



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ТЕПЛОТЕХНИКА**

Специальность	<u>21.05.04 Горное дело</u>
Специализация	<u>Подземная разработка рудных месторождений</u>
Уровень высшего образования	<u>Специалитет</u> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>
Квалификация выпускника	<u>горный инженер (специалист)</u>

Автор - разработчик: Зубов В.В., канд. техн. наук, доцент  
Рассмотрено на заседании кафедры механики и автоматизации технологических процессов и производств  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

Задания и методические указания к выполнению контрольной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теплотехника».

Контрольная работа является составной частью самостоятельной работы обучающихся дисциплине. Выполнение контрольных работ имеет целью закрепление обучающимися полученных на лекциях теоретических знаний и практического опыта, приобретенного на практических занятиях, путем самостоятельной работы.

Контрольные работы по дисциплине «Теплотехника» выполняются студентами очной и заочной формы обучения после изучения материала по всему курсу.

### **Контрольная работа №1 (к разделам термодинамики)**

#### **Методические указания по выполнению:**

К решению задач контрольного задания следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса. Только сознательное (не «механическое») решение задачи приносит пользу и помогает закреплению знаний. Перед выполнением контрольной работы рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе. Следует стараться запомнить и примерные величины параметров задачи (исходных и вычисляемых); они также содержат полезную информацию.

Контрольные задачи составлены по стовариантной (численной) системе, в которой к каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по **последней и предпоследней цифре шифра** (личного номера) студента. Вариант работы должен соответствовать шифру студента. **Работы, выполняемые не по своему варианту, не рассматриваются.**

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие условия: а) выписывать условия 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 берутся (из условия задачи, из справочника или были определены выше и т.д.); в) вычисления производить в системе СИ, показывать ход решения, проставлять размерности.

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 численных данных.

Таблица 1

Предыдущая	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последующая										
0	1 50 100	2 51 101	3 52 102	4 53 103	5 54 104	6 55 105	7 56 106	8 57 107	9 58 108	10 59 109
1	11 60 110	12 61 111	13 62 112	14 63 113	15 64 114	16 65 115	17 66 116	18 67 117	19 68 118	20 69 119
2	21 70 120	22 71 121	23 72 122	24 73 123	25 74 124	26 75 125	27 76 126	28 77 127	29 78 128	30 79 129
3	31 80 130	32 81 131	33 82 132	34 83 133	35 84 134	36 85 135	37 86 136	38 87 137	39 88 138	40 89 139
4	41 90 140	42 91 141	43 92 142	44 93 143	45 94 144	46 95 145	47 96 146	48 97 147	49 98 148	50 99 149
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Предыдущая	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	100	52	54	56	58	60	62	64	66	68
	150	103	105	107	109	111	113	115	117	119
6	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139
7	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	90	92	94	96	98	100	51	53	55	57
	141	143	145	147	149	148	102	104	106	108
8	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77
	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128
9	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	79	81	83	85	87	89	91	93	95	97
	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148

Перечень контрольных задач:

1. Во сколько раз изменится плотность газа в сосуде, если при постоянной температуре показание манометра уменьшится от  $p_1 = 1,8$  МПа до  $p_2 = 0,3$  МПа?

Барометрическое давление принять равным 0,1 МПа.

Отв.  $\rho_2 = \frac{1}{6}\rho_1$

2. В воздухоподогреватель парового котла подается вентилятором 130000 м<sup>3</sup>/ч воздуха при температуре 30 °С. Определить объемный расход воздуха на выходе из воздухоподогревателя, если он нагревается до 400 °С при постоянном давлении.

Отв.  $V = 288709$  м<sup>3</sup>/ч.

3. Определить массу кислорода, содержащегося в баллоне емкостью 60 л, если давление кислорода по манометру равно 1,08 МПа, а показание ртутного барометра - 99 325 Па при температуре 25° С.

Отв.  $M = 0,91$  кг.

4. В сосуде находится воздух под разрежением 10 кПа при температуре 0 °С. Ртутный барометр показывает давление 99725 Па при температуре ртути 20°С.

Определить удельный объем воздуха при этих условиях.

Отв.  $v = 0,876$  м<sup>3</sup>/кг.

5. Какой объем будут занимать 11 кг воздуха при давлении  $p = 0,44$  МПа и температуре  $t = 18$  °С?

Отв.  $V = 2,088$  м<sup>3</sup>.

6. В цилиндре диаметром 0,6 м содержится 0,41 м<sup>3</sup> воздуха при  $p = 0,25$  МПа и  $t_1 = 35$  °С.

До какой температуры должен нагреваться воздух при постоянном давлении, чтобы движущийся без трения поршень поднялся на 0,4 м?

Отв.  $t_2 = 117,6$  °С.

7. В цилиндрическом сосуде, имеющем внутренний диаметр  $d = 0,6$  м и высоту  $h = 2,4$  м, находится воздух, при температуре 18 °С. Давление воздуха составляет 0,765 МПа. Барометрическое давление (приведенное к нулю) равно 101858 Па. Определить массу воздуха в сосуде.

Отв,  $M = 7,04$  кг.

8. В сосуде объемом 0,5 м<sup>3</sup> находится воздух при давлении  $p = 2$  МПа и температуре 20 °С. Сколько воздуха надо выкачать из сосуда, чтобы разрежение в нём составило 56 кПа при условии, что температура в сосуде не изменится? Атмосферное

давление по ртутному барометру равно 102,4 кПа при температуре ртути 18 °С; разряжение в сосуде измерено ртутным вакууметром при температуре ртути 20 °С.

Отв.  $M = 1,527$  кг.

9. Резервуар объёмом 4 м<sup>3</sup> заполнен углекислым газом. Найти массу и силу тяжести (вес) газа в резервуаре, если избыточное давление газа  $p = 40$  кПа, температура его  $t = 80$  °С, а барометрическое давление воздуха  $B = 102,4$  кПа.

Отв.  $M = 8,64$  кг;  $G = 84,8$  Н

10. Масса пустого баллона для кислорода емкостью 0,05 м<sup>3</sup> равна 80 кг. Определить массу баллона после заполнения его кислородом при температуре  $t = 20$  °С до давления  $p = 10$  МПа.

Отв.  $M = 86,57$  кг.

11. Для автогенной сварки использован баллон кислорода емкостью 100 л. Найти массу кислорода, если его давление  $p = 12$  МПа и температура  $t = 16$  °С.

Отв.  $M = 16$  кг.

12. Генераторный газ имеет следующий объёмный состав:  $H_2 = 7,0$  %;  $CH_4 = 2,0$  %;  $CO = 27,6$  %;  $CO_2 = 4,8$  %;  $N_2 = 58,6$  %. Определить массовые доли, кажущуюся молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и парциальные давления при 15 °С и 0,1 Мпа.

Отв.  $m_{H_2} = 0,005$ ;  $m_{CH_4} = 0,012$ ;  $m_{CO} = 0,289$ ;

$m_{CO_2} = 0,079$ ;  $m_{N_2} = 0,615$ ;  $\mu_{см} = 26,72$ ;

$R_{см} = 310,8$  Дж/(кг К)  $\rho_{см} = 1,095$  кг/м<sup>3</sup>;  $p_{H_2} = 7$  кПа.

13. Газ коксовых печей имеет следующий объёмный состав-  $H_2 = 57\%$ ;  $CH_4 = 23\%$ ;  $CO = 6\%$ ;  $CO_2 = 2\%$ ;  $N_2 = 12\%$ .

Найти кажущуюся молекулярную массу, массовые доли, газовую постоянную, плотность и парциальные давления при 15°С и 100 кПа.

Отв.  $\mu_{см} = 10,77$ ;  $m_{H_2} = 0,107$ ;  $m_{CO_2} = 0,082$ ;

$R_{см} = 772$  Дж/(кг К);  $\rho_{см} = 0,45$  кг/м<sup>3</sup>

14. Генераторный газ состоит из следующих объёмных частей:  $H_2 - 18\%$ ;  $CO = 24\%$ ;  $CO_2 = 6\%$ ;  $N_2 = 52\%$ . Определить газовую постоянную генераторного газа и массовый состав входящих в смесь газов.

Отв.  $R_{см} = 342$  Дж/(кг К);  $m_{CO_2} = 10,86\%$ ;

$m_{N_2} = 60,03\%$ ;  $m_{H_2} = 1,48\%$ ;  $m_{CO} = 27,63\%$ .

15. В цилиндр газового двигателя засасывается газовая смесь, состоящая из 20 массовых долей воздуха и одной доли коксового газа.

Найти плотность и удельный объем смеси при нормальных условиях, а также парциальное давление воздуха в смеси (данные о коксовом газе приведены в табл. IV, см. приложения).

Отв.  $\rho_{см} = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $v_{см}^H = 0,883$  м<sup>3</sup>/кг;

$p_{возд} = 0,884p$

16. Определить газовую постоянную, плотность при нормальных условиях и объёмный состав смеси, если ее массовый состав следующий:  $H_2 = 8,4\%$ ;  $CH_4 = 48,7\%$ ;  $C_2H_4 = 6,9\%$ ;  $CO = 17\%$ ;  $CO_2 = 7,6\%$ ;  $O_2 = 4,7\%$ ;  $N_2 = 6,7\%$ .

Отв.  $R_{см} = 717$  Дж/(кг К);  $r_{O_2} = 0,017$ ;

$r_{N_2} = 0,028$ ,  $r_{H_2} = 0,484$ ;

$r_{CO_2} = 0,02$ ;  $\rho_H = 0,518$  Кг/м<sup>3</sup>.

17. Найти газовую постоянную, удельный объем газовой смеси и парциальные давления ее составляющих, если объёмный состав смеси следующий:  $CO_2 = 12\%$ ;  $CO = 1\%$ ;  $H_2O = 6\%$ ;  $O_2 = 7\%$ ;  $N_2 = 74\%$ , а общее давление её  $p = 100$  кПа.

Отв.  $R_{см} = 281 \text{ Дж}/(\text{кгК})$ ;  $\nu = 0,76 \text{ м}^3/\text{кг}$

$p_{\text{CO}_2} = 1200 \text{ Па}$ .

18. В резервуаре емкостью  $125 \text{ м}^3$  находится коксовый газ при давлении  $p = 0,5 \text{ МПа}$  и температуре  $t = 18^\circ \text{ С}$ . Объемный состав газа следующий:  $r_{\text{H}_2} = 0,46$ ;  $r_{\text{CH}_4} = 0,32$ ;  $r_{\text{CO}} = 0,15$ ;  $r_{\text{N}_2} = 0,07$ . После израсходования некоторого количества газа давление его понизилось до  $0,3 \text{ МПа}$ , а температура — до  $12^\circ \text{ С}$ .

Определить массу израсходованного коксового газа.

Отв.  $M = 2167 \text{ кг}$ .

19. Массовый состав смеси следующий:  $\text{CO}_2 = 18\%$ ;  $\text{O}_2 = 12\%$  и  $\text{N}_2 = 70\%$ . До какого давления нужно сжать эту смесь, находящуюся при нормальных условиях, чтобы при  $t = 180^\circ \text{ С}$   $8 \text{ кг}$  её занимали объем, равный  $4 \text{ м}^3$ .

Отв.  $p = 0,24 \text{ МПа}$ .

20. Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно, что парциальное давление углекислого газа  $p_{\text{CO}_2} = 120 \text{ кПа}$ , а давление смеси  $p_{см} = 300 \text{ кПа}$ .

Отв.  $m_{\text{CO}_2} = 0,512$ ;  $m_{\text{N}_2} = 0,488$ .

21. Газовая смесь имеет следующий массовый состав:  $\text{CO}_2 = 12\%$ ;  $\text{O}_2 = 8\%$  и  $\text{N}_2 = 80\%$ .

До какого давления нужно сжать эту смесь, находящуюся при нормальных условиях, чтобы плотность её составляла  $1,6 \text{ кг}/\text{м}^3$ ?

Отв. До  $0,213 \text{ МПа}$ .

22. Пользуясь формулой  $\mu_{ср} = 29,2741 + 0,010459t - 0,000003818t^2$ , определить истинную мольную теплоемкость кислорода при постоянном давлении для температуры  $700^\circ \text{ С}$ .

Сравнить полученное значение теплоёмкости со значением его, взятым из таблиц.

Отв.  $\mu_{ср} = 34,725 \text{ кДж}/(\text{кмоль К})$ .

23. В регенеративном подогревателе газовой турбины воздух нагревается от  $150$  до  $600^\circ \text{ С}$ .

Найти количество теплоты, сообщенное воздуху в единицу времени, если расход его составляет  $360 \text{ кг}/\text{ч}$ . Зависимость теплоёмкости от температуры принять нелинейной.

Отв.  $Q = 47,84 \text{ кДж}/\text{с}$ .

24. При испытании двигателей внутреннего сгорания широким распространением пользуются так называемые гидротормоза. Работа, двигателя при торможении превращается в теплоту трения, и для уменьшения нагрева тормозного устройства применяют водяное охлаждение. Определить часовой расход воды на охлаждение тормоза, если мощность двигателя  $N = 33 \text{ кВт}$ , начальная температура воды  $t'_в = 15^\circ \text{ С}$ , конечная  $t''_в = 60^\circ \text{ С}$ ; принять, что вся теплота трения передается охлаждающей воде.

Отв.  $M_{\text{воды}} = 632 \text{ кг}/\text{ч}$ .

25. При испытании нефтяного двигателя было найдено, что удельный расход топлива равен  $231 \text{ г}/(\text{кВт ч})$ .

Определить эффективный к. п. д. этого двигателя, если теплота сгорания топлива  $Q_{\text{H}}^p = 41\,000 \text{ кДж}/\text{кг}$  ( $9800 \text{ ккал}/\text{кг}$ ).

Отв.  $\eta_{\lambda} = 0,38$ .

26. В котельной электростанции за  $10 \text{ ч}$  работы сожжено  $100 \text{ т}$  каменного угля с теплотой сгорания  $29300 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

Найти количество выработанной электроэнергии и среднюю мощность станции, если к. п. д. процесса преобразования тепловой энергии в электрическую составляет  $20\%$ .

Отв. 162780 кВт ч,  $N_{cp} = 16278$  кВт.

27. В сосуд, содержащий 5 л воды при температуре 20 °С, помещён электронагреватель мощностью 800 Вт.

Определить, сколько времени потребуется, чтобы вода нагревалась до температуры кипения 100°С. Потерями теплоты сосуда в окружающую среду пренебречь.

Отв.  $t = 30$  мин.

28. В калориметр, содержащий 0,6 кг воды при  $t = 20$  °С, опускают стальной образец массой 0,4 кг, нагретый до 200 °С. Найти теплоемкость стали, если повышение температуры воды составило 12,5 °С. Массой собственно калориметра пренебречь.

Отв.  $c = 0,469$  кДж/(кг К).

29. Свинцовый шар падает с высоты 100 м на твердую поверхность. В результате падения кинетическая энергия шара полностью превращается в теплоту. Одна треть образовавшейся теплоты передается окружающей среде, а две трети расходуются на нагревание шара. Теплоёмкость свинца  $c = 0,126$  кДж/(кг К). Определить повышение температуры шара.

Отв.  $\Delta t = 5,2$  °С

30. Автомобиль массой 1,5 т останавливается под действием тормозов при скорости 40 км/ч.

Вычислить конечную температуру тормозов  $t_2$ , если их масса равна 15 кг, начальная температура  $t_1 = 10$  °С, а теплоемкость стали, из которой изготовлены тормозные части, равна 0,46 кДж/(кг К). Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

Отв.  $t_2 = 23,4$  °С

31. В газоходе смешиваются три газовых потока, имеющих одинаковое давление, равное 0,2 МПа. Первый поток представляет собой азот с объемным расходом  $V_1 = 8200$  м<sup>3</sup>/ч при температуре 200 °С, второй поток — двуокись углерода с расходом 7600 м<sup>3</sup>/ч при температуре 500 °С и третий поток воздуха с расходом 6400 м<sup>3</sup>/ч при температуре 800 °С.

Найти температуру газов после смешения и их объемный расход в общем газопроводе.

Отв.  $t_1 = 423$  °С;  $V = 23000$  м<sup>3</sup>/ч.

32. Продукты сгорания из газохода парового котла в количестве 400 кг/ч при температуре 900 °С должны быть охлаждены до 500 °С и направлены в сушильную установку; Газы охлаждаются смешением газового потока с потоком воздуха при температуре 20 °С. Давление в обоих газовых потоках одинаковое.

Определить часовой расход воздуха, если известно, что  $R_{газ} = R_{возд}$ . Теплоемкость продуктов сгорания принять равной теплоемкости воздуха.

Отв.  $M_{возд} = 366$  кг/ч.

33. Газ при давлении  $p_1 = 1$  МПа и температуре = 200 °С нагревается при постоянном объеме до  $t_2 = 300$  °С. Найти конечное давление газа.

Отв.  $p_2 = 1,956$  МПа.

34. В закрытом сосуде емкостью  $V = 0,3$  м<sup>3</sup> содержится 2,75 кг воздуха при давлении  $p_1 = 0,8$  МПа и температуре  $t_1 = 25$  °С.

Определить давление и удельный объем после охлаждения воздуха до 0 °С.

Отв.  $p_2 = 0,732$  МПа,  $v_2 = 0,109$  м<sup>3</sup>/кг.

35. В закрытом сосуде находится газ при разрежении  $p_1 = 2666$  Па и температуре  $t_1 = 100$  °С. Показание барометра — 10 кПа. После охлаждения газа разрежение стало равным 20 кПа.

Определить конечную температуру газа  $t_2$ .

Отв.  $t_2 = -40,4$  °С.

36. До какой температуры  $t_2$  нужно нагреть газ при  $v = \text{const}$ , если начальное давление газа  $p_1 = 0,2$  МПа и температура  $t_1 = 20$  °С, а конечное давление  $p_2 = 0,5$  МПа.

Отв. До  $t_2 = 459,5$  °С.

37. В калориметрической бомбе емкостью  $300 \text{ см}^3$  находится кислород при давлении  $p_1 = 2,6 \text{ МПа}$  и температуре  $t_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Найти температуру кислорода  $t_2$  после подвода к нему теплоты в количестве  $4,19 \text{ кДж}$ , считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

Отв.  $t_2 = 593 \text{ }^\circ\text{C}$ .

38.  $0,2 \text{ м}^3$  воздуха с начальной температурой  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  подогревают в цилиндре диаметром  $0,5 \text{ м}$  при постоянном давлении  $p = 0,2 \text{ МПа}$  до температуры  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определить работу расширения перемещение поршня и количество затраченной теплоты, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

Отв.  $L=25000 \text{ Дж}$ ;  $h = 0,64 \text{ м}$ ;  $Q = 88,3 \text{ кДж}$ .

39. Для использования отходящих газов двигателя мощностью  $N = 2500 \text{ кВт}$  установлен подогреватель, через который проходит  $60000 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при температуре  $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 0,101 \text{ МПа}$ . Температура воздуха после подогревателя равна  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определить, какая часть теплоты топлива использована в подогревателе? К. п. д. двигателя принять равным  $0,33$ . Зависимость теплоемкости от температуры считать линейной.

Отв.  $17,4\%$ .

40. К  $1 \text{ м}^3$  воздуха, находящемуся в цилиндре со свободно движущимся нагруженным поршнем, подводится при постоянном давлении  $335 \text{ кДж}$  теплоты. Объем воздуха при этом увеличивается до  $1,5 \text{ м}^3$ . Начальная температура воздуха равна  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Какая устанавливается в цилиндре температура, и какова работа расширения? Зависимость теплоемкости от температуры считать линейной.

Отв.  $t_2 = 159 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L = 95,1 \text{ кДж}$ .

41.  $2 \text{ м}^3$  воздуха с начальной температурой  $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  расширяются при постоянном давлении до  $3 \text{ м}^3$  вследствие сообщения газу  $837 \text{ кДж}$  теплоты.

Определить конечную температуру, давление газа в процессе и работу расширения.

Отв.  $t_2 = 159 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p = 0,24 \text{ МПа}$ ;  $L = 239 \text{ кДж}$ .

42. Отходящие газы котельной установки проходят через воздухоподогреватель. Начальная температура газов  $t_{г1} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ , конечная  $t_{г2} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$ ; расход газов равен  $1000 \text{ кг/ч}$ . Начальная температура воздуха составляет  $t_{в1} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , а расход его равен  $910 \text{ кг/ч}$ .

Определить температуру нагретого воздуха  $t_{в2}$ , если потери воздухоподогревателя составляют  $4\%$ .

Средние теплоемкости ( $c_{pm}$ ) для отходящих из котла газов и воздуха принять соответственно равными  $1,0467$  и  $1,0048 \text{ кДж/(кг К)}$ .

Отв.  $t_{в2} = 168,9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

43. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания находится воздух при температуре  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вследствие подвода теплоты, конечный объем воздуха увеличился в  $2,2$  раза. В процессе расширения воздуха давление в цилиндре практически оставалось постоянным.

Найти конечную температуру воздуха и удельные количества теплоты и работы, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Отв.  $t_2 = 1428 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $q_p = 1088,7 \text{ кДж/кг}$ ;  $l = 266,3 \text{ кДж/кг}$ .

44. Воздух, выходящий из компрессора с температурой  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждается в охладителе при постоянном давлении  $p = 0,5 \text{ МПа}$  до температуры  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этих параметрах производительность компрессора: равна  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Определить часовой расход охлаждающей воды, если она нагревается на  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Отв.  $733 \text{ л/ч}$ .

45. Газовая смесь, имеющая следующий массовый состав  $\text{CO}_2 = 14\%$ ;  $\text{O}_2 = 6\%$ ;  $\text{N}_2 = 75\%$   $\text{H}_2\text{O} = 5\%$  нагревается при постоянном давлении от  $t_1 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определить количество теплоты, подведенное к  $1 \text{ кг}$  газовой смеси. Зависимость теплоемкости от температуры принять нелинейной.

Отв.  $q_p = 1841 \text{ кДж/кг}$ .

46. При сжигании в топке парового котла каменного угля объем продуктов сгорания составляет  $V_H = 11,025 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Анализ продуктов сгорания показывает следующий их объёмный состав  $\text{CO}_2 = 10,3\%$ ;  $\text{O}_2 = 7,8\%$ ;  $\text{N}_2 = 75,3\%$ ;  $\text{H}_2\text{O} = 6,6\%$ .

Считая количество и состав продуктов сгорания неизменным по всему газовому тракту парового котла, а зависимость теплоемкости от температуры нелинейной определить количество теплоты, теряемой с уходящими газами (на 1 кг топлива), если на выходе из котла температура газов равна  $180^\circ\text{C}$ , а температура окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ . Давление продуктов сгорания принято равным атмосферному.

Отв.  $q_{yx} = 2418$  кДж/кг.

47. Воздух при давлении  $p_1 = 0,1$  МПа и температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  сжимается в компрессоре до  $p_2 = 3,5$  МПа.

Определить величину работы  $L$  затраченной на сжатие 100 кг воздуха, если воздух сжимается изотермически.

Отв.  $L = -30576$  кДж.

48. Для осуществления изотермического сжатия 0,8 кг воздуха при  $p_1 = 0,1$  МПа и  $t = 25^\circ\text{C}$  затрачена работа в 100 кДж.

Найти давление  $p_2$  сжатого воздуха и количество теплоты, которое необходимо при этом отвести от газа?

Отв.  $p_2 = 0,322$  МПа;  $Q = -90$  кДж.

49. Воздуху в количестве  $0,1$  м<sup>3</sup> при  $p_1 = 1$  МПа и  $t_1 = 200^\circ\text{C}$  сообщается 125 кДж теплоты; температура его при этом не изменяется.

Определить конечное давление  $p_2$ , конечный объем  $V_2$  и получаемую работу  $L$ .

Отв.  $p_2 = 0,286$  МПа;  $V_2 = 0,35$  м<sup>3</sup>;  $L = 125$  кДж.

50. При изотермическом сжатии  $0,3$  м<sup>3</sup> воздуха с начальными параметрами  $p_1 = 1$  МПа и  $t_1 = 300^\circ\text{C}$  отводится 500 кДж теплоты.

Определить конечный объем  $V_2$  и конечное давление  $p_2$ .

Отв.  $V_2 = 0,057$  м<sup>3</sup>;  $p_2 = 5,26$  МПа.

51. При изотермическом сжатии  $2,1$  м<sup>3</sup> азота, взятого при  $p_1 = 0,1$  МПа, от газа отводится 335 кДж теплоты.

Найти конечный объем  $V_2$ , конечное давление  $p_2$  затраченную работу  $L$ .

Отв.  $V_2 = 0,426$  м<sup>3</sup>;  $p_2 = 0,49$  МПа;  $L = -335$  кДж.

52. В воздушный двигатель подается  $0,0139$  м<sup>3</sup>/с воздуха при  $p_1 = 0,5$  МПа и  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ .

Определить мощность, полученную при изотермическом расширении воздуха в машине, если  $p_2 = 0,1$  МПа.

Отв.  $L = 11,188$  кВт.

53.  $0,5$  м<sup>3</sup> кислорода при давлении  $p_1 = 1$  МПа и температуре  $t_1 = 30^\circ\text{C}$  сжимаются изотермически до объема в 5 раз меньше начального.

Определить объём и давление кислорода после сжатия, работу сжатия и количество теплоты, отнятого у газа.

Отв.  $p_2 = 5$  МПа;  $V_2 = 0,1$  м<sup>3</sup>;  $L = -805$  кДж.

54. 10 кг воздуха при давлении  $p_1 = 0,12$  МПа и температуре  $t_1 = 30^\circ\text{C}$  сжимаются изотермически; при этом в результате сжатия объём уменьшается в 2,5 раза.

Определить начальные и конечные параметры, количество теплоты, работу и изменение внутренней энергии.

Отв.  $V_1 = 7,25$  м<sup>3</sup>;  $V_2 = 2,9$  м<sup>3</sup>;  $p_2 = 0,3$  МПа;

$Q = L = -797$  кДж;  $\Delta U = 0$ .

55. 1 кг воздуха при температуре  $t_1 = 15^\circ\text{C}$  и начальном давлении  $p_1 = 0,1$  МПа адиабатно сжимается до  $0,8$  МПа.

Найти работу, конечный объём и конечную температуру.

Отв.  $t_2 = 248^\circ\text{C}$ ;  $v_2 = 0,187$  м<sup>3</sup>/кг;  $L = -167,2$  кДж/кг.

56. Воздух при давлении  $p_1 = 0,45$  МПа, расширяясь адиабатно до  $0,12$  МПа, охлаждается до  $t_2 = -45^\circ\text{C}$ .

Определить начальную температуру и работу совершённую 1 кг воздуха.



Отв.  $t_1 = 61 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $l = 75,3 \text{ кДж/кг}$ .

57. 1 кг воздуха, занимающий объем  $v_i = 0,0887 \text{ м}^3/\text{кг}$  при  $p_i = 1 \text{ МПа}$ , расширяется до 10-кратного объема.

Получить конечное давление и работу, совершенную воздухом, в изотермическом и адиабатном процессах.

Отв. 1)  $T = \text{const}$ ;  $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $l = 204 \text{ кДж/кг}$ ;

2)  $dQ = 0$ ;  $p_2 = 0,04 \text{ МПа}$ ;  $l = 133,5 \text{ кДж/кг}$ .

58. Воздух при температуре  $t_1 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$  адиабатно охлаждается до  $t_2 = -55 \text{ }^\circ\text{C}$ ; давление при этом падает до  $0,1 \text{ МПа}$ .

Определить начальное давление и работу расширения 1 кг воздуха.

Отв.  $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$ ;  $l = 57,4 \text{ кДж/кг}$ .

59.  $0,8 \text{ м}^3$  углекислого газа при температуре  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $p_i = 0,7 \text{ МПа}$  адиабатно расширяются до трехкратного объема.

Определить конечные параметры  $p_2$  и  $t_2$  и величину полученной работы  $L$  (к принять равным 1,28).

Отв.  $p_2 = 0,17 \text{ МПа}$ ;  $t_2 = -57,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L = 535,7 \text{ кДж}$ .

60. До какого давления нужно адиабатно сжать смесь воздуха и паров бензина, чтобы в результате повышения температуры наступило самовоспламенение смеси?

Начальные параметры:  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ,  $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура воспламенения смеси  $t_2 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $k = 1,39$ .

Отв.  $p_2 = 4,2 \text{ МПа}$ .

61. Работа, затраченная на адиабатное сжатие 3 кг воздуха, составляет 471 кДж. Начальное состояние воздуха характеризуется параметрами:  $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ .

Определить конечную температуру и изменение внутренней энергии.

Отв.  $t_2 = 234 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta U = -471 \text{ кДж}$ .

62. В цилиндре газового двигателя находится газовая смесь при давлении  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$  и температуре  $t_1 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Объем камеры сжатия двигателя составляет 16% от объема, описываемого поршнем.

Определить конечное давление и конечную температуру газовой смеси при адиабатном ее сжатии. Показатель адиабаты принять равным 1,38.

Отв.  $p_2 = 1,54 \text{ МПа}$ ;  $t_2 = 412 \text{ }^\circ\text{C}$ .

63. В двигателе с воспламенением, от сжатия воздух сжимается таким образом, что его температура поднимается выше температуры воспламенения нефти.

Какое минимальное давление должен иметь воздух в конце процесса сжатия, если температура воспламенения нефти равна  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Во сколько раз при этом уменьшится объем воздуха?

Начальное давление воздуха.  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ , начальная температура воздуха  $t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сжатие воздуха считать адиабатным.

Отв.  $p_2 = 4,9 \text{ МПа}$ ;  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 16$ .

64. Объем воздуха при адиабатном сжатии в цилиндре двигателя внутреннего сгорания уменьшается в 13 раз. Начальная температура воздуха перед сжатием  $t_1 = 770 \text{ }^\circ\text{C}$ , а начальное давление  $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ .

Определить температуру и давление воздуха после сжатия.

Отв.  $t_2 = 7030 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p_2 = 3,27 \text{ МПа}$ .

65. 2 кг воздуха при давлении  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  адиабатно сжимаются в цилиндре компрессора до давления  $p_3 = 0,7 \text{ МПа}$ .

Найти конечную температуру сжатого воздуха и работу, затраченную на сжатие.

Отв.  $t_2 = 229 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L = -307,1 \text{ кДж}$ .

66. 1  $\text{м}^3$  воздуха при давлении  $0,095 \text{ МПа}$  и начальной температуре  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  сжимается по адиабате до  $0,38 \text{ МПа}$ .

Определить температуру и объем воздуха в конце сжатия и работу, затраченную на сжатие.

Отв.  $t_2 = 148 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_2 = 0,373 \text{ м}^3$ ,  $L = -117,5 \text{ кДж}$ .

67. Воздух при температуре  $127 \text{ }^\circ\text{C}$  изотермически сжимается так, что объем его становится равным  $1/4$  начального, а затем расширяется по адиабате до начального давления.

Найти температуру воздуха в конце адиабатного расширения. Представить процесс расширения и сжатия воздуха в диаграмме  $pV$ .

Отв.  $t_2 = -4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

68.  $1 \text{ кг}$  воздуха при температуре  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$  сжимается адиабатно до объема, составляющего  $1/5$  начального, а затем расширяется изотермически до первоначального объема.

Определить работу, произведенную воздухом в результате обоих процессов.

Отв.  $l = 67 \text{ кДж/кг}$ .

69. Воздух при температуре  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  должен быть охлажден посредством адиабатного расширения до температуры  $t_2 = -60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Конечное давление воздуха при этом должно составлять  $0,1 \text{ МПа}$ .

Определить начальное давление воздуха  $p_1$  и удельную работу расширения  $l$ .

Отв.  $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$ ;  $l = 57,8 \text{ кДж/кг}$ .

70. Воздух в количестве  $3 \text{ м}^3$  расширяется политропно от  $p_1 = 0,54 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $p_2 = 0,15 \text{ МПа}$ . Объем, занимаемый при этом воздухом, становится равным  $10 \text{ м}^3$ .

Найти показатель политропы, конечную температуру, полученную работу и количество подведенной теплоты.

Отв.  $n = 1,064$ ;  $t_2 = 21,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L = 1875 \text{ кДж}$ ;  $Q = 1575 \text{ кДж}$ .

71. В цилиндре двигателя с изобарным подводом теплоты сжимается воздух по политропе с показателем  $n = 1,33$ .

Определить температуру и давление воздуха в конце сжатия, если степень сжатия ( $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ ) равна  $14$ ,  $t_1 = 77 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ .

Отв.  $t_2 = 564 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p_2 = 3,39 \text{ МПа}$ .

72. В процессе политропного сжатия затрачивается работа, равная  $195 \text{ кДж}$ , причем в одном случае от газа отводится  $250 \text{ кДж}$ , а в другом - газу сообщается  $42 \text{ кДж}$ .

Определить показатели обеих политроп.

Отв. 1)  $n = 0,9$ ; 2)  $n = 1,49$ .

73.  $1,5 \text{ м}^3$  воздуха сжимаются от  $0,1 \text{ МПа}$  и  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $0,7 \text{ МПа}$ ; конечная температура при этом равна  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Какое количество теплоты требуется отвести, какую работу затратить и каков показатель политропы?

Отв.  $Q = -183 \text{ кДж}$ ;  $L = -290 \text{ кДж}$ ;  $n = 1,147$ .

74. Горючая смесь в цилиндре двигателя, имеющая температуру  $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$  и давление  $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ ; подвергается сжатию по политропе с показателем  $n = 1,33$ .

Определить конечное давление и степень сжатия в момент, когда температура достигнет  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Отв.  $\varepsilon = 5,9$ ;  $p_2 = 0,95 \text{ МПа}$ .

75. В процессе политропного расширения воздуху сообщается  $83,7 \text{ кДж}$  теплоты.

Найти изменение внутренней энергии воздуха и произведенную работу, если объем воздуха увеличился в  $10$  раз, а давление его уменьшилось в  $8$  раз.

Отв.  $\Delta U = 16,7 \text{ кДж}$ ;  $L = 6702 \text{ кДж}$ .

76. Воздух расширяется по политропе, совершая при этом работу, равную  $270 \text{ кДж}$ , причем в одном случае ему сообщается  $420 \text{ кДж}$  теплоты, а в другом от воздуха отводится  $92 \text{ кДж}$  теплоты

Определить в обоих случаях показатели политропы.

Отв. 1)  $n = 0,7$ ; 2)  $n = 1,88$ .

77. Смесь коксового газа с воздухом сжимается по политропе с показателем  $n = 1,38$ ; начальное давление  $p_1 = 0,1$  МПа, начальная температура  $t_1 = 50$  °С.

Определить конечную температуру и давление, если степень сжатия  $\varepsilon = 4$ .

Отв.  $t_2 = 276$  °С;  $p_2 = 0,68$  МПа.

78. В газовом двигателе политропно сжимается горючая смесь [ $R=340$  Дж/(кг·К)] до температуры 450 °С. Начальное давление смеси  $p_1=0,09$  МПа, начальная температура  $t_1=80$  °С. Показатель политропы  $n=1,35$ .

Найти работу сжатия и степень сжатия.

Отв.  $l = -360$  кДж/кг;  $\varepsilon = 7,82$ .

79.  $2\text{ м}^3$  воздуха при давлении  $p_1 = 0,2$  МПа и температуре  $t_1 = 400$  °С сжимаются до давления  $p_2 = 1,1$  МПа и объема  $V_2 = 0,5$  м<sup>3</sup>.

Определить показатель политропы, работу сжатия и количество отведенной теплоты.

Отв.  $n = 1,23$ ;  $L = -652$  кДж;  $Q = -272$  кДж.

80. Находящийся в цилиндре двигателя внутреннего сгорания воздух при давлении  $p_1 = 0,09$  МПа и  $t_1 = 100$  °С должен быть так сжат, чтобы конечная температура его поднялась до 650 °С.

Определить, какое должно быть отношение объема камеры сжатия двигателя к объему, описываемому поршнем, если сжатие происходит по политропе с показателем  $n = 1,3$ .

Отв.  $V_2=0,0512V_1$

81. 1 кг воздуха при давлении  $p_1 = 0,4$  МПа и температуре  $t_1 = 100$  °С расширяется до давления  $p_2 = 0,1$  МПа.

Найти конечную температуру, количество теплоты и совершенную работу, если расширение происходит:

а) изохорно, б) изотермически, в) адиабатно и г) политропно с показателем  $m = 1,2$ .

Отв. а)  $t_2 = -180$  °С;  $l = 0$ ;  $q = -202$  кДж/кг;

б)  $t_2 = t_1$ ,  $l = 148,2$  кДж/кг;  $q = 148,2$  кДж/кг;

в)  $t_2 = -22$  °С;  $l = 87,5$  кДж/кг;  $q = 0$ ;

г)  $t_2 = 24$  °С;  $l = 10,9$  кДж/кг,  $q = 54,5$  кДж/кг.

82. Найти приращение энтропии 3 кг воздуха; а) при нагревании его по изобаре от 0 до 400 °С; б) при нагревании его по изохоре от 0° до 880 °С; в) при изотермическом расширении с увеличением объема в 16 раз. Теплоемкость считать постоянной.

Отв. а)  $\Delta s_p = 2,74$  кДж/К.; б)  $\Delta s_v = 3,13$  кДж/К;

в)  $\Delta s_r = 2,36$  кДж/К.

83. 1 кг воздуха сжимается по политропе от 1 МПа и 20 °С до 0,8 МПа при  $n = 12$ .

Определить конечную температуру, изменение энтропии, количество отведенной теплоты и затраченную работу.

Отв.  $t_2 = 141$  °С;  $\Delta s = 0,2445$  кДж/(кг. К);

$q = -87,1$  кДж/кг;  $l = 173,0$  кДж/кг.

84. В сосуде объемом 400 л заключен воздух при давлении  $p_1 = 0,1$  МПа и температуре  $p_1 = -40$  °С. Параметры среды:  $p_0 = 0,1$  МПа и  $t_0 = 200$  °С.

Определить максимальную полезную работу, которую может произвести воздух, заключенный в сосуде. Представить процесс в диаграммах  $p, v$  и  $T, s$ .

Отв.  $L_{\text{max(полезн)}} = 4600$  Дж.

85. 1 кг воздуха совершает цикл Карно между температурами  $t_1 = 327$  °С и  $t_2 = 27$  °С; наивысшее давление при этом составляет 2 МПа, а наинизшее – 0,12 МПа.

Определить параметры состояния воздуха в характерных точках, работу, термический к. п. д. цикла и количества подведенной и отведенной теплоты.

Отв.  $v_1 = 0,861$  м<sup>3</sup>/кг;  $v_2 = 0,127$  м<sup>3</sup>/кг;  $v_3 = 0,717$  м<sup>3</sup>/кг;

$v_4 = 0,486$  м<sup>3</sup>/кг;  $p_2 = 1,36$  МПа;  $p_4 = 0,18$  МПа;  $\eta_t = 0,5$ ;

$l_0 = 33,7$  кДж/кг;  $q_1 = 67,4$  кДж/кг,  $q_2 = 33,7$  кДж/кг.

86. 1 кг воздуха совершает цикл Карно в пределах температур  $t_1 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Наивысшее давление  $p_1 = 1 \text{ МПа}$ , наимизшее –  $p_3 = 0,12 \text{ МПа}$ .

Определить параметры состояния воздуха в характерных точках, количество подведённой и отведённой теплоты, работу и термический к.п.д. цикла.

Отв.  $v_1 = 0,15 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_2 = 0,185 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_3 = 0,725 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  
 $v_4 = 0,59 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $p_2 = 0,81 \text{ МПа}$ ;  $p_4 = 0,15 \text{ МПа}$ ;  $\eta_t = 0,42$ ;  
 $l_0 = 18,1 \text{ кДж/кг}$ ;  $q_1 = 31,1 \text{ кДж/кг}$ ,  $q_2 = 18 \text{ кДж/кг}$ .

87. Поршневой двигатель работает на воздухе по циклу с подводом теплоты при  $v = \text{const}$ . Начальное состояние воздуха:  $p_1 = 0,785 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 4,6$ . Количество подведенной теплоты составляет  $100,5 \text{ кДж/кг}$ .

Найти термический к. п. д. двигателя и его мощность, если диаметр цилиндра  $d = 0,24 \text{ м}$ , ход поршня  $S = 0,34 \text{ м}$ , число оборотов  $n = 21 \text{ рад/с}$  ( $200 \text{ об/мин}$ ) и за каждые два оборота совершается один цикл.

Отв.  $\eta_t = 0,457$ ;  $N = 14,5 \text{ кВт}$ .

88. Температура воспламенения топлива, подаваемого в цилиндр двигателя с изобарным подводом теплоты, равна  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определить минимально необходимое значение степени сжатия  $\varepsilon$ , если начальная температура воздуха  $t_1 = 77 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сжатие считать адиабатным,  $k = 1,4$ .

Отв.  $\varepsilon = 16,4$ .

89. Для цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  определить параметры в характерных точках, полезную работу, количество подведенной и отведенной теплоты и термический к. п. д., если дано:  $p_1 = 100 \text{ кПа}$ ,  $t_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon = 12$ ;  $k = 1,4$ ;  $\rho = 1,67$ . Рабочее тело — воздух. Теплоёмкость принять постоянной.

Отв.  $v_1 = 0,98 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_2 = 0,082 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_3 = 0,14 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  
 $p_2 = 3,24 \text{ МПа}$ ;  $p_4 = 0,2 \text{ МПа}$ ;  $q_1 = 627 \text{ кДж/кг}$ ;  
 $q_2 = 255 \text{ кДж/кг}$ ;  $l_0 = 372 \text{ кДж/кг}$ ;  $\eta_t = 0,593$ .

90. Найти давление и объем в характерных точках цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ , а также термический к. п. д. и полезную работу, если дано:  $p_1 = 100 \text{ кПа}$ ,  $\varepsilon = 14$ ;  $\rho = 1,5$ ;  $k = 1,4$ .

Диаметр цилиндра  $d = 0,3 \text{ м}$ , ход поршня  $S = 0,45 \text{ м}$ . Рабочее тело — воздух. Теплоёмкость считать постоянной.

Отв.  $V_1 = V_4 = 0,03416 \text{ м}^3$ ;  $V_2 = 0,00244 \text{ м}^3$ ;  $V_3 = 0,00366 \text{ м}^3$ ;  
 $p_2 = 4,02 \text{ МПа}$ ;  $p_4 = 0,176 \text{ МПа}$ ,  $\eta_t = 0,65$ .

91. В цикле с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  начальное давление воздуха  $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ , температура  $t_1 = 47 \text{ }^\circ\text{C}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 12$ , степень предварительного расширения  $\rho = 2$  и  $k = 1,4$ .

Определить параметры в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, работу цикла и его термический к. п. д. Рабочее тело — воздух. Теплоёмкость принять постоянной.

Отв.  $V_2 = 0,0832 \text{ м}^3$ ;  $V_3 = 0,166 \text{ м}^3$ ;  $p_2 = 2,92 \text{ МПа}$ ;  
 $p_4 = 0,24 \text{ МПа}$ ;  $T_2 = 865 \text{ К}$ ;  $T_3 = 1730 \text{ К}$ ;  $T_4 = 845 \text{ К}$ ;  
 $L_0 = 478 \text{ кДж}$ ;  $Q_1 = 842 \text{ кДж}$ ;  $Q_2 = 364 \text{ кДж}$ ;  $\eta_t = 0,565$ .

92. Рабочее тело поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты обладает свойствами воздуха. Известны начальные параметры  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ,  $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  и следующие характеристики цикла;  $\varepsilon = 7$ ,  $\lambda = 2,0$  и  $\rho = 1,2$ .

Определить параметры в характерных для цикла точках, количество подведенной теплоты, полезную работу и термический к. п. д. цикла. Рабочее тело—воздух. Теплоемкость считать постоянной.

Отв.  $v_1 = 0,870 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_2 = 0,124 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_4 = 0,149 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  
 $p_2 = 1,52 \text{ МПа}$ ;  $p_3 = 3,05 \text{ МПа}$ ;  $p_5 = 0,26 \text{ МПа}$ ;  
 $t_2 = 387 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_3 = 1047 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_4 = 1311 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $t_5 = 511 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $q_1 = 744,2 \text{ кДж/кг}$ ;  $q_2 = 348,2 \text{ кДж/кг}$ ;  
 $l_0 = 396 \text{ кДж/кг}$ ;  $\eta_t = 0,532$ .

93. Для идеального цикла газовой турбины с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  определить параметры в характерных точках, полезную работу, термический к. п. д., количество подведенной и отведенной теплоты. Дано:  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_3 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\lambda = p_2/p_1 = 8$ . Рабочее тело — воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Отв.  $v_1 = 0,831 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_2 = 0,189 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_3 = 0,313 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  
 $v_4 = 1,38 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $t_2 = 254 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p_2 = p_3 = 0,8 \text{ МПа}$ ;  
 $q_1 = 350 \text{ кДж/кг}$ ;  $q_2 = 192,2 \text{ кДж/кг}$ ;  $\eta_t = 0,45$ .

94. Газовая турбина работает по циклу с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ . Известны параметры;  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_4 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ , а также степень увеличения давления  $\lambda = 8$ . Рабочее тело — воздух.

Определить параметры в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, работу, совершаемую за цикл, и термический к. п. д. Теплоемкость считать постоянной.

Отв.  $v_1 = 0,9 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $p_2 = 0,8 \text{ МПа}$ ;  $v_2 = 0,204 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  
 $t_2 = 297 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v_3 = 0,438 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $t_3 = 948 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $v_4 = 1,93 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $q_1 = 659 \text{ кДж/кг}$ ;  
 $q_2 = 364 \text{ кДж/кг}$ ;  $l_0 = 296 \text{ кДж/кг}$ ;  $\eta_t = 0,45$ .

95. Газовая турбина работает по циклу с подводом тепла при  $p = \text{const}$  без регенерации. Известны степень повышения давления в цикле  $\lambda = p_2/p_1 = 7$  и степень предварительного расширения  $\rho = v_3/v_2 = 2,4$ . Рабочее тело — воздух.

Найти термический к. п. д. этого цикла и сравнить его с циклом поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  при одинаковых степенях сжатия  $\epsilon$  и при одинаковых степенях расширения  $\rho$ . Представить цикл в диаграмме Ts.

Отв.  $\eta_{t \text{ ГТ}} = 0,426$ ;  $\eta_{t \text{ ПД}} = 0,297$ .

96. Газотурбинная установка работает с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  и с полной регенерацией. Известны параметры:  $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_5 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ , а также  $\lambda = p_2/p_1 = 4$ . Рабочее тело — воздух.

Определить термический к. п. д. этого цикла. Изобразить цикл в диаграмме Ts.

Отв.  $\eta_{t \text{ ре}} = 0,585$ .

97. Компрессор всасывает  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при  $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  и сжимает его до  $p_2 = 0,8 \text{ МПа}$ .

Какое количество воды нужно пропускать через рубашку компрессора в час, если сжатие происходит политропно с показателем  $n = 1,2$  и температура воды повышается на  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

Отв.  $390 \text{ л/ч}$ .

98. Компрессор всасывает  $120 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$  и сжимает его до  $p_2 = 1,2 \text{ МПа}$ .

Определить; а) температуру сжатого воздуха при выходе из компрессора; б) объем сжатого воздуха; в) работу и мощность, расходуемые на сжатие воздуха.

Расчет произвести для изотермического, адиабатного и политропного сжатия воздуха. Показатель политропы принять равным 1,3.

Отв. а)  $t_2 = t_1$ ;  $V_2 = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $L_0 = 29,8 \text{ МДж/ч}$ ;  $N = 8,3 \text{ кВт}$ ;  
б)  $t_2 = 339 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_2 = 20,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $L_0 = 43,4 \text{ МДж/ч}$ ;  $N = 12 \text{ кВт}$ ;  
в)  $t_2 = 257 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_2 = 17,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $L_0 = 40,2 \text{ МДж/ч}$ ;  $N = 11,2 \text{ кВт}$ .

99. Компрессор всасывает в минуту  $100 \text{ м}^3$  водорода при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $0,1 \text{ МПа}$  и сжимает его до  $0,8 \text{ МПа}$ .

Определить потребную мощность двигателя для привода компрессора при адиабатном сжатии, если эффективный к.п.д. компрессора  $\eta_t = 0,7$ .

Отв.  $N = 678 \text{ кВт}$ .

100. Приемные испытания компрессоров обычно проводятся не на газе, на котором должен работать компрессор, а на воздухе.

Для условий предыдущей задачи найти потребную мощность двигателя при работе компрессора на воздухе. Сравнить полученные результаты.

Отв.  $N = 678$  кВт.

101. Через пароперегреватель парового котла проходит 5000 кг пара в час. Степень сухости пара до пароперегревателя  $x = 0,99$ , а давление  $p = 10$  МПа. Температура пара после пароперегревателя  $t = 550$  °С.

Определить количество теплоты, воспринятой пароперегревателем, принимая его к.п.д. равным 0,984.

Отв.  $Q = 4,0$  ГДж/ч.

102. Паровой котел имеет паропроизводительность 20 кг/с. Рабочее давление пара  $p = 4$  МПа, а температура его  $t = 440$  °С. Теплота сгорания топлива равна 12600 кДж/кг; температура питательной воды  $t_{пв} = 145$  °С.

Определить к.п.д. котла, если расход топлива составляет 4,89 кг/с.

Отв.  $\eta_k = 0,875$ .

103. Паровые котлы высокого давления Таганрогского завода «Красный котельщик» имеют паропроизводительность 640 т/ч при давлении пара  $p = 132$  МПа и температуре  $t = 570$  °С. Температура питательной воды  $t_{в} = 230$  °С. Теплота сгорания топлива составляет 25120 кДж/кг.

Чему равен часовой расход топлива, если к.п.д. парового котла составляет 87,6 %?

Отв. 73364 кг/ч.

104. Паровая машина с приводом для заводских целей, созданная талантливым русским ученым изобретателем И. И. Ползуновым, имела следующие размеры: диаметр цилиндра 0,81 м и ход поршня 2,56 м. Давление пара, поступающего в машину, составляло 0,118 МПа.

Считая пар, поступающий в машину, влажным насыщенным со степенью сухости  $x = 0,97$ , определить массу пара в цилиндре машины.

Отв.  $M = 0,935$  кг.

105. Найти диаметр паропровода, по которому протекает пар при давлении  $p = 1,2$  МПа и температуре  $t = 260$  °С. Расход пара  $M = 350$  кг/ч, скорость пара  $w = 50$  м/с.

Отв.  $d = 22,1$  мм.

106. Определить диаметр паропровода, по которому протекает пар при давлении  $p = 1,8$  МПа. Расход пара  $M = 1,11$  кг/с, скорость пара  $w = 20$  м/с. Произвести расчет для трех случаев; 1)  $x_1 = 0,9$ ; 2)  $x_1 = 1$ ; 3)  $t = 340$  °С.

Отв. 1)  $d = 84$  мм; 2)  $d = 88$  мм; 3)  $d = 104$  мм.

107. В паровом котле объемом  $V = 15$  м<sup>3</sup> находятся 4000 кг воды и пара при давлении 4 МПа и температуре насыщения.

Определить массы воды и сухого насыщенного пара, находящиеся в котле.

Отв.  $M_{п} = 206$  кг;  $M_{в} = 3794$  кг.

108. В паровом котле находятся 25 м<sup>3</sup> воды при давлении 3,5 МПа и температуре насыщения.

Какое количество пара по массе и объему образовалось бы в котле, если бы давление в нем упало до 0,1 МПа?

Отв.  $M = 5651$  кг;  $V = 9607$  м<sup>3</sup>.

109. В пароперегреватель парового котла поступает пар в количестве  $D = 20$  т/ч при давлении  $p = 4$  МПа и со степенью сухости  $x = 0,98$ . Количество теплоты, сообщенной пару в пароперегревателе, составляет 11313 МДж/ч.

Определить температуру пара на выходе из пароперегревателя. Потерями давления в нем пренебречь, считая процесс изобарным.

Отв.  $t_{не} = 450$  °С.

110. К 1 кг пара при давлении 0,8 МПа и степени влажности 70% подводится при постоянном давлении 820 кДж теплоты.

Определить степень сухости, объём и энтальпию пара в конечном состоянии.

Отв.  $x_2 = 0,7$ ;  $v_2 = 0,1682$  м<sup>3</sup>/кг;  $i_2 = 2154,4$  кДж/кг.

111. 1 кг влажного пара при давлении 1,8 МПа и влажности 3% перегревается при постоянном давлении до  $t = 400$  °С.  
 Определить работу расширения, количество сообщенной теплоты и изменение внутренней энергии.  
 Отв.  $l = 110,2$  кДж/кг;  $q = 500$  кДж/кг;  $\Delta u = 390$  кДж/кг.
112. 1 м<sup>3</sup> водяного пара при давлении  $p_1 = 1$  МПа и  $x = 0,65$  расширяется при  $p = \text{const}$  до тех пор, пока его удельный объем не станет равным  $v_2 = 0,19$  м<sup>3</sup>/кг.  
 Найти конечные параметры, количество теплоты, участвующей в процессе, работу и изменение внутренней энергии.  
 Отв.  $x_2 = 0,96$ ;  $Q = 5196$  кДж;  $L = 581,4$  кДж;  $\Delta U = 4614,6$  кДж.
113. 1,2 м<sup>3</sup> влажного пара со степенью сухости  $x = 0,8$  расширяется адиабатно от 0,4 до 0,06 МПа.  
 Определить степень сухости, объем пара в конце расширения и произведенную им работу.  
 Отв.  $x = 74$  %;  $V_2 = 6,56$  м<sup>3</sup>;  $L = 743$  кДж.
114. Найти по диаграмме *is* адиабатный перепад теплоты и конечное состояние при расширении пара от 1,4 МПа и 300 °С до 0,006 МПа.  
 Отв.  $h = 900$  кДж/кг;  $x = 0,825$ .
115. Пар с начальным давлением  $p_1 = 2$  МПа и температурой  $t_1 = 300$  °С расширяется адиабатно до  $p_2 = 0,004$  МПа.  
 Определить начальные и конечные параметры и работу расширения 1 кг пара.  
 Отв.  $l_1 = 3019$  кДж/кг;  $v_1 = 0,1255$  м<sup>3</sup>/кг;  $i_2 = 2036$  кДж/кг;  $x = 0,787$ ;  
 $l = 842$  кДж/кг.
116. Пар с начальным давлением  $p_1 = 1,8$  МПа и температурой  $t_1 = 340$  °С расширяется адиабатно до давления  $p_2 = 0,006$  МПа.  
 Определить работу расширения и конечное состояние пара.  
 Отв.  $l = 815$  кДж/кг;  $p_2 = 19,5$  м<sup>3</sup>/кг;  $x_2 = 0,825$ .
117. 1 кг пара при давлении  $p_1 = 5$  МПа и температуре  $t_1 = 400$  °С расширяется по адиабате до давления 0,05 МПа.  
 Найти, пользуясь диаграммой *is*-, температуру и степень сухости для конечного состояния пара, а также адиабатный перепад теплоты.  
 Отв.  $t_2 = 80$  °С;  $x_2 = 0,853$ ;  $h_0 = 888$  кДж/кг.
118. 5 кг водяного пара, параметры которого  $p_1 = 2$  МПа и  $V_1 = 0,5$  м<sup>3</sup>, расширяются адиабатно до давления  $p_2 = 0,2$  МПа.  
 Определить конечный объем пара, степень сухости его и произведенную им работу.  
 Отв.  $V_2 = 3,95$  м<sup>3</sup>;  $x_2 = 0,852$ ;  $L = 1780$  кДж.
119. Определить теоретическую скорость истечения пара из котла в атмосферу. Давление в котле  $p = 0,15$  МПа и  $x = 0,95$ , Процесс расширения пара считать адиабатным.  
 Отв.  $c = 360$  м/с.
120. Влажный пар с параметрами  $p_1 = 1,8$  МПа и  $x_1 = 0,92$  вытекает в среду с давлением  $p_2 = 1,2$  МПа; площадь выходного сечения сопла  $f = 20$  мм<sup>2</sup>.  
 Определить теоретическую скорость при адиабатном истечении пара и его секундный расход.  
 Отв.  $w = 380$  м/с;  $M = 0,05$  кг/с.
121. Найти теоретическую скорость истечения пара из сопла Лаваля для следующих данных:  $p_1 = 1,6$  МПа,  $t_1 = 300$  °С,  $p_2 = 0,1$  МПа. Процесс расширения пара в сопле считать адиабатным.  
 Отв.  $w = 1040$  м/с.
122. Пар при давлении  $p_1 = 10$  МПа и  $t_1 = 320$  °С дросселируется до  $p_2 = 3$  МПа.  
 Определить параметры конечного состояния и изменение температуры пара.  
 Отв.  $x_2 = 0,99$ ;  $\Delta t = 85$  °С.

123. Отработавший пар из паровой турбины поступает в конденсатор в количестве 125 т/ч. Состояние отработавшего пара  $p_2 = 0,0045$  МПа и  $x = 0,89$ .

Определить диаметр входного патрубка конденсатора, если скорость пара в нем до  $= 120$  м/с.

Отв.  $d = 3,22$  м.

124. В паровую турбину подается пар со следующими параметрами:  $p_1 = 5,9$  МПа,  $t_1 = 400$  °С. В клапанах турбины пар дросселируется до 5,4 МПа и поступает в расширяющиеся сопла, давление за которыми  $p_2 = 0,98$  МПа. Расход пара через одно сопло  $M = 8000$  кг/ч. Скоростной коэффициент  $\phi = 0,94$ .

Определить площади минимального и выходного сечений.

Отв.  $f_{\min} = 355$  мм<sup>2</sup>;  $f_{\max} = 546$  мм<sup>2</sup>.

125. На электростанции сжигается топливо с теплотой сгорания  $Q_{н^P} = 30$  МДж/кг.

Определить удельный расход топлива на 1 кВт·ч, если известны следующие данные;  $\eta_{к у} = 0,8$ ;  $\eta_{я} = 0,97$ ;  $\eta_{т} = 0,4$ ;  $\eta_{oi} = 0,82$ ;  $\eta_{м} = 0,98$ ;  $\eta_{г} = 0,97$ .

Определить также удельный расход теплоты на 1 кВт·ч.

Отв.  $q = 14,9$  МДж/(кВт·ч);  $b = 0,498$  кг/(кВт·ч).

126. Паровая турбина мощностью  $N = 25$  МВт работает при начальных параметрах  $p_1 = 3,5$  МПа и  $t_1 = 400$  °С. Конечное давление пара  $p_2 = 0,004$  МПа.

Определить часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины, если к.п.д. котельной установки  $\eta_{к у} = 0,82$ , теплота сгорания топлива  $Q_{н^P} = 41870$  кДж/кг, а температура питательной воды  $t_{пв} = 88$  °С. Считать, что турбина работает по циклу Ренкина.

Отв.  $V = 6430$  кг/ч.

127. Турбины высокого давления мощностью  $N = 100000$  кВт работают на паре при  $p_1 = 9$  МПа и  $t_1 = 480$  °С,  $p_2 = 0,004$  МПа. Определить термический к.п.д. цикла Ренкина для данных параметров, и достигнутое улучшение термического к.п.д. по сравнению с циклом Ренкина для параметров пара:  $p_1 = 2,9$  МПа,  $t_1 = 400$  °С;  $p_2 = 0,004$  МПа.

Отв.  $\eta_t = 42,1\%$ ;  $\varepsilon = 14,4\%$ .

128. Паротурбинная установка мощностью  $N = 200$  МВт работает по циклу Ренкина при начальных параметрах  $p_1 = 13$  МПа и  $t_1 = 565$  °С. При давлении  $p' = 2$  МПа осуществляется промежуточный перегрев пара до первоначальной температуры. Давление в конденсаторе  $p_2 = 0,004$  МПа. Температура питательной воды  $t_{пв} = 160$  °С.

Определить часовой расход топлива, если теплота сгорания топлива  $Q_{н^P} = 29,3$  мДж/кг, а к.п.д. котельной установки  $\eta_{к у} = 0,92$ .

Отв.  $V = 49624$  кг/ч.

129. Проект паротурбинной установки предусматривает следующие условия ее работы:  $p_1 = 30$  МПа,  $t_1 = 550$  °С;  $p_2 = 0,1$  МПа. При давлении  $p' = 7$  МПа вводится вторичный перегрев до температуры 540 °С,

Принимая, что установка работает по циклу Ренкина, определить конечную степень сухости пара при отсутствии вторичного перегрева и улучшение термического к.п.д. и конечную сухость пара после применения вторичного перегрева

Отв.  $x_2 = 0,782$ ;  $x_3 = 0,928$ ;  $\varepsilon = 3,65\%$ .

130. В паровом котле находятся 25 м<sup>3</sup> воды при давлении 3,5 МПа и температуре насыщения.

Какое количество пара по массе и объему образовалось бы в котле, если бы давление в нем упало до 0,1 МПа?

Отв.  $M = 5651$  кг;  $V = 9607$  м<sup>3</sup>.

131. В пароперегревателе парового котла поступает пар в количестве  $D = 20$  т/ч при давлении  $p = 4$  МПа и со степенью сухости  $x = 0,98$ . Количество теплоты, сообщенной пару в пароперегревателе, составляет 11 313 МДж/ч.

Определить температуру пара на выходе из пароперегревателя. Потерями давления в нем пренебречь, считая процесс изобарным.

Отв.  $t_{не} = 450$  °С.



132. К 1 кг пара при давлении 0,8 МПа и степени влажности 70% подводится при постоянном давлении 820 кДж теплоты.

Определить степень сухости, объём и энтальпию пара в конечном состоянии.

Отв.  $x_2 = 0,7$ ;  $v_2 = 0,1682 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $i_2 = 2154,4 \text{ кДж/кг}$ .

133. 1 кг влажного пара при давлении 1,8 МПа и влажности 3% перегревается при постоянном давлении до  $t = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определить работу расширения, количество сообщенной теплоты и изменение внутренней энергии.

Отв.  $l = 110,2 \text{ кДж/кг}$ ;  $q = 500 \text{ кДж/кг}$ ;  $\Delta u = 390 \text{ кДж/кг}$ .

134. 1 м<sup>3</sup> водяного пара при давлении  $p_1 = 1 \text{ МПа}$  и  $x = 0,65$  расширяется при  $p = \text{const}$  до тех пор, пока его удельный объём не станет равным  $v_2 = 0,19 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Найти конечные параметры, количество теплоты, участвующей в процессе, работу и изменение внутренней энергии.

Отв.  $x_2 = 0,96$ ;  $Q = 5196 \text{ кДж}$ ;  $L = 581,4 \text{ кДж}$ ;  $\Delta U = 4614,6 \text{ кДж}$ .

135. 1,2 м<sup>3</sup> влажного пара со степенью сухости  $x = 0,8$  расширяется адиабатно от 0,4 до 0,06 МПа.

Определить степень сухости, объём пара в конце расширения и произведенную им работу.

Отв.  $x = 74 \%$ ;  $V_2 = 6,56 \text{ м}^3$ ;  $L = 743 \text{ кДж}$ .

136. Найти по диаграмме  $i_s$  адиабатный перепад теплоты и конечное состояние при расширении пара от 1,4 МПа и 300 °С до 0,006 МПа.

Отв.  $h = 900 \text{ кДж/кг}$ ;  $x = 0,825$ .

137. Пар с начальным давлением  $p_1 = 2 \text{ МПа}$  и температурой  $t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$  расширяется адиабатно до  $p_2 = 0,004 \text{ МПа}$ .

Определить начальные и конечные параметры и работу расширения 1 кг пара.

Отв.  $l_1 = 3019 \text{ кДж/кг}$ ;  $v_1 = 0,1255 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $i_2 = 2036 \text{ кДж/кг}$ ;  $x = 0,787$ ;

$l = 842 \text{ кДж/кг}$ .

138. Пар с начальным давлением  $p_i = 1,8 \text{ МПа}$  и температурой  $t_1 = 340 \text{ }^\circ\text{C}$  расширяется адиабатно до давления  $p_2 = 0,006 \text{ МПа}$ .

Определить работу расширения и конечное состояние пара.

Отв.  $l = 815 \text{ кДж/кг}$ ;  $p_2 = 19,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $x_2 = 0,825$ .

139. 1 кг пара при давлении  $p_1 = 5 \text{ МПа}$  и температуре  $t_1 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$  расширяется по адиабате до давления 0,05 МПа.

Найти, пользуясь диаграммой  $i_s$ -, температуру и степень сухости для конечного состояния пара, а также адиабатный перепад теплоты.

Отв.  $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $x_2 = 0,853$ ;  $h_0 = 888 \text{ кДж/кг}$ .

140. 5 кг водяного пара, параметры которого  $p_1 = 2 \text{ МПа}$  и  $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$ , расширяются адиабатно до давления  $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$ .

Определить конечный объём пара, степень сухости его и произведённую им работу.

Отв.  $V_2 = 3,95 \text{ м}^3$ ;  $x_2 = 0,852$ ;  $L = 1780 \text{ кДж}$ .

141. Определить теоретическую скорость истечения пара из котла в атмосферу. Давление в котле  $p = 0,15 \text{ МПа}$  и  $x = 0,95$ , Процесс расширения пара считать адиабатным.

Отв.  $c = 360 \text{ м/с}$ .

142. Влажный пар с параметрами  $p_1 = 1,8 \text{ МПа}$  и  $x_1 = 0,92$  вытекает в среду с давлением  $p_2 = 1,2 \text{ МПа}$ ; площадь выходного сечения сопла  $f = 20 \text{ мм}^2$ .

Определить теоретическую скорость при адиабатном истечении пара и его секундный расход.

Отв.  $w = 380 \text{ м/с}$ ;  $M = 0,05 \text{ кг/с}$ .

143. Найти теоретическую скорость истечения пара из сопла Лавалля для следующих данных:  $p_1 = 1,6 \text{ МПа}$ ,  $t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$ . Процесс расширения пара в сопле считать адиабатным.

Отв.  $w = 1040 \text{ м/с}$ .

144. Пар при давлении  $p_1 = 10$  МПа и  $t_1 = 320$  °С дросселируется до  $p_2 = 3$  МПа.

Определить параметры конечного состояния и изменение температуры пара.

Отв.  $x_2 = 0,99$ ;  $\Delta t = 85$  °С.

145. Отработавший пар из паровой турбины поступает в конденсатор в количестве 125 т/ч. Состояние отработавшего пара  $p_2 = 0,0045$  МПа и  $x = 0,89$ .

Определить диаметр входного патрубка конденсатора, если скорость пара в нем до  $= 120$  м/с.

Отв.  $d = 3,22$  м.

146. В паровую турбину подается пар со следующими параметрами:  $p_1 = 5,9$  МПа,  $t_1 = 400$  °С. В клапанах турбины пар дросселируется до 5,4 МПа и поступает в расширяющиеся сопла, давление за которыми  $p_2 = 0,98$  МПа. Расход пара через одно сопло  $M = 8000$  кг/ч. Скоростной коэффициент  $\varphi = 0,94$ .

Определить площади минимального и выходного сечений.

Отв.  $f_{\min} = 355$  мм<sup>2</sup>;  $f_{\max} = 546$  мм<sup>2</sup>.

147. На электростанции сжигается топливо с теплотой сгорания  $Q_{н^P} = 30$  МДж/кг.

Определить удельный расход топлива на 1 кВт·ч, если известны следующие данные;  $\eta_{кy} = 0,8$ ;  $\eta_{п} = 0,97$ ;  $\eta_{т} = 0,4$ ;  $\eta_{oi} = 0,82$ ;  $\eta_{м} = 0,98$ ;  $\eta_{г} = 0,97$ .

Определить также удельный расход теплоты на 1 кВт·ч.

Отв.  $q = 14,9$  МДж/(кВт·ч);  $b = 0,498$  кг/(кВт·ч).

148. Паровая турбина мощностью  $N = 25$  МВт работает при начальных параметрах  $p_1 = 3,5$  МПа и  $t_1 = 400$  °С. Конечное давление пара  $p_2 = 0,004$  МПа.

Определить часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины, если к.п.д. котельной установки  $\eta_{кy} = 0,82$ , теплота сгорания топлива  $Q_{н^P} = 41870$  кДж/кг, температура питательной воды  $t_{пв} = 88$  °С. Считать, что турбина работает по циклу Ренкина.

Отв.  $V = 6430$  кг/ч.

149. Турбины высокого давления мощностью  $N = 100000$  кВт работают на паре при  $p_1 = 9$  МПа и  $t_1 = 480$  °С,  $p_2 = 0,004$  МПа. Определить термический к.п.д. цикла Ренкина для данных параметров, и достигнутое улучшение термического к.п.д. по сравнению с циклом Ренкина для параметров пара:  $p_1 = 2,9$  МПа,  $t_1 = 400$  °С;  $p_2 = 0,004$  МПа.

Отв.  $\eta_t = 42,1$  %;  $\varepsilon = 14,4$  %.

150. Паротурбинная установка мощностью  $N = 200$  МВт работает по циклу Ренкина при начальных параметрах  $p_1 = 13$  МПа и  $t_1 = 565$  °С. При давлении  $p' = 2$  МПа осуществляется промежуточный перегрев пара до первоначальной температуры. Давление в конденсаторе  $p_2 = 0,004$  МПа. Температура питательной воды  $t_{пв} = 160$  °С.

Определить часовой расход топлива, если теплота сгорания топлива  $Q_{н^P} = 29,3$  МДж/кг, а к.п.д. котельной установки  $\eta_{кy} = 0,92$ .

Отв.  $V = 49\ 624$  кг/ч.

## **Контрольная работа №2 (к разделам теплообмена)**

### **Методические указания по выполнению:**

К решению задач контрольного задания следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса. Только сознательное (не «механическое») решение задачи приносит пользу и помогает закреплению знаний. Перед выполнением контрольной работы рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе. Следует стараться запомнить и примерные величины параметров задачи (исходных и вычисляемых); они также содержат полезную информацию.

Контрольные задачи составлены по стовариантной (численной) системе, в которой к каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по **последней и предпоследней цифре шифра** (личного номера) студента-заочника. Вариант работы должен соответствовать шифру студента. **Работы, выполняемые не по своему варианту, не рассматриваются.**

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие условия: а) выписывать условия 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 берутся (из условия задачи, из справочника или были определены выше и т.д.); в) вычисления производить в системе СИ, показывать ход решения, проставлять размерности.

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 численных данных.

### Перечень контрольных задач:

**Задача 1.** По стальной трубе, внутренний и внешний диаметр которой соответственно  $d_1$  и  $d_2$ , а коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=40$  Вт/(м·К) течет газ со средней температурой  $t_r$ ; коэффициент теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha_1$ . Снаружи труба охлаждается водой со средней температурой  $t_b$ ; коэффициент теплоотдачи от стенки к воде  $\alpha_2$ .

Определить коэффициент теплопередачи  $K$  от газа к воде, тепловой поток на 1 м длины трубы  $q_l$  и температуры поверхностей трубы. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 1. Определить также температуру внешней поверхности трубы и  $q_l$ , если она покрылась слоем накипи толщиной  $\delta = 2$  мм, коэффициент теплопроводности которой  $\lambda_2 = 0,8$  Вт/(м·К) (при  $\alpha_2 = \text{const}$ ).

Таблица 1

Последняя цифра шифра	$d_1$	$d_2$	$t_r, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_b, ^\circ\text{C}$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
	мм					Вт/(м <sup>3</sup> ·К)	
0	100	108	700	0	80	60	4000
1	110	118	800	1	90	54	4200
2	120	130	900	2	100	52	4400
3	130	140	1000	3	110	50	4600
4	140	150	1100	4	120	44	5000
5	150	162	1200	5	130	42	5200
6	160	172	1300	6	140	40	5400
7	170	182	1200	7	150	36	5600
8	180	194	1100	8	160	32	5800
9	190	204	1000	9	170	30	6000

**Задача 2.** Горячий газ, омывающий снаружи тонкую стальную трубу, имеет среднюю температуру  $t_r$  и коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$ . Труба изнутри охлаждается воздухом со средней температурой  $t_b$  при давлении  $p = 0,1$  МПа.

Определить скорость воздуха, обеспечивающую среднюю температуру стенки трубы не выше  $t_1$  если внутренний диаметр трубы  $d_1$ , толщина ее  $\delta$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda = 20$  Вт/(м·К). Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 2.

Таблица 2

Последняя цифра шифра	$t_r, ^\circ\text{C}$	$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$t_1, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_b, ^\circ\text{C}$	$d_1$	$\delta$
						мм	
0	500	20	700	0	15	200	8
1	550	30	800	1	20	180	8

2	600	40	900	2	25	160	7
3	650	50	1000	3	10	140	7
4	700	40	1100	4	15	120	6
5	750	60	1200	5	20	100	6
6	800	50	1300	6	25	80	5
7	850	40	1200	7	20	60	4
8	900	30	1100	8	15	40	3
9	950	20	1000	9	10	20	2

Указание. При решении задачи можно считать стенку плоской.

**Задача 3.** Определить потери тепла в единицу времени с 1 м длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы, охлаждаемой свободным потоком воздуха, если температура стенки трубы  $t_c$ , температура воздуха в помещении  $t_b$ , а диаметр трубы  $d$ . Лучистым теплообменом пренебречь. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 3.

Таблица 3

Последняя цифра шифра	$d, \text{мм}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_c$	$t_b$	Последняя цифра шифра	$d, \text{мм}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_c$	$t_b$
			°C					°C	
0	200	0	250	15	5	270	5	200	20
1	230	1	240	20	6	300	6	190	15
2	210	2	230	25	7	320	7	180	10
3	240	3	220	35	8	340	8	170	5
4	250	4	210	25	9	360	9	160	0

**Задача 4.** Определить удельный лучистый тепловой поток  $q$  (в ваттах на квадратный метр) между двумя параллельно расположенными плоскими стенками, имеющими температуры  $t_1$  и  $t_2$  и степени черноты  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , если между ними нет экрана. Определить  $q$  при наличии экрана со степенью черноты  $\varepsilon_3$  (с обеих сторон). Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 4.

Таблица 4

Последняя цифра шифра	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$	Предпоследняя цифра шифра	$t_1$	$t_2$
					°C	
0	0,5	0,6	0,04	0	200	30
1	0,55	0,52	0,045	1	250	35
2	0,6	0,7	0,05	2	300	25
3	0,52	0,72	0,02	3	350	20
4	0,58	0,74	0,03	4	400	40
5	0,62	0,54	0,025	5	450	45
6	0,7	0,58	0,032	6	500	50
7	0,65	0,62	0,055	7	550	55
8	0,75	0,73	0,06	8	600	60
9	0,8	0,77	0,023	9	650	65

**Задача 5.** Определить поверхность нагрева рекуперативного водовоздушного теплообменника при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход воздуха при нормальных условиях  $V_H$ , средний коэффициент теплопередачи от воздуха к воде  $K$ , начальные и конечные температуры воздуха и воды равны соответственно  $t_1', t_1'', t_2', t_2''$ . Определить также расход воды  $G$  через теплообменник. Изобразить графики изменения температур теплоносителей для обеих схем при различных соотношениях их условных эквивалентов.

Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 5.

Таблица 5

Последняя цифра шифра	$10^{-3}V_H$ , м <sup>3</sup> /ч	$K$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Предпоследняя цифра шифра	$t_1', ^\circ\text{C}$	$t_1'', ^\circ\text{C}$	$t_2', ^\circ\text{C}$	$t_2'', ^\circ\text{C}$
0	15	18	0	500	250	10	90
1	20	19	1	480	240	15	95
2	25	20	2	460	230	20	100
3	50	21	3	440	210	25	105
4	45	22	4	420	200	30	110
5	40	23	5	400	180	35	115
6	35	24	6	380	160	40	120
7	30	25	7	360	130	45	120
8	55	26	8	340	140	50	130
9	10	27	9	320	120	15	100