



Негосударственное частное образовательное учреждение высшего
образования
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
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

Практическая работа № 1

Параметры состояния тела. Идеальные газы и основные газовые законы. Газовые смеси.

Время на выполнение задания – 2 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- Понятие термодинамического процесса.
- Законы для идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.
- Универсальная газовая постоянная. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
- Уравнение состояния реальных газов.
- Газовые смеси. Законы Дальтона, Амага. Способы задания газовых смесей.
- Определение параметров газовой смеси при задании ее массовыми долями.
- Определение параметров газовой смеси при задании ее объемными долями.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

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 м³/ч воздуха при температуре 30 °С. Определить объемный расход воздуха на выходе из воздухоподогревателя, если он нагревается до 400 °С при постоянном давлении.

Отв. $V = 288709$ м³/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. $v = 0,876$ м³/кг.

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

Отв. $V = 2,088$ м³.

6. В цилиндре диаметром $0,6$ м содержится $0,41$ м³ 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 $0,5$ м³ 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; разрежение в сосуде измерено ртутным вакууметром при температуре ртути 20 °С.

Отв $M = 1,527$ кг.

9. Резервуар объёмом 4 м^3 заполнен углекислым газом. Найти массу и силу тяжести (вес) газа в резервуаре, если избыточное давление газа $p = 40 \text{ кПа}$, температура его $t = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, а барометрическое давление воздуха $B = 102,4 \text{ кПа}$.

Отв. $M = 8,64 \text{ кг}$; $G = 84,8 \text{ Н}$

10. Масса пустого баллона для кислорода емкостью $0,05 \text{ м}^3$ равна 80 кг . Определить массу баллона после заполнения его кислородом при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ до давления $p = 10 \text{ МПа}$.

Отв. $M = 86,57 \text{ кг}$.

11. Для автогенной сварки использован баллон кислорода емкостью 100 л . Найти массу кислорода, если его давление $p = 12 \text{ МПа}$ и температура $t = 16 \text{ }^\circ\text{C}$.

Отв. $M = 16 \text{ кг}$.

12. Генераторный газ имеет следующий объёмный состав: $\text{H}_2 = 7,0 \%$; $\text{CH}_4 = 2,0 \%$; $\text{CO} = 27,6 \%$; $\text{CO}_2 = 4,8 \%$; $\text{N}_2 = 58,6 \%$. Определить массовые доли, кажущуюся молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и парциальные давления при $15 \text{ }^\circ\text{C}$ и $0,1 \text{ МПа}$.

Отв. $m_{\text{H}_2} = 0,005$; $m_{\text{CH}_4} = 0,012$; $m_{\text{CO}} = 0,289$;

$m_{\text{CO}_2} = 0,079$; $m_{\text{N}_2} = 0,615$; $\mu_{\text{см}} = 26,72$;

$R_{\text{см}} = 310,8 \text{ Дж}/(\text{кг К})$; $\rho_{\text{см}} = 1,095 \text{ кг}/\text{м}^3$; $p_{\text{H}_2} = 7 \text{ кПа}$.

13. Газ коксовых печей имеет следующий объёмный состав- $\text{H}_2 = 57\%$; $\text{CH}_4 = 23\%$; $\text{CO} = 6\%$; $\text{CO}_2 = 2\%$; $\text{N}_2 = 12\%$.

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

Отв. $\mu_{\text{см}} = 10,77$; $m_{\text{H}_2} = 0,107$; $m_{\text{CO}_2} = 0,082$;

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

14. Генераторный газ состоит из следующих объёмных частей: $\text{H}_2 - 18\%$; $\text{CO} = 24\%$; $\text{CO}_2 = 6\%$; $\text{N}_2 = 52\%$. Определить газовую постоянную генераторного газа и массовый состав входящих в смесь газов.

Отв. $R_{\text{см}} = 342 \text{ Дж}/(\text{кг К})$; $m_{\text{CO}_2} = 10,86\%$;

$m_{\text{N}_2} = 60,03\%$; $m_{\text{H}_2} = 1,48\%$; $m_{\text{CO}} = 27,63\%$.

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

$p_{\text{возд}} = 0,884p$

16. Определить газовую постоянную, плотность при нормальных условиях и объёмный состав смеси, если ее массовый состав следующий: $\text{H}_2 = 8,4\%$; $\text{CH}_4 = 48,7\%$; $\text{C}_2\text{H}_4 = 6,9\%$; $\text{CO} = 17\%$; $\text{CO}_2 = 7,6\%$; $\text{O}_2 = 4,7\%$; $\text{N}_2 = 6,7\%$.

Отв. $R_{\text{см}} = 717 \text{ Дж}/(\text{кг К})$; $r_{\text{O}_2} = 0,017$;

$r_{\text{N}_2} = 0,028$, $r_{\text{H}_2} = 0,484$;

$r_{\text{CO}_2} = 0,02$; $\rho_{\text{H}} = 0,518 \text{ Кг}/\text{м}^3$.

17. Найти газовую постоянную, удельный объем газовой смеси и парциальные давления ее составляющих, если объёмный состав смеси следующий: $\text{CO}_2 = 12\%$; $\text{CO} = 1\%$; $\text{H}_2\text{O} = 6\%$; $\text{O}_2 = 7\%$; $\text{N}_2 = 74\%$, а общее давление её $p = 100 \text{ кПа}$.

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

$p_{\text{CO}_2} = 1200 \text{ Па}$.

18. В резервуаре емкостью 125 м^3 находится коксовый газ при давлении $p = 0,5 \text{ МПа}$ и температуре $t = 18^\circ \text{C}$. Объёмный состав газа следующий: $r_{\text{H}_2} = 0,46$; $r_{\text{CH}_4} = 0,32$; $r_{\text{CO}} = 0,15$;

$r_{N_2} = 0,07$. После израсходования некоторого количества газа давление его понизилось до 03 МПа, а температура — до 12° С.

Определить массу израсходованного коксового газа.

Отв. М 2167 кг.

19. Массовый состав смеси следующий: $CO_2 = 18\%$; $O_2 = 12\%$ и $N_2=70\%$. До какого давления нужно сжать эту смесь, находящуюся при нормальных условиях, чтобы при $t = 180^\circ C$ 8 кг её занимали объем, равный 4 м³.

Отв. $p = 0,24$ МПа.

20. Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно, что парциальное давление углекислого газа $p_{CO_2} = 120$ кПа, а давление смеси $p_{см} = 300$ кПа.

Отв. $m_{CO_2} = 0,512$; $m_{N_2} = 0,488$.

21. Газовая смесь имеет следующий массовый состав: $CO_2 = 12\%$; $O_2 = 8\%$ и $N_2= 80\%$.

До какого давления нужно сжать эту смесь, находящуюся при нормальных условиях, чтобы плотность её составляла 1,6 кг/м³?

Отв. До 0,213 МПа.

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

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

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

23. В регенеративном подогревателе газовой турбины воздух нагревается от 150 до 600 °С.

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

Отв. $Q = 47,84$ кДж/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 $N = 33$ кВт, начальная- температура воды $t'_в = 15$ °С, конечная $t''_в = 60$ °С; принять, что вся теплота трения передается охлаждающей воде.

Отв. $M_{воды} = 632$ кг/ч.

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

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

Отв. $\eta_\lambda = 0,38$.

26. В котельной электростанции за 10 ч работы сожжено 100 т каменного угля с теплотой сгорания 29300 кДж/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, $N_{ср} = 16278$ 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 $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, опускают стальной образец массой 0,4 кг, нагретый до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти теплоемкость стали, если повышение температуры воды составило $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Массой собственно калориметра пренебречь.

Отв. $c = 0,469\text{ кДж}/(\text{кг К})$.

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 $c = 0,126\text{ кДж}/(\text{кг К})$. Определить повышение температуры шара.

Отв. $\Delta t = 5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

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 $t_1 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплоемкость стали, из которой изготовлены тормозные части, равна $0,46\text{ кДж}/(\text{кг К})$. Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

Отв. $t_2 = 23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

31. В газоходе смешиваются три газовых потока, имеющих одинаковое давление, равное 0,2 МПа. Первый поток представляет собой азот с объемным расходом $V_1 = 8200\text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, второй поток — двуокись углерода с расходом $7600\text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и третий поток воздуха с расходом $6400\text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре $800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

Отв. $t_1 = 423\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V = 23000\text{ м}^3/\text{ч}$.

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

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

Отв. $M_{\text{возд}} = 366\text{ кг}/\text{ч}$.

33. Газ при давлении $p_1 = 1\text{ МПа}$ и температуре $= 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ нагревается при постоянном объеме до $t_2 = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти конечное давление газа.

Отв. $p_2 = 1,956\text{ МПа}$.

34. В закрытом сосуде емкостью $V = 0,3\text{ м}^3$ содержится 2,75 кг воздуха при давлении $p_1 = 0,8\text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определить давление и удельный объем после охлаждения воздуха до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отв. $p_2 = 0,732\text{ МПа}$, $v_2 = 0,109\text{ м}^3/\text{кг}$.

35. В закрытом сосуде находится газ при разрежении $p_1 = 2666\text{ Па}$ и температуре $t_1 = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Показание барометра — 10 кПа. После охлаждения газа разрежение стало равным 20 кПа.

Определить конечную температуру газа t_2 .

Отв. $t_2 = -40,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

Отв. До $t_2 = 459,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

37. В калориметрической бомбе емкостью 300 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 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 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. $L=25000$ Дж; $h = 0,64$ м; $Q = 88,3$ кДж.

39. Для использования отходящих газов двигателя мощностью $N = 2500$ кВт установлен подогреватель, через который проходит 60000 м³/ч воздуха при температуре $t_1 = 15$ °С и давлении $p = 0,101$ МПа. Температура воздуха после подогревателя равна 75 °С.

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 м³ воздуха, находящемуся в цилиндре со свободно движущимся нагруженным поршнем, подводится при постоянном давлении 335 кДж теплоты. Объем воздуха при этом увеличивается до $1,5$ м³. Начальная температура воздуха равна 15 °С.

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

Отв. $t_2 = 159$ °С; $L = 95,1$ кДж.

41. 2 м³ воздуха с начальной температурой $t_1 = 15$ °С расширяются при постоянном давлении до 3 м³ вследствие сообщения газу 837 кДж теплоты.

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

Отв. $t_2 = 159$ °С; $p = 0,24$ МПа; $L = 239$ кДж.

42. Отходящие газы котельной установки проходят через воздухоподогреватель. Начальная температура газов $t_{г1} = 300$ °С, конечная $t_{г2} = 160$ °С; расход газов равен 1000 кг/ч. Начальная температура воздуха составляет $t_{в1} = 15$ °С, а расход его равен 910 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 $1,0048$ кДж/(кг К).

Отв. $t_{в2} = 168,9$ °С.

43. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания находится воздух при температуре 500 °С. 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. $t_2 = 1428$ °С; $q_p = 1088,7$ кДж/кг; $l = 266,3$ кДж/кг.

44. Воздух, выходящий из компрессора с температурой 190 °С, охлаждается в охладителе при постоянном давлении $p = 0,5$ МПа до температуры 20 °С. При этих параметрах производительность компрессора: равна 30 м³/ч.

Определить часовой расход охлаждающей воды, если она нагревается на 10 °С.

Отв. 733 л/ч.

45. Газовая смесь, имеющая следующий массовый состав $CO_2 = 14\%$; $O_2 = 6\%$; $N_2 = 75\%$ $H_2O = 5\%$ нагревается при постоянном давлении от $t_1 = 600$ °С до $t_2 = 2000$ °С.

Определить количество теплоты, подведенное к 1 кг газовой смеси. Зависимость теплоемкости от температуры принять нелинейной.

Отв. $q_p = 1841$ кДж/кг.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 2

Теплоёмкость газов. Первый закон термодинамики. Основные газовые процессы

Время на выполнение задания – 2 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- Понятия теплоты, работы. Принцип эквивалентности. Понятие внутренней энергии.

Закон Джоуля.

- Формулировки 1 закона термодинамики. Виды работ.
- Работа деформации.
- Работа вытеснения.
- Развернутое выражение 1 закона термодинамики. Энтальпия.
- Понятие теплоемкости. Массовая, объемная, мольная теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости.
- Зависимость теплоемкости от температуры. Изохорная и изобарная теплоемкости.
- Формула Майера. Коэффициент Пуассона. Теплоемкость смеси.
- Изохорный процесс изменения состояния идеального газа.
- Изобарный процесс изменения состояния идеального газа.
- Изотермический процесс изменения состояния идеального газа.
- Адиабатный процесс изменения состояния идеального газа.
- Политропные процессы.
- Группы политропных процессов. Способы определения показателей политропы.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. 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 $180 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура окружающей среды $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление продуктов сгорания принято равным атмосферному.

Отв. $q_{\text{ух}} = 2418 \text{ кДж/кг}$.

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

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

Отв. $L = -30576 \text{ кДж}$.

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

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

Отв. $p_2 = 0,322 \text{ МПа}$; $Q = -90 \text{ кДж}$.

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

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

Отв. $p_2 = 0,286 \text{ МПа}$; $V_2 = 0,35 \text{ м}^3$; $L = 125 \text{ кДж}$.

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

Определить конечный объем V_2 и конечное давление p_2 .

Отв. $V_2 = 0,057 \text{ м}^3$; $p_2 = 5,26 \text{ МПа}$.

6. При изотермическом сжатии $2,1 \text{ м}^3$ азота, взятого при $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, от газа отводится 335 кДж теплоты.

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

Отв. $V_2 = 0,426 \text{ м}^3$; $p_2 = 0,49 \text{ МПа}$; $L = -335 \text{ кДж}$.

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

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

Отв. $L = 11,188 \text{ кВт}$.

8. $0,5 \text{ м}^3$ кислорода при давлении $p_1 = 1 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ сжимаются изотермически до объема в 5 раз меньше начального.

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

Отв. $p_2 = 5 \text{ МПа}$; $V_2 = 0,1 \text{ м}^3$; $L = -805 \text{ кДж}$.

9. 10 кг воздуха при давлении $p_1 = 0,12 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$ сжимаются изотермически; при этом в результате сжатия объем уменьшается в 2,5 раза.

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

Отв. $V_1 = 7,25 \text{ м}^3$; $V_2 = 2,9 \text{ м}^3$; $p_2 = 0,3 \text{ МПа}$;

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

10. 1 кг воздуха при температуре $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ и начальном давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ адиабатно сжимается до $0,8 \text{ МПа}$.

Найти работу, конечный объем и конечную температуру.

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

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

Определить начальную температуру и работу, совершенную 1 кг воздуха.

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

12. 1 кг воздуха, занимающий объем $v_1 = 0,0887 \text{ м}^3/\text{кг}$ при $p_1 = 1 \text{ МПа}$, 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) $dQ = 0$; $p_2 = 0,04 \text{ МПа}$; $l = 133,5 \text{ кДж/кг}$.

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

14. $0,8 \text{ м}^3$ углекислого газа при температуре $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 0,7 \text{ МПа}$ адиабатно расширяются до трехкратного объема.

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

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

15. 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. $p_2 = 4,2 \text{ МПа}$.

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

17. 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. $p_1 = 1,54$ МПа; $t_2 = 412$ °С.

18. 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 °С? Во сколько раз при этом уменьшится объем воздуха?

Начальное давление воздуха. $p_1 = 0,1$ МПа, начальная температура воздуха $t_1 = 80$ °С. Сжатие воздуха считать адиабатным.

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

19. Объем воздуха при адиабатном сжатии в цилиндре двигателя внутреннего сгорания уменьшается в 13 раз. Начальная температура воздуха перед сжатием $t_1 = 770$ °С, а начальное давление $p_1 = 0,09$ МПа.

Определить температуру и давление воздуха после сжатия.

Отв. $t_2 = 7030$ °С; $p_2 = 3,27$ МПа.

20. 2 кг воздуха при давлении $p_1 = 0,1$ МПа; $t_1 = 15$ °С адиабатно сжимаются в цилиндре компрессора до давления $p_3 = 0,7$ МПа.

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

Отв. $t_2 = 229$ °С; $L = -307,1$ кДж.

21. 1 м³ воздуха при давлении 0,095 МПа и начальной температуре 10 °С сжимается по адиабате до 0,38 МПа.

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

Отв. $t_2 = 148$ °С; $V_2 = 0,373$ м³, $L = -117,5$ кДж.

22. Воздух при температуре 127 °С 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 $p-v$.

Отв. $t_2 = -4$ °С.

23. 1 кг воздуха при температуре $t_1 = 17$ °С сжимается адиабатно до объема, составляющего 1/5 начального, а затем расширяется изотермически до первоначального объема.

Определить работу, произведенную воздухом в результате обоих процессов.

Отв. $l = 67$ кДж/кг.

24. Воздух при температуре $t_1 = 20$ °С должен быть охлажден посредством адиабатного расширения до температуры $t_2 = -60$ °С. Конечное давление воздуха при этом должно составлять 0,1 МПа.

Определить начальное давление воздуха p_1 и удельную работу расширения l .

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

25. Воздух в количестве 3 м³ расширяется политропно от $p_1 = 0,54$ МПа и $t_1 = 45$ °С до $p_2 = 0,15$ МПа. Объем, занимаемый при этом воздухом, становится равным 10 м³.

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

Отв. $n = 1,064$; $t_2 = 21,4$ °С; $L = 1875$ кДж; $Q = 1575$ кДж.

26. 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, $t_1 = 77$ °С и $p_1 = 0,1$ МПа.

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

27. В процессе политропного сжатия затрачивается работа, равная 195 кДж, причем в одном случае от газа отводится 250 кДж, а в другом - газу сообщается 42 кДж.

Определить показатели обеих политроп.

Отв. 1) $n = 0,9$; 2) $n = 1,49$.

28. 1,5 м³ воздуха сжимаются от 0,1 МПа и 17 °С до 0,7 МПа; конечная температура при этом равна 100 °С.

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

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

29. 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 °С.

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

30. В процессе политропного расширения воздуха сообщается 83,7 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. $\Delta U = 16,7 \text{ кДж}$; $L = 6702 \text{ кДж}$.

31. Воздух расширяется по политропе, совершая при этом работу, равную 270 кДж, причем в одном случае ему сообщается 420 кДж теплоты, а в другом от воздуха отводится 92 кДж теплоты

Определить в обоих случаях показатели политропы.

Отв. 1) $n = 0,7$; 2) $n = 1,88$.

32. Смесь коксового газа с воздухом сжимается по политропе с показателем $n = 1,38$; начальное давление $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, начальная температура $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

Отв. $t_2 = 276 \text{ }^\circ\text{C}$; $p_2 = 0,68 \text{ МПа}$.

33. В газовом двигателе политропно сжимается горючая смесь [$R = 340 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$] до температуры 450 °С. Начальное давление смеси $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$, начальная температура $t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$. Показатель политропы $n = 1,35$.

Найти работу сжатия и степень сжатия.

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

34. 2 м³ воздуха при давлении $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ сжимаются до давления $p_2 = 1,1 \text{ МПа}$ и объема $V_2 = 0,5 \text{ м}^3$.

Определить показатель политропы, работу сжатия и количество отведенной теплоты.

Отв. $n = 1,23$; $L = -652 \text{ кДж}$; $Q = -272 \text{ кДж}$.

35. Находящийся в цилиндре двигателя внутреннего сгорания воздух при давлении $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ и $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 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. $V_2 = 0,0512 V_1$

36. 1 кг воздуха при давлении $p_1 = 0,4 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ расширяется до давления $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$.

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) $t_2 = -180 \text{ }^\circ\text{C}$; $l = 0$; $q = -202 \text{ кДж/кг}$;

б) $t_2 = t_1$, $l = 148,2 \text{ кДж/кг}$; $q = 148,2 \text{ кДж/кг}$;

в) $t_2 = -22 \text{ }^\circ\text{C}$; $l = 87,5 \text{ кДж/кг}$; $q = 0$;

г) $t_2 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$; $l = 10,9 \text{ кДж/кг}$, $q = 54,5 \text{ кДж/кг}$.

37. Найти приращение энтропии 3 кг воздуха; а) при нагревании его по изобаре от 0 до $400 \text{ }^\circ\text{C}$; б) при нагревании его по изохоре от 0° до $880 \text{ }^\circ\text{C}$; в) при изотермическом расширении с увеличением объема в 16 раз. Теплоемкость считать постоянной.

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

в) $\Delta s_r = 2,36 \text{ кДж/К}$.

38. 1 кг воздуха сжимается по политропе от 1 МПа и $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до 0,8 МПа при $n = 12$.

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

Отв. $t_2 = 141 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta s = 0,2445 \text{ кДж/(кг. К)}$;

$q = -87,1 \text{ кДж/кг}$; $l = 173,0 \text{ кДж/кг}$.

39. В сосуде объемом 400 л заключен воздух при давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ и температуре $p_1 = -40 \text{ }^\circ\text{C}$. Параметры среды: $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$ и $t_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

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

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 3

Параметры состояния тела. Второй закон термодинамики. Круговые процессы.

Время на выполнение задания – 4 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- Формулировки 2 закона термодинамики.
- Прямой и обратный циклы. Термический коэффициент полезного действия.
- Цикл Карно.
- Математическое выражение 2 закона термодинамики для обратимых и необратимых циклов.
- Энтропия. Основное термодинамическое тождество.
- Физический смысл энтропии. Энтропия и термодинамическая вероятность.
- Изменение энтропии идеального газа между двумя состояниями.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. 1 кг воздуха совершает цикл Карно между температурами $t_1 = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$; 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. $v_1 = 0,861 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_2 = 0,127 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_3 = 0,717 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$v_4 = 0,486 \text{ м}^3/\text{кг}$; $p_2 = 1,36 \text{ МПа}$; $p_4 = 0,18 \text{ МПа}$; $\eta_t = 0,5$;

$l_0 = 33,7 \text{ кДж/кг}$; $q_1 = 67,4 \text{ кДж/кг}$, $q_2 = 33,7 \text{ кДж/кг}$.

2. 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 $p_1 = 1 \text{ МПа}$, наинизшее – $p_3 = 0,12 \text{ МПа}$.

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

Отв. $v_1 = 0,15 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_2 = 0,185 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_3 = 0,725 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$v_4 = 0,59 \text{ м}^3/\text{кг}$; $p_2 = 0,81 \text{ МПа}$; $p_4 = 0,15 \text{ МПа}$; $\eta_t = 0,42$;

$l_0 = 18,1 \text{ кДж/кг}$; $q_1 = 31,1 \text{ кДж/кг}$, $q_2 = 18 \text{ кДж/кг}$.

3. 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 кДж/кг.

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

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

4. Температура воспламенения топлива, подаваемого в цилиндр двигателя с изобарным подводом теплоты, равна 800 °С.

Определить минимально необходимое значение степени сжатия ε , если начальная температура воздуха $t_1 = 77$ °С. Сжатие считать адиабатным, $k = 1,4$.

Отв. $\varepsilon = 16,4$.

5. 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: $p_1 = 100$ кПа, $t_1 = 70$ °С; $\varepsilon = 12$; $k = 1,4$; $\rho = 1,67$. Рабочее тело — воздух. Теплоёмкость принять постоянной.

Отв. $v_1 = 0,98$ м³/кг; $v_2 = 0,082$ м³/кг; $v_3 = 0,14$ м³/кг;
 $p_2 = 3,24$ МПа; $p_4 = 0,2$ МПа; $q_1 = 627$ кДж/кг;
 $q_2 = 255$ кДж/кг; $l_0 = 372$ кДж/кг; $\eta_t = 0,593$.

6. 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: $p_1 = 100$ кПа, $\varepsilon = 14$; $\rho = 1,5$; $k = 1,4$.

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

Отв. $V_1 = V_4 = 0,03416$ м³; $V_2 = 0,00244$ м³; $V_3 = 0,00366$ м³;
 $p_2 = 4,02$ МПа; $p_4 = 0,176$ МПа, $\eta_t = 0,65$.

7. В цикле с подводом теплоты при $p = \text{const}$ начальное давление воздуха $p_1 = 0,09$ МПа, температура $t_1 = 47$ °С, степень сжатия $\varepsilon = 12$, степень предварительного расширения $\rho = 2$ и $k = 1$ м³.

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. $V_2 = 0,0832$ м³; $V_3 = 0,166$ м³; $p_2 = 2,92$ МПа;
 $p_4 = 0,24$ МПа; $T_2 = 865$ К; $T_3 = 1730$ К; $T_4 = 845$ К;
 $L_0 = 478$ кДж; $Q_1 = 842$ кДж; $Q_2 = 364$ кДж; $\eta_t = 0,565$.

8. Рабочее тело поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты обладает свойствами воздуха. Известны начальные параметры $p_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 30$ °С 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. $v_1 = 0,870$ м³/кг; $v_2 = 0,124$ м³/кг; $v_4 = 0,149$ м³/кг;
 $p_2 = 1,52$ МПа; $p_3 = 3,05$ МПа; $p_5 = 0,26$ МПа;
 $t_2 = 387$ °С; $t_3 = 1047$ °С; $t_4 = 1311$ °С;
 $t_5 = 511$ °С; $q_1 = 744,2$ кДж/кг; $q_2 = 348,2$ кДж/кг;
 $l_0 = 396$ кДж/кг; $\eta_t = 0,532$.

9. 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: $p_1 = 0,1$ МПа; $t_1 = 17$ °С; $t_3 = 600$ °С; $\lambda = p_2/p_1 = 8$. Рабочее тело — воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Отв. $v_1 = 0,831$ м³/кг; $v_2 = 0,189$ м³/кг; $v_3 = 0,313$ м³/кг;
 $v_4 = 1,38$ м³/кг; $t_2 = 254$ °С; $p_2 = p_3 = 0,8$ МПа;
 $q_1 = 350$ кДж/кг; $q_2 = 192,2$ кДж/кг; $\eta_t = 0,45$.

10. Газовая турбина работает по циклу с подводом теплоты при $p = \text{const}$. Известны параметры; $p_1 = 0,1$ МПа; $t_1 = 40$ °С; $t_4 = 400$ °С, 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. $v_1 = 0,9$ м³/кг; $p_2 = 0,8$ МПа; $v_2 = 0,204$ м³/кг;
 $t_2 = 297$ °С; $v_3 = 0,438$ м³/кг; $t_3 = 948$ °С;
 $v_4 = 1,93$ м³/кг; $q_1 = 659$ кДж/кг
 $q_2 = 364$ кДж/кг; $l_0 = 296$ кДж/кг; $\eta_t = 0,45$.

11. 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 ϵ и при одинаковых степенях расширения ρ . Представить цикл в диаграмме Ts.

Отв. $\eta_{тг} = 0,426$; $\eta_{тп.д} = 0,297$.

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

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

Отв. $\eta_{тpe} = 0,585$.

13. Компрессор всасывает 250 м³/ч воздуха при $p_1 = 0,09$ МПа и $t_1 = 25$ °С и сжимает его до $p_2 = 0,8$ 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 °С?

Отв. 390 л/ч.

14. Компрессор всасывает 120 м³/ч воздуха при $p_1 = 0,1$ МПа и $t_1 = 27$ °С и сжимает его до $p_2 = 1,2$ 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) $t_2 = t_1$; $V_2 = 10$ м³/ч; $L_0 = 29,8$ МДж/ч; $N = 8,3$ кВт;
б) $t_2 = 339$ °С; $V_2 = 20,4$ м³/ч; $L_0 = 43,4$ МДж/ч; $N = 12$ кВт;
в) $t_2 = 257$ °С; $V_2 = 17,7$ м³/ч; $L_0 = 40,2$ МДж/ч; $N = 11,2$ кВт.

15. Компрессор всасывает в минуту 100 м³ водорода при температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа и сжимает его до 0,8 МПа.

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

Отв. $N = 678$ кВт.

16. 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.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 4

Водяной пар.

Время на выполнение задания – 4 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- Водяной пар. Основные понятия и определения.
- Термодинамическая фазовая рТ-диаграмма.
- рv-диаграмма водяного пара.
- Ts-диаграмма водяного пара.
- is-диаграмма водяного пара.
- Определение основных параметров воды и водяного пара.
- Изобарный процесс изменения состояния водяного пара в рv-, Ts-, is-диаграммах.
- Изохорный процесс изменения состояния водяного пара в рv-, Ts-, is-диаграммах.
- Изотермический процесс изменения состояния водяного пара в рv-, Ts-, is-диаграммах.
- Адиабатный процесс изменения состояния водяного пара в рv-, Ts-, is-диаграммах.
- Влажный воздух. Абсолютная влажность.
- Влажосодержание и относительная влажность воздуха.
- Теплоемкость и энтальпия влажного воздуха.
- id-диаграмма влажного воздуха.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. 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.

2. 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. $\eta_k = 0,875$.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. В паровом котле объемом $V = 15 \text{ м}^3$ находятся 4000 кг воды и пара при давлении 4 МПа и температуре насыщения.

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

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

8. В паровом котле находятся 25 м^3 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. $M = 5651 \text{ кг}$; $V = 9607 \text{ м}^3$.

9. В пароперегреватель парового котла поступает пар в количестве $D = 20 \text{ т/ч}$ при давлении $p = 4 \text{ МПа}$ 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. $t_{\text{не}} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

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

12. 1 м^3 водяного пара при давлении $p_1 = 1 \text{ МПа}$ и $x = 0,65$ расширяется при $p = \text{const}$ до тех пор, пока его удельный объем 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. $x_2 = 0,96$; $Q = 5196 \text{ кДж}$; $L = 581,4 \text{ кДж}$; $\Delta U = 4614,6 \text{ кДж}$.

13. $1,2 \text{ м}^3$ 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. $x = 74 \text{ \%}$; $V_2 = 6,56 \text{ м}^3$; $L = 743 \text{ кДж}$.

14. Найти по диаграмме i_s адиабатный перепад теплоты и конечное состояние при расширении пара от 1,4 МПа и $300 \text{ }^\circ\text{C}$ до 0,006 МПа.

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

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

$l = 842 \text{ кДж/кг}$.

16. Пар с начальным давлением $p_1 = 1,8 \text{ МПа}$ 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. $l = 815 \text{ кДж/кг}$; $p_2 = 19,5 \text{ м}^3/\text{кг}$; $x_2 = 0,825$.

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

18. 5 кг водяного пара, параметры которого $p_1 = 2$ МПа и $V_1 = 0,5$ м³, расширяются адиабатно до давления $p_2 = 0,2$ МПа.

Определить конечный объем пара, степень сухости его и произведенную им работу.

Отв. $V_2 = 3,95$ м³; $x_2 = 0,852$; $L = 1780$ кДж.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 5

Истечение газов и паров. Дросселирование (мятие) газов и паров.

Время на выполнение задания – 2 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- Термодинамика потока газа.
- Скорость звука.
- Скорость и расход газа при истечении из суживающихся сопел.
- Сопло Лавалья.
- Дросселирование газа.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. 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.

2. 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 $f = 20$ мм².

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

Отв. $w = 380$ м/с; $M = 0,05$ кг/с.

3. Найти теоретическую скорость истечения пара из сопла Лавалья 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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. $f_{\min} = 355$ мм²; $f_{\max} = 546$ мм².

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 6

Циклы паросиловых установок.

Время на выполнение задания – 4 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- Компрессор. Основные процессы в одноступенчатом компрессоре.
- Работа и мощность на привод компрессора.
- Многоступенчатый компрессор.
- Детандеры.
- Циклы ДВС
- Циклы ГТУ
- Циклы ЖРД.
- Полезная работа и термический КПД цикла Ренкина.
- Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина.
- Промежуточный перегрев пара в цикле Ренкина.
- Циклы парогазовых установок.
- Циклы атомных электростанций.
- Циклы холодильных машин.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. 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; $\eta_{кy} = 0,8$; $\eta_{п} = 0,97$; $\eta_{г} = 0,4$; $\eta_{oi} = 0,82$; $\eta_{м} = 0,98$; $\eta_{г} = 0,97$.
Определить также удельный расход теплоты на 1 кВт·ч.
Отв. $q = 14,9$ МДж/(кВт·ч); $b = 0,498$ кг/(кВт·ч).
2. 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, а температура питательной воды $t_{пв} = 88$ °С. Считать, что турбина работает по циклу Ренкина.
Отв. $V = 6430$ кг/ч.
3. 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. $\eta_t = 42,1$ %; $\varepsilon = 14,4$ %.
4. 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.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 7

Теплопроводность.

Время на выполнение задания – 4 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- физический механизм процесса теплопроводности
- температурное поле, градиент температуры, плотность теплового потока
- закон Фурье, коэффициент теплопроводности
- дифференциальное уравнение теплопроводности
- теплопроводность плоской стенки

- теплопередача через многослойную стенку, коэффициент теплопередачи, термические сопротивления
- теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку, критический диаметр
- теплопроводность в стержне (ребре)
- нестационарная теплопроводность.

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали 450 Вт/м^2 . Температура поверхности под изоляцией $t_{c1} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, температура внешней поверхности изоляции $t_{c2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить толщину изоляции, если $\lambda = 0,09 + 0,0000874t$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

2. Вычислить тепловые потери через 1 м^2 двухслойной плоской стенки и температуру в плоскости соприкосновения слоев, если известно: $\delta_1 = 125 \text{ мм}$; $\delta_2 = 500 \text{ мм}$; $t_{c1} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c3} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda_1 = 0,28 + 0,00023t$; $\lambda_2 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

3. Определить тепловые потери через 1 м длины трехслойной цилиндрической стенки и температуры на границе соприкосновения слоев если известно: $\delta_1 = 5 \text{ мм}$; $\delta_2 = \delta_3 = 50 \text{ мм}$; $\lambda_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_2 = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_3 = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $t_{c1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c4} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; $d = 100 \text{ мм}$.

4. Вычислить потери теплоты с 1 м неизолированного трубопровода диаметром $d_1/d_2 = 150/160 \text{ мм}$, проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой $t_{ж1} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ и температурой окружающего воздуха $t_{ж2} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$. Для материала трубы $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\alpha_1 = 1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $\alpha_2 = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Определить также температуру на внешней и внутренней поверхностях трубы.

5. Определить время, необходимое для нагрева листа стали толщиной $2\delta = 24 \text{ мм}$, который имел начальную температуру $t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, а затем помещён в печь с температурой $t_{ж} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$. Нагрев считать законченным, когда температура листа достигнет значения $t = 450 \text{ }^\circ\text{C}$. Для стали: $\lambda = 45,4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $c_p = 0,502 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\rho = 7800 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\alpha = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

6. Длинный стальной вал диаметром $d = 2 r_0 = 120 \text{ мм}$, имеющий температуру $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ помещён в печь с $t_{ж} = 820 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить время нагрева вала до $t_{r=0} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить также температуру на поверхности вала $t_{r=0}$ в конце нагрева. $\lambda = 21 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $a = 6,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\alpha = 140 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

7. Стальной параллелепипед размером $200 \times 400 \times 500 \text{ мм}$, имел начальную температуру $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, затем был помещён в печь с температурой $t_{ж} = 1400 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить температуру в центре слитка через $1,5$ часа после загрузки в печь. $\lambda = 37,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $a = 6,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\alpha = 168 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

8. Стальная цилиндрическая болванка диаметром 80 мм и длиной 160 мм была равномерно нагрета до $t_0 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$. Болванка охлаждается на воздухе с $t_{ж} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить температуру в центре болванки и в середине торцевой поверхности через 30 мин после начала охлаждения. $\lambda = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $a = 6,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\alpha = 118 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

9. Определить коэффициент теплоотдачи от вертикальной плиты высотой $H = 2 \text{ м}$, к окружающему воздуху, если температура поверхности плиты $t_c = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, температура окружающего воздуха вдали от поверхности $t_{ж} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

10. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности труб, расположенных горизонтально в большом баке, к маслу, если диаметр труб $d = 20 \text{ мм}$, температура масла $t_{ж} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, температура поверхности труб $t_c = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Расчёт можно производить как для одиночного цилиндра.

11. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и плотность теплового потока через вертикальную щель толщиной $\delta = 20 \text{ мм}$, заполненную воздухом. Температура горячей стенки щели $t_{c1} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ и холодной $t_{c2} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 8

Конвективный теплообмен.

Время на выполнение задания – 2 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- молекулярный и молярный перенос теплоты
- тепловой и гидродинамический пограничный слой
- ламинарный и турбулентный режимы течения
- теплоотдача, уравнения конвективного теплообмена
- теория подобия, безразмерные комплексы

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. Определить значение коэффициента теплоотдачи и количество передаваемой теплоты за 1 с при течении воды в горизонтальной трубе диаметром $d = 10$ мм и длиной $l = 1,2$ м, если средние по длине температура воды и стенки трубы равны соответственно $t_{ж} = 30$ °С и $t_c = 60$ °С, расход воды $G = 7 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

2. Какой длины необходимо использовать трубу диаметром $d = 18$ мм для нагрева воды от $t_{ж}' = 5$ °С до $t_{ж}'' = 55$ °С, температура стенки трубы $t_c = 70$ °С, расход воды $G = 72$ кг/ч.

3. Определить коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к охлаждающей воде, если температура стенки $t_c = 28$ °С, внутренний диаметр трубки $d = 16$ мм, $t_{ж}' = 10$ °С, $t_{ж}'' = 18$ °С, средняя скорость воды в трубке $w = 2$ м/с.

4. По трубке внутренним диаметром $d = 18$ мм движется вода со скоростью $w = 1,2$ м/с. Температура стенки трубки $t_c = 90$ °С, вода нагревается от $t_{ж}' = 15$ °С до $t_{ж}'' = 45$ °С. Определить коэффициент теплоотдачи от трубки к воде и плотность теплового потока. Принять, что $l > 50 d$.

5. Трубка диаметром $d = 20$ мм охлаждается потоком воды. Скорость потока $w = 1$ м/с. Средняя температура воды $t_{ж} = 10$ °С и температура стенки трубки $t_c = 50$ °С. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности трубки к охлаждающей воде.

6. Шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком трансформаторного масла. Внешний диаметр труб $d = 20$ мм, скорость потока $w = 0,6$ м/с и $t_{ж} = 40$ °С. Температура стенки трубок $t_c = 90$ °С. Поток обтекает трубки под углом атаки $\varphi = 90$ °. Определить коэффициент теплоотдачи.

7. Коридорный пучок труб обтекается потоком трансформаторного масла. Внешний диаметр труб $d = 20$ мм, скорость потока $w = 0,6$ м/с и $t_{ж} = 40$ °С. Температура стенки трубок $t_c = 90$ °С. Поток обтекает трубки под углом атаки $\varphi = 90$ °. Определить коэффициент теплоотдачи.

8. Шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком воды. Внешний диаметр труб $d = 20$ мм, скорость потока $w = 0,6$ м/с и $t_{ж} = 40$ °С. Температура стенки трубок $t_c = 90$ °С. Поток обтекает трубки под углом атаки $\varphi = 45$ °. Определить коэффициент теплоотдачи.

9. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром $d = 20$ мм и длиной $l = 2$ м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении $P = 10^5$ Па. Температура поверхности трубы $t_c = 94,5$ °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество конденсирующегося пара.

10. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром $d = 20$ мм и высотой $h = 2$ м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении $P = 10^5$ Па. Температура поверхности трубы $t_c = 94,5$ °С. Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество конденсирующегося пара.

11. Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя к кипящей воде, если плотность теплового потока через поверхность нагрева $q = 2 \cdot 10^5$ Вт/м², режим кипения пузырьковый и вода находится под давлением $P = 2 \cdot 10^5$ Па.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное решение задачи.

Практическая работа № 9

Лучистый теплообмен. Теплообменные аппараты.

Время на выполнение задания – 8 час.

Тип практического задания – расчетная работа.

Устные вопросы по теме практического задания:

- основные понятия и законы теплового излучения
- абсолютно черное тело, серые тела
- теплообмен излучением между телами
- теплообмен излучением в газах и парах
- расчет лучистого теплообмена
- типы теплообменных устройств
- основные уравнения теплового расчета

Практическое задание (решение задачи по варианту преподавателя):

1. Определить излучательную способность поверхности Солнца, если известно, что ее температура равна $5700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и условия излучения близки к излучению абсолютно черного тела. Вычислить также длину волны, при которой будет наблюдаться максимум спектральной интенсивности излучения и общее количество лучистой энергии, испускаемой Солнцем в единицу времени, если диаметр Солнца можно принять равным $1,391 \cdot 10^6\text{ м}$.

Ответ: $E_0 = 72,2 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$; $\lambda_{\text{макс}} = 0,485\text{ мкм}$; $Q = 4,38 \cdot 10^{26}\text{ Вт}$.

2. Поверхность стального изделия имеет температуру $t_c = 727\text{ }^{\circ}\text{C}$ и степень черноты $\varepsilon_c = 0,7$. Излучающую поверхность можно считать серой.

Вычислить плотность собственного излучения поверхности изделия и длину волны, которой будет соответствовать максимальное значение спектральной интенсивности излучения.

Ответ: $E = 3,97 \cdot 10^4\text{ Вт/м}^2$; $\lambda_{\text{макс}} = 2,898\text{ мкм}$.

3. Определить плотность солнечного лучистого потока, падающего на плоскость, нормальную к лучам Солнца и расположенную за пределами атмосферы Земли. Известно, что излучение Солнца близко к излучению абсолютно черного тела с температурой $t_0 = 5700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Диаметр Солнца $D = 1,391 \cdot 10^6\text{ км}$, расстояние от Земли до Солнца $l = 149,5 \cdot 10^6\text{ км}$.

Ответ: $E_{\text{над}} = 1550\text{ Вт/м}^2$.

4. Искусственный спутник облетает Землю, находясь на ее дневной стороне. Спутник имеет форму шара. Поглощательная способность поверхности спутника для падающего солнечного излучения A , а ее степень черноты ε .

Определить температуру поверхности спутника.

Принять, что внутри спутника источники теплоты отсутствуют, а температура поверхности всюду одинакова. Отраженное от Земли солнечное излучение и собственное излучение Земли не учитывать.

Ответ: $T = 288 \sqrt[4]{\frac{A}{\varepsilon}},\text{ К}$; $t = 288 \sqrt[4]{\frac{A}{\varepsilon}} - 273\text{ }^{\circ}\text{C}$

5. Решить задачу 4, приняв, что поверхность выполнена из металла, для которого $A = 0,2$ и $\varepsilon = 0,1$.

Ответ: $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Найти температуру поверхности спутника в условиях задачи 4, предположив, что эта поверхность абсолютно серая.

Ответ: $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7. Найти, каким должно быть отношение поглотательной способности поверхности спутника для падающего солнечного излучения к степени черноты в условиях задачи 4, чтобы температура поверхности была равна 30 °С.

Ответ: $A/\varepsilon = 1,225$.

8. Космический корабль, стартовавший с Земли, направляется к Венере. Расстояние от Венеры до Солнца $108,1 \cdot 10^6$ км, а от Земли до Солнца $149,5 \cdot 10^6$ км. Температура поверхности корабля вблизи Земли равна t_1 , °С.

Как изменится температура поверхности космического корабля, когда он станет приближаться к Венере, если считать, что степень черноты поверхности при изменении температуры корабля не изменяется?

Ответ: $t_2 = (1,18t_1 + 48)^\circ\text{C}$.

9. Обмуровка топочной камеры парового котла выполнена из шамотного кирпича, а внешняя обшивка - из листовой стали. Расстояние между обшивкой и кирпичной кладкой равно 30 мм, и можно считать его малым по сравнению с размерами стен топки.

Вычислить потери теплоты в окружающую среду с единицы поверхности в единицу времени в условиях стационарного режима за счет лучистого теплообмена между поверхностями обмуровки и обшивки. Температура внешней поверхности обмуровки $t_1 = 127$ °С, а температура стальной обшивки $t_2 = 50$ °С. Степень черноты шамота $\varepsilon_{ш} = 0,8$ и листовой стали $\varepsilon_c = 0,6$.

Ответ: $E_{p1} = q_{1,2} = 435$ Вт/м².

10. Вычислить значения собственного, эффективного, отраженного и падающего излучений для поверхности шамотной кладки и стальной обшивки в условиях задачи 9.

Ответ: $E_{нид1} = 1161$ Вт/м², $E_{нид2} = 370$ Вт/м²;

$$E_{y\phi_1} = 1342 \text{ Вт/м}^2, \quad E_{y\phi_2} = 907 \text{ Вт/м}^2;$$

$$E_{i\phi_1} = 181 \text{ Вт/м}^2, \quad E_{i\phi_2} = 537 \text{ Вт/м}^2;$$

$$E_{i\phi\phi_1} = 907 \text{ Вт/м}^2, \quad E_{i\phi\phi_2} = 1342 \text{ Вт/м}^2.$$

11. Как изменятся тепловые потери $q_{л}$, Вт/м², в окружающую среду и эффективный лучистый поток $E_{эф1}$, Вт/м², если между обмуровкой и обшивкой топочной камеры, рассмотренной в задаче 9, установить стальной экран, имеющий степень черноты $\varepsilon_{эк} = 0,6$?

Ответ: $\dot{A}_{\phi 1} = q_{\phi 1} = 196$ Вт/м²; $\dot{A}_{y\phi 1} = 1400$ Вт/м².

12. Какой должна быть степень черноты экрана для того, чтобы при наличии одного защитного экрана между обмуровкой и стальной обшивкой тепловые потери в окружающую среду за счет излучения не превышали 60 Вт/м²? Все другие условия сохраняются, как в задаче 9.

Ответ: $\varepsilon_{\phi} = 0,143$.

12. Определить коэффициент ослабления луча слоем двуокиси углерода толщиной 30 мм, если известно, что после прохождения этого слоя спектральная интенсивность луча уменьшилась на 90%.

Ответ

$$\chi_{\lambda} = 76,7 \text{ 1/м.}$$

13. Поглотательная способность слоя газа толщиной ℓ_1 при парциальном давлении p_1 равна $A_{\lambda 1}$.

Определить поглотательную способность газа при одновременном изменении толщины слоя и парциального давления до величин соответственно ℓ_2 и p_2 . Считать, что для данного газа справедлив закон Бугера, а температура газа в близких случаях одна и та же.

Ответ

$$A_{\lambda 2} = 1 - (1 - A_{\lambda 1}) \frac{\rho_2 \lambda_2}{\rho_1 \lambda_1} .$$

14. В закрытой с обеих сторон трубе диаметром 200 мм и длиной 1 м находится смесь сухого воздуха и двуокиси углерода. Полное давление и температура смеси равны соответственно 98,1 кПа и 800 °С. Парциальное давление двуокиси углерода равна 9 кПа.

Найти степень черноты находящейся в трубе смеси газов.

Ответ: $\varepsilon = 0,06$.

15. В нагревательной печи температура газов по всему объему постоянна и равна 1200 °С. Объем печи $V = 12 \text{ м}^3$, и полная поверхность ограждения $F = 28 \text{ м}^2$.

Общее давление продуктов сгорания $p = 98,1 \text{ кПа}$, парциальное давление водяных паров $p_{\text{H}_2\text{O}} = 8 \text{ кПа}$ и углекислоты $p_{\text{CO}_2} = 12 \text{ кПа}$.

Вычислить степень черноты излучающей газовой смеси и собственное излучение продуктов сгорания.

Ответ: $\varepsilon_{\text{г}} = 0,215$; $E_{\text{соб.г}} = 57400 \text{ Вт/м}^2$.

16. В вертикальном водоподогревателе нагреваемая вода движется по трубам, на наружной поверхности которых конденсируется сухой насыщенный водяной пар под давлением $p = 5,6 \text{ МПа}$. Температура наружной поверхности труб $t_c = 260 \text{ °С}$.

Определить количество теплоты Q , кВт, передаваемое воде, если водоподогреватель выполнен из $n = 112$ труб наружным диаметром $d = 16 \text{ мм}$ и высотой $H = 2 \text{ м}$.

Ответ: $Q = 1 \text{ МВт}$.

17. На вертикальной трубе водонагревателя конденсируется сухой насыщенный водяной пар. Давление пара $p = 8,6 \text{ МПа}$. Температура наружной поверхности трубы $t_c = 287 \text{ °С}$, Высота трубы $H = 1,8 \text{ м}$.

Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубы.

Ответ: $\alpha = 8100 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.