж/ кмоль·К	C·10 <sup>5</sup>	D	E, К	F, кДж/ кмоль·К	H, К/град
H <sub>2</sub>	19,690	0,780	88,0	0,985	-273	0,14	9,444
O <sub>2</sub>	27,218	-6,209	-1,90	1,570	-273	0,26	5,555
N <sub>2</sub>	25,326	-4,622	-0,17	1,860	-273	-0,10	3,333
Воздух	25,774	-5,016	-0,394	1,750	-273	0,10	5,555
H <sub>2</sub> O	40,000	-14,82	-1,36	1,500	-273	0,00	1,000
CO	25,800	-4,992	-0,394	1,750	-273	0,00	1,000
CO <sub>2</sub>	49,000	-4868	-1,30	1,440	7727	0,35	6,666
Продукты сгорания дизельного топлива при $\alpha = 1$	30,563	-8,373	-3,761	1,415	-273	0,10	5,555

**Таблица 4 - Теплофизические свойства сухого воздуха при давлении 760 мм рт. ст.**

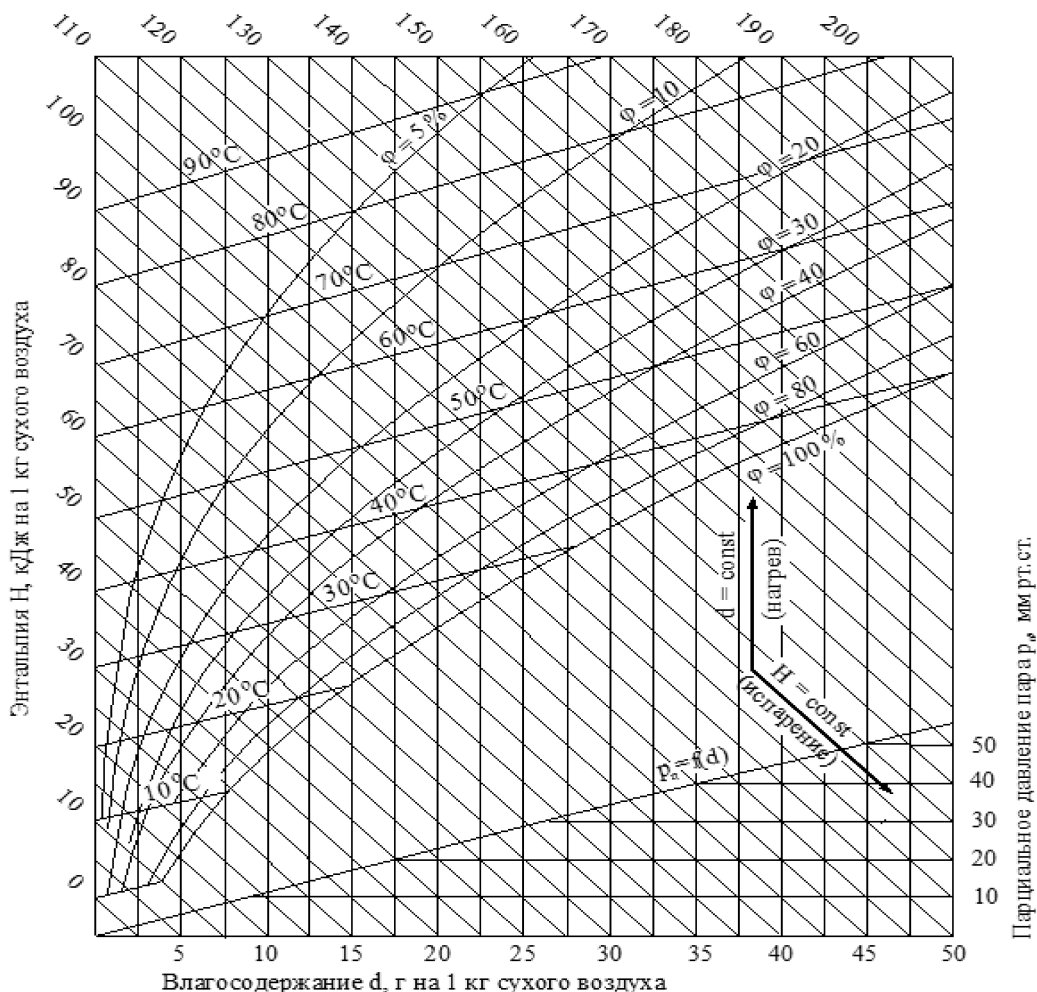
t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^2$ , Вт/м·К	$a \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
0,0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724

**Таблица 5 - Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по температурам)**

t	T	p	$v'$	$v''$	$h'$	$h''$	r	$s'$	$s''$
0,01	273,15	$6,112 \cdot 10^2$	0,00100022	206,175	0,00061	2501,0	2501,0	0,000	9,1562
10	282,15	$1,1473 \cdot 10^3$	0,00100003	106,419	41,99	2519,4	2477,4	0,1510	8,9009
20	293,15	$2,3368 \cdot 10^3$	0,0010017	57,833	83,86	2537,7	2453,8	0,2963	8,6674
30	303,15	$4,2417 \cdot 10^3$	0,0010043	32,929	125,66	2555,9	2430,2	0,4365	8,4537
50	323,15	$1,2335 \cdot 10^4$	0,0010121	12,048	209,26	2591,8	2382,5	0,7035	8,0771
70	343,15	$3,1161 \cdot 10^4$	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8	0,9548	7,7565
100	373,15	$1,01325 \cdot 10^5$	0,0010437	1,6738	419,06	2676,3	2257,2	1,3069	7,3564
150	423,15	$4,7597 \cdot 10^5$	0,0010908	0,39261	632,2	2746,3	2114,1	1,8416	6,8381
200	473,15	$1,5551 \cdot 10^6$	0,0011565	0,12714	852,4	2791,4	1939,0	2,3307	6,4289
250	523,15	$3,9776 \cdot 10^6$	0,0012513	0,05002	1085,8	2799,5	1713,7	2,7936	6,0693
300	573,15	$8,5917 \cdot 10^6$	0,0014041	0,02162	1345,4	2748,4	1403,0	3,2559	5,7038

**Таблица 6 - Теплофизические свойства воды при атмосферном давлении и на линии насыщения**

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$\rho^l$ , кг/м <sup>3</sup>	h, кДж/кг	$c_p$ , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^2$ , Вт/м·К	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с	$\sigma \cdot 10^4$ , Н/м	$\beta \cdot 10^4$ , 1/К	Pr
0	1,013	999,9	0,0	4,212	55,1	1788	756,4	-	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	1306	741,6	0,7	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	1004	726,9	1,82	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	801,5	712,2	3,21	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	653,3	696,5	3,87	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	549,4	676,9	4,49	3,54
60	1,013	983,1	251,1	4,179	65,9	469,9	662,2	5,11	2,98
70	1,013	977,8	293,0	4,187	66,8	406,1	643,5	5,7	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	355,1	625,9	6,32	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	314,9	607,2	6,95	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	282,5	588,6	7,52	1,75
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	186,4	486,6	10,3	1,17
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	136,4	376,7	13,1	0,93
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	109,9	261,9	18,1	0,86
300	85,92	712,5	1344,9	5,736	54,0	91,2	144,2	29,2	0,97
350	165,37	574,4	1671,4	9,504	43,0	72,6	38,16	66,8	1,60
370	210,53	450,5	1892,5	40,321	33,7	56,9	4,709	264	6,79



**Диаграмма d – H влажного воздуха (для давления  $p_0 = 99300$  Па = 745 мм рт.ст.)**

## Форма промежуточного контроля

### Зачет

К сдаче зачёта допускаются студенты, которые выполнили контрольную работу, законспектировали лекции и решили необходимое количество задач на практических занятиях.

#### **Перечень примерных вопросов для подготовки к зачету.**

1. Термодинамические системы и их классификация. Рабочее тело. Теплота и работа как формы передачи энергии. Параметры состояния. Уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые процессы.
2. Газовые смеси. Способы задания состава смеси. Соотношение между массовыми и объемными долями. Кажущаяся молекулярная масса. Газовая постоянная смеси. Парциальное давление компонента смеси.
3. Теплоемкость. Массовая, объемная теплоемкость. Средняя и истинная теплоемкость. Теплоемкость при постоянном объеме. Теплоемкость при постоянном давлении. Уравнение Майера. Зависимость теплоемкости от температуры.
4. Первый закон термодинамики. Теплота и работа. Внутренняя энергия. Выражение теплоты и работы через термодинамические параметры состояния. Энтальпия.
5. Анализ изохорного и изобарного процессов. Изображение процессов на  $p, v$  и  $T, s$  -диаграммах.
6. Анализ изотермического и адиабатного процессов. Изображение процессов на  $p, v$  и  $T, s$  -диаграммах.
7. Анализ политропного процесса. Уравнение политропы. Изображение процесса на  $p, v$  и  $T, s$  -диаграммах.

8. Второй закон термодинамики. Основные формулировки. Циклы. Прямые и обратные циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Аналитическое выражение второго закона термодинамики.
9. Цикл Карно. Термический КПД и холодильный коэффициент цикла Карно.
10. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто (подвод теплоты при  $v=\text{const}$ ). Анализ цикла. Изображение цикла в  $p, v$  и  $T, s$  – диаграммах. Индикаторная диаграмма.
11. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл Дизеля (подвод теплоты при  $p=\text{const}$ ). Анализ цикла. Изображение цикла в  $p, v$  и  $T, s$  – диаграммах. Индикаторная диаграмма.
12. Водяной пар. Основные определения. Фазовые переходы. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки водяного пара.
13. Термодинамические таблицы воды и водяного пара. Расчет процессов водяного пара с помощью таблиц.
14.  $p, v$ ; и  $T, s$  - диаграммы воды и водяного пара.
15.  $h, s$  - диаграммы воды и водяного пара. Расчет процессов водяного пара с помощью  $h, s$  – диаграммы.
16. Дросселирование газов и паров.
17. Паросиловая установка. Принципиальная схема. Цикл Ренкина. Изображение цикла в  $p - v, T - s$  и  $h - s$  диаграммах. КПД цикла. Методы повышения КПД.
18. Влажный воздух. Основные определения.  $h, d$  -диаграмма влажного воздуха. Процессы влажного воздуха.
19. Холодильные установки. Схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки. Изображение цикла в  $T-s$  диаграмме. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность установки. Холодильные агенты и их свойства.
20. Теплообмен. Виды переноса теплоты. Основные понятия и определения.

21. Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Градиент температуры. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.
22. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской стенках при граничных условиях 1 рода.
23. Теплопроводность однослойной и многослойной цилиндрической стенках при граничных условиях 1 рода.
24. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрические стенки (граничные условия 3 рода). Коэффициент теплопередачи.
25. Конвективный теплообмен. Особенности движения жидкостей и газов. Свободная и вынужденная конвекции. Уравнение Ньютона – Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.
26. Основы теории подобия. Критериальные уравнения. Физический смысл основных критериев подобия.
27. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах.
28. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы.
29. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Расчет коэффициента теплоотдачи.
30. Теплообмен излучением. Общие понятия и определения. Основные законы теплового излучения.
31. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой.
32. Теплообменные аппараты. Основные схемы движения теплоносителей в теплообменниках. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов.
33. Характеристики потребителей тепловой энергии на предприятиях отрасли. Факторы, влияющие на теплотребление. Повышение эффективности использования теплоты на предприятиях отрасли.

## **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература**

#### **Печатные издания**

1. Кириллин, Владимир Алексеевич. Техническая термодинамика : учебник / Кириллин Владимир Алексеевич, Сычев Вячеслав Владимирович, Шейндлин Александр Ефимович. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : МЭИ, 2008. - 496 с. : ил. - ISBN 978-5-383-00263-6 : 1013-00.

2. Теплотехника : учебник / под ред. В.Н. Луканина. - 5-е изд., стер... - Москва : Высш.шк., 2006. - 671с. : ил. - ISBN 5-06-003958-7 : 511-00.

3. Гончаров, Степан Алексеевич. Термодинамика : учебник / Гончаров Степан Алексеевич. - 2-е изд., стер. - Москва : МГГУ, 2002. - 440 с. - ISBN 5-7418-0010-6 : 820-00.

#### **Издания из ЭБС**

4. Дмитриев, А.П. Разрушение горных пород / А. П. Дмитриев; Дмитриев А.П. - Moscow : Горная книга, 2006. - . - Разрушение горных пород [Электронный ресурс] / Дмитриев А.П. - М: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. - ISBN 5-7418-0319-9.

5. Белов, Глеб Витальевич. Термодинамика в 2 ч. Часть 1 : Учебник и практикум / Белов Глеб Витальевич; Белов Г.В. - 2-е изд. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 264. - (Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-534-02731-0. - ISBN 978-5-534-02732-7 : 104.01.

6. Белов, Глеб Витальевич. Термодинамика в 2 ч. Часть 2 : Учебник и практикум / Белов Глеб Витальевич; Белов Г.В. - 2-е изд. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 248. - (Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-534-02732-7. - ISBN 978-5-534-02733-4 : 99.10.



## Дополнительная литература

### Печатные издания

7. Ляшков, Василий Игнатьевич. Теоретические основы теплотехники : учеб. пособие / Ляшков Василий Игнатьевич. - Москва : Высшая школа, 2008. - 317 с. - ISBN 978-5-06-005729-4 : 420-75.

8. Аренс, Виктор Жанович. Физико-химическая геотехнология : учеб. пособие / Аренс Виктор Жанович. - Москва : МГГУ, 2001. - 656с. - (Высшее горное образование). - ISBN 5-7418-0003-3 : 270-00.

9. Щербань, А.Н. Руководство по регулированию теплового режима шахт / А. Н. Щербань, О. А. Кремнев, В. Я. Журавленко. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Недра, 1977. - 359с. : ил. - 1-58.

10. Термодинамика : контрольные задания и метод. указ. / сост. Р.Б. Закиев. - Чита : ЧитГУ, 2005. - 35с. - 23-30.

### Издания из ЭБС

11. Арене, В.Ж. Физико-химическая геотехнология : Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по горному образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Горное дело", "Геология и разведка месторождений полезных ископаемых" (бакалавры и магистры), по всем специальностям подготовки горных инженеров / В. Ж. Арене; Арене В.Ж. - Moscow : Горная книга, 2001. - . - Физико-химическая геотехнология [Электронный ресурс] / Арене В.Ж. - М. : Горная книга, 2001. - ISBN 5-7418-0003-3.

12. Кудинов, Василий Александрович. Техническая термодинамика и теплопередача : Учебник / Кудинов Василий Александрович; Кудинов В.А., Карташов Э.М., Стефанюк Е.В. - 3-е изд. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 442. - (Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-534-00781-7 : 163.80.

## **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

13. Теплотехнический расчет. – Режим доступа: URL: <https://www.isover.ru/calculator2>.

14. Теплотехника: 21 книга – скачать в fb2, txt на андроид или читать онлайн. - – Режим доступа: URL: <http://bookash.pro/ru>.

15. В.И. Ляшков. Теоретические основы теплотехники. М.: Изд-во Машиностроение-1, 2005. 260 с. – Режим доступа: URL: <http://www.energyland.info/files/library/425bbbaac7eeac6849aaf03ce5395198.pdf>.

16. Электронная библиотека учебных материалов по химии (ресурсы региональных университетов). – Режим доступа: URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/regions.html>.

17. Химия в сети Internet (сайт химического факультета Воронежского государственного университета). – Режим доступа: URL: <http://www.chem.vsu.ru/content/links.html>.

Доцент кафедры химии \_\_\_\_\_ Дабижа Ольга Николаевна  
подпись

И.о. заведующей кафедрой \_\_\_\_\_ Шумилова Лидия Владимировна  
подпись