

Ответы на контрольные вопросы должны быть краткими и исчерпывающими. Не следует списывать ответы из учебника.

При решении задач и в ответах на вопросы применять только Международную систему единиц (СИ). Контрольные работы выполняют в тетради, в конце которой студент ставит свою подпись и приводит список использованной литературы. Для заметок рецензента на каждой странице тетради нужно оставлять поля. На обложке тетради указывают номер контрольной работы, название предмета, фамилия, имя, отчество, шифр, специальность и домашний адрес.

Таблица вариантов.

Номер варианта	Номера задач и вопросов	Номер варианта	Номера задач и вопросов	Номер варианта	Номера задач и вопросов
01	1, 11, 21	34	4, 17, 30	67	7, 23, 30
02	2, 12, 22	35	5, 18, 21	68	8, 24, 21
03	3, 13, 23	36	6, 19, 22	69	9, 15, 22
04	4, 14, 24	37	7, 20, 23	70	10, 16, 23
05	5, 15, 25	38	8, 11, 24	71	1, 18, 26
06	6, 16, 26	39	9, 12, 25	72	2, 19, 27
07	7, 17, 27	40	10, 13, 26	73	3, 20, 28
08	8, 18, 28	41	1, 15, 29	74	4, 11, 29
09	9, 19, 29	42	2, 16, 30	75	5, 12, 30
10	10, 20, 30	43	3, 17, 21	76	6, 13, 21
11	1, 12, 23	44	4, 18, 22	77	7, 14, 22
12	2, 13, 24	45	5, 19, 23	78	8, 15, 23
13	3, 14, 25	46	6, 20, 24	79	9, 16, 24
14	4, 15, 26	47	7, 11, 25	80	10, 17, 25
15	5, 16, 27	48	8, 12, 26	81	1, 19, 28
16	6, 17, 28	49	9, 13, 27	82	2, 20, 29
17	7, 18, 29	50	10, 14, 28	83	3, 11, 30
18	8, 19, 30	51	1, 16, 22	84	4, 12, 21
19	9, 20, 21	52	2, 17, 23	85	5, 13, 22
20	10, 11, 22	53	3, 18, 24	86	6, 14, 23
21	1, 13, 25	54	4, 19, 25	87	7, 15, 24
22	2, 14, 26	55	5, 20, 26	88	8, 16, 25
23	3, 15, 27	56	6, 11, 27	89	9, 17, 26
24	4, 16, 28	57	7, 12, 28	90	10, 18, 27
25	5, 17, 29	58	8, 13, 29	91	1, 20, 30
26	6, 18, 30	59	9, 14, 30	92	2, 11, 21
27	7, 19, 21	60	10, 15, 21	93	3, 12, 22
28	8, 20, 22	61	1, 17, 24	94	4, 13, 23
29	9, 11, 23	62	2, 18, 25	95	5, 14, 24
30	10, 12, 24	63	3, 19, 26	96	6, 15, 25
31	1, 14, 27	64	4, 20, 27	97	7, 16, 26
32	2, 15, 28	65	5, 21, 28	98	8, 17, 27
33	3, 16, 29	66	6, 22, 29	99	9, 18, 28
				100	10, 19, 29

## Вопросы.

1. Приведите определение идеального и реального газа. Основные законы идеальных газов.

2. Какими основными параметрами характеризуется состояние рабочего тела? Приведите уравнения состояния идеального газа для 1 кг,  $m$  кг, 1 кмоль газа.

3. Приведите определение удельной газовой постоянной и универсальной газовой постоянной, в каких единицах они выражаются и физический смысл газовой постоянной.

4. Приведите определение удельной, объемной и мольной теплоемкостей. Истинная и средняя теплоемкости. Напишите уравнение количества теплоты через среднюю теплоемкость.

5. Что такое теплоемкость при постоянном давлении и теплоемкость при постоянном объеме? Почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме?

6. Что понимается под внутренней энергией идеального и реального газов? Является ли внутренняя энергия функцией состояния или процесса?

7. Приведите уравнение работы в произвольном процессе и покажите, что работа является функцией процесса.

8. Что такое термодинамическая система, равновесное и неравновесное состояния, равновесный и неравновесный процессы? Приведите определение обратимого и необратимого процессов.

9. Сформулируйте первый закон термодинамики и приведите его аналитическое выражение. Что называется энтальпией и как она определяется?

10. В чем сущность второго закона термодинамики? Приведите основные формулировки второго закона термодинамики.

11. Изобразите процесс парообразования в  $p$ - $v$ -диаграмме и объясните характерные линии, области и точки на полученной диаграмме.

12. Изобразите процесс парообразования в  $T$ - $s$ - и  $i$ - $s$ - диаграммах и объясните характерные линии и области на полученной диаграмме.

13. Что такое процесс дросселирования? Как изменяются параметры идеального и реального газа при дросселировании?

14. Изобразите на  $p$ - $v$ -,  $T$ - $s$ - и  $i$ - $s$ - диаграммах изохорный и изотермический процессы превращения влажного насыщенного водяного пара в перегретый и приведите необходимые пояснения.

15. Приведите аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов в изолированной системе.

16. Почему цикл Карно является самым эффективным из всех возможных циклов в пределах одних и тех же температур.

17. Изобразите в  $p$ - $v$ - и  $T$ - $s$ -диаграммах цикл Ренкина. Какие существуют методы повышения экономичности паротурбинной установки? Как определяется термический к.п.д. цикла Ренкина?

18. Изобразите Ts-диаграмме идеальный цикл паровой компрессорной холодильной установки. Что такое холодильный коэффициент?

19. Изобразите в  $p$ - и  $Ts$ - диаграммах цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты и приведите описание цикла.

20. Какими основными параметрами характеризуется цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты и как они определяются?

21. Как определяется средний температурный напор и поверхность теплопередачи в теплообменных аппаратах в случаях прямотока и противотока?

22. Сформулируйте основной закон теплопроводности (закон Фурье) и приведите его математическое выражение. Что называется температурным градиентом и коэффициентом теплопроводности и как они определяются?

23. Приведите основной закон конвективного теплообмена. Как определяется коэффициент теплоотдачи и от каких величин зависит?

24. Приведите критериальные зависимости в общем виде для конвективного теплообмена при свободной и вынужденной конвекции.

25. Опишите сущность процесса лучистого теплообмена. Сформулируйте основные законы теплового излучения: Планка, Стефана – Больцмана и Кирхгофа.

26. В чем отличие излучения газов от излучения твердых тел? Для чего применяются экраны и какими свойствами они должны обладать?

27. Приведите выражения теплового потока для теплопроводности через плоскую и цилиндрическую однослойную и многослойную стенки.

28. Что называется теплопередачей? Приведите уравнение теплопередачи для плоской стенки. Объясните физический смысл коэффициента теплопередачи.

29. Какие существуют виды теплообмена между телами? Какие особенности каждого из этих видов? Как определить коэффициент теплопередачи для однослойной плоской стенки?

30. Что называется теплообменным аппаратом? Приведите уравнение теплового баланса в теплопередачи теплообменных аппаратов. Как определяется среднелогарифмический температурный напор независимо от схемы «прямоток» или «противоток»?

## Контрольная работа.

### Задачи

1. 2 кг кислорода с начальным давлением  $p_1 = 6$  МПа и начальной температурой  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  расширяются до конечного давления  $p_2 = 0,1$  МПа. Определить объем кислорода в начале и в конце расширения и работу расширения.

2. 4 кг воздуха с начальным давлением  $p_1 = 1,2$  МПа и начальной температурой  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  сжимаются адиабатно до конечного давления  $p_2 = 0,2$  МПа. Определить объем и температуру воздуха в конце сжатия, работу сжатия и изменение внутренней энергии, если показатель адиабаты  $k = 1,4$ .

3. Сосуд вместимостью  $V = 200$  л содержит кислород при абсолютном давлении 5 МПа и температуре  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ . Определить массу кислорода в сосуде, количество теплоты  $\Delta Q_1$ , которое нужно подвести, изменение энтропии  $\Delta S$  и конечную температуру газа в сосуде  $t_2$ , если при  $V = \text{const}$  давление в сосуде повысится до 10 МПа.

4. Во время сварки через сварочную зону с электросопротивлением  $R_C = 10$  Ом в течении  $\tau = 30$  с проходит электрический ток с напряжением  $U = 5$  В и величиной  $I = 30$  А. Определить насколько повысится температура стальной заготовки цилиндрической формы  $d = 4$  см,  $H = 10$  см, если начальная температура заготовки была  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , а 70% теплоты сварки пошло на нагрев заготовки.

5. В сосуде ёмкостью  $V = 0,8$  м<sup>3</sup> содержится азот под давлением  $p_1 = 3$  МПа и при температуре  $t_1 = -80^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, которое следует отвести от азота, чтобы понизить его давление при постоянном объеме до  $p_2 = 0,3$  МПа, и массу находящегося в сосуде.

6. 2 кг воздуха с начальным давлением  $p_1 = 0,12$  МПа и начальной температурой  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  сжимаются при постоянном давлении до удельного объема  $v_2 = 0,05$  м<sup>3</sup>/кг. Определить работу сжатия, изменение внутренней энергии и количество отведенной теплоты от воздуха.

7. 1 кг воздуха с начальным давлением  $p_1 = 0,2$  МПа и начальной температурой  $t_1 = 60^\circ\text{C}$  сжимается политропно до конечной температуры  $t_2 = 520^\circ\text{C}$ . Определить работу сжатия, изменение внутренней энергии и количество отведенной теплоты от воздуха, если показатель политропы  $n = 1,35$ .

8. В одноступенчатом компрессоре сжимается политропно воздух до конечного давления  $p_2 = 0,6$  МПа. Начальная температура воздуха  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  и давление  $p_1 = 0,2$  МПа. Определить конечную температуру воздуха и работу, затраченную на сжатие 1 кг воздуха, если показатель политропы  $n = 1,25$ .

9. В одноступенчатом компрессоре сжимается адиабатно двуокись углерода до давления  $p_2 = 0,5$  МПа. Начальная температура двуокиси углерода  $t_1 = -5^\circ\text{C}$  и давление  $p_1 = 0,1$  МПа. Определить работу, затраченную на сжатие 1 кг двуокиси углерода, и конечную температуру двуокиси углерода, если показатель адиабаты  $k = 1,28$ .

10. 1 кг воздуха с начальным давлением  $p_1 = 0,1$  МПа и начальной температурой  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  сжимается политропно до конечного давления  $p_2 = 1$  МПа. Определить работу сжатия, изменение внутренней энергии и количество отведенной теплоты от воздуха, если показатель политропы  $n = 1,3$ .

11. Вертикальная стенка шириной 1 м и высотой  $h = 2$  м с температурой  $130^\circ\text{C}$  отдает тепло в неограниченное воздушное пространство с температурой  $t = 22^\circ\text{C}$ . Пренебрегая тепловым излучением стенки, определить мощность теплового потока, покидающего стенку.

12. В медной трубе с средним диаметром  $d = 20$  мм, длиной  $l = 2$  м, толщиной стенки 2 мм, течет горячая вода с температурой  $90^\circ\text{C}$  и скоростью  $W = 1,5$  м/с. Определить тепловой поток, передающийся окружающему воздушному пространству большого объема с температурой  $t = 25^\circ\text{C}$ , если труба расположена горизонтально, а коэффициент теплоотдачи снаружи трубы равен  $\alpha_2 = 8$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

13. Стальной лист толщиной 8 см и размерами 1x1 м, с начальной температурой  $t_0 = 200^\circ\text{C}$  остывает на открытом воздухе в вертикальном положении. Температура окружающего воздуха  $t = 30^\circ\text{C}$ , средний коэффициент теплоотдачи от листа  $\alpha = 500$  Вт/м<sup>2</sup>·К. Определить температуру в середине листа через 2, 5, 10 минут.

14. Цилиндрический стальной брусок длиной 1200 мм и диаметром 5 см остывает на открытом воздухе  $t = 20^\circ\text{C}$ . Определить какова будет температура в середине бруска через 5, 10, 15 минут. Начальная температура бруска  $t_0 = 500^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи в воздух  $\alpha = 10$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

15. Алюминиевая круглая пластина толщиной 6 мм и диаметром  $d = 300$  мм остывает в ванне с машинным маслом с температурой  $t = 15^\circ\text{C}$ . Определить какова будет температура в центре пластины через 10, 40, 100 с, если начальная температура пластины составляла  $t_0 = 150^\circ\text{C}$ , а коэффициент теплоотдачи к маслу равен  $\alpha = 86 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

16. Для цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  определить количество подведенной теплоты  $Q_1$ , полезную работу  $i$  и термический КПД цикла  $\eta_t$  если количество отведенной теплоты  $q_2 = 500 \text{ кДж/кг}$  и показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Изобразить цикл в  $p$ - $v$ -диаграмме.

17. Определить для цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты параметры ( $p$ ,  $v$ ,  $T$ ) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла, если начальное давление  $p_1 = 0,12 \text{ МПа}$ , начальная температура  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 18$ , степень повышения давления  $\lambda = 1,5$ , степень предварительного расширения  $\rho = 1,6$  и показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Рабочее тело обладает свойствами воздуха. Изобразить цикл в  $p$ - $v$ -диаграмме.

18. В цикле поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  начальное давление  $p_1 = 0,12 \text{ МПа}$ , начальная температура  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 12$ , степень предварительного расширения  $\rho = 2,0$  и показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Определить параметры ( $p$ ,  $v$ ,  $T$ ) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла. Рабочее тело обладает свойствами воздуха. Изобразить цикл в  $p$ - $v$ -диаграмме.

19. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальным давлением пара  $p_1 = 5 \text{ МПа}$  и температурой  $t_1 = 400^\circ\text{C}$ . Определить удельный расход пара и термический к.п.д. цикла если давление в конденсаторе  $p_2 = 4 \text{ кПа}$ . Изобразите цикл в  $T$ - $S$ -диаграмме.

20. Паротурбинная установка работает по регенеративному циклу с начальным давлением пара  $p_1 = 2 \text{ МПа}$ , температурой  $t_1 = 350^\circ\text{C}$  и давлением в конденсаторе  $p_2 = 4 \text{ кПа}$ . Пар для регенеративного подогрева питательной воды отбирается при давлении  $p_0 = 0,2 \text{ МПа}$ . Определить термический к.п.д. цикла. Изобразите цикл в  $T$ - $S$ -диаграмме.

21. В камере для хранения скоропортящегося сырья хлебозавода установлены плоские охлаждающие батареи, в которых циркулирует водный раствор хлорида натрия (рассол). Определить плотность теплового потока от воздуха к рассолу, если температура в холодильной камере  $t_k = 4^{\circ}\text{C}$ , средняя температура рассола  $t_{ж} = -5^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке батареи  $\alpha_1 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , от рассола к стенке  $\alpha_2 = 5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , коэффициент теплопроводности стальной стенки  $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{мК})$  и толщина стенки  $\delta = 1,5 \text{ мм}$ .

22. Определить плотность теплового потока от воздуха к водному раствору хлорида кальция (рассолу), циркулирующему в плоской батарее камеры хранения скоропортящегося сырья хлебозавода, если стенка батареи покрылась слоем льда толщиной  $\delta_2 = 5 \text{ мм}$ . Температура в холодильной камере  $t_k = 4^{\circ}\text{C}$ , средняя температура рассола  $t_{ж} = -5^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от воздуха ко льду  $\alpha_1 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , коэффициент теплоотдачи от рассола к стенке  $\alpha_2 = 5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , коэффициент теплопроводности льда  $\lambda = 2,25 \text{ Вт}/(\text{мК})$ , коэффициент теплопроводности стальной стенки  $\lambda_1 = 45 \text{ Вт}/(\text{мК})$  и толщина стенки  $\delta_1 = 1,5 \text{ мм}$ .

23. Плоская кирпичная стенка хлебопекарной печи с одной стороны омывается продуктами сгорания топлива с температурой  $t_1 = 1300^{\circ}\text{C}$ , а с другой – воздухом помещения с температурой  $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$ . Коэффициенты теплоотдачи конвекцией равны соответственно  $\alpha_1 = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  и  $\alpha_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda = 0,6 \text{ Вт}/(\text{мК})$ , толщина стенки  $\delta = 755 \text{ мм}$ . Кроме теплоотдачи конвекцией со стороны продуктов сгорания на стенку падает лучистый тепловой поток, часть которого  $q_{\text{луч}} = 10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2$  поглощается поверхностью стенки. Определить плотность теплового потока, проходящего через стенку.

24. Какую среднюю температуру должен иметь пар в рубашке аппарата, чтобы при расходе теплоты на процесс  $Q = 180 \text{ кДж}/\text{с}$  поддерживать температуру продукта  $t_2 = 90^{\circ}\text{C}$ ? Площади контакта стенок аппарата с продуктом и паром, находящимся в рубашке,  $F = 2 \text{ м}^2$ . Толщина стальной стенки аппарата  $\delta = 3 \text{ мм}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{мК})$ , коэффициент теплоотдачи от пара к стенке  $\alpha_1 = 10\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  и коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту  $\alpha_2 = 2000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ .

25. Какую площадь оребрения нужно сделать, чтобы в 10 раз увеличить поток теплоты от горячей воды, проходящей в плоском нагревателе площадью  $F = 1 \text{ м}^2$  к воздуху помещения с температурой  $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$ ? Средняя



температура горячей воды  $t_1 = 90^\circ\text{C}$ , коэффициенты теплоотдачи от воды к стенке нагревателя  $\alpha_1 = 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху помещения  $\alpha_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , толщина стенки  $\delta = 2 \text{ мм}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{мК})$  и коэффициент эффективности ребер равен 1.

26. Варочный котел с медной шарообразной чашей внутренним диаметром  $d_1 = 590 \text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta = 1 \text{ мм}$  откружен рубашкой, в которой проходит сухой перегретый пар со средней температурой  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке чаши  $\alpha_2 = 10\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту  $\alpha_1 = 5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , температура продукта в чаше котла  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ , коэффициент теплопроводности меди  $\lambda_1 = 384 \text{ Вт}/(\text{мК})$ . Определить, сколько теплоты поступает от пара на процесс варки.

27. Варочная чаша котла окружена стальной шарообразной рубашкой внутренним диаметром  $d_1 = 630 \text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta = 2 \text{ мм}$ . В полости между чашей и рубашкой проходит сухой перегретый пар со средней температурой  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке рубашки  $\alpha_1 = 10\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , коэффициент теплоотдачи от рубашки к воздуху помещения  $\alpha_2 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , температура в помещении  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ , коэффициент теплопроводности стали  $\lambda = 45 \text{ Вт}/(\text{мК})$ . Определить потери теплоты через стенку рубашки в окружающую среду.

28. Определить поверхность теплоэлектронагревателя (ТЭНа) индивидуального парогенератора производительностью  $D = 0,03 \text{ кг}/\text{с}$  для увлажнения среды хлебопекарной печи с электрообогревом, если разность температур между поверхностью ТЭНа и кипящей водой  $\Delta t = 4^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 12\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , теплота парообразования  $\gamma = 2230 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

29. 20 кг воды, находящейся в котле, нагревают на газовой плите. Через 2 часа после начала кипения объем воды уменьшился вдвое. Определить количество теплоты, поступающей в котел, и температуру дна котла со стороны пламени, если диаметр дна котла  $d = 600 \text{ мм}$ , толщина металла  $\delta_1 = 1,5 \text{ мм}$ , толщина накипи  $\delta_2 = 0,25 \text{ мм}$ , коэффициент теплопроводности металла  $\lambda_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{мК})$ , коэффициент теплопроводности накипи  $\lambda_2 = 0,5 \text{ Вт}/(\text{мК})$ , температура дна котла со стороны кипящей воды  $t_{\text{ст}} = 105^\circ\text{C}$  и теплота парообразования  $\gamma = 2256 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

30. На какой глубине в земле нужно проложить коллектор для трубопровода горячей воды, чтобы температура в нем не понижалась ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , даже при температуре поверхности земли  $t_2 = -45^{\circ}\text{C}$ , если поверхностная плотность теплового потока (потери теплоты) от крышки коллектора к поверхности земли составляет  $q = 15 \text{ Вт/м}^2$ , коэффициент теплоотдачи от среды коллектора к его бетонной плоской крышке  $\alpha_1 = 25 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$ , коэффициент теплоотдачи от поверхности земли к воздуху  $\alpha_2 = 35 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$ , толщина бетонной крышки коллектора  $\delta_1 = 150 \text{ мм}$ , коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_1 = 0,28 \text{ Вт/(мK)}$  и коэффициент теплопроводности земли  $\lambda_2 = 0,66 \text{ Вт/(мK)}$ .