

$$\lambda = 0,0321 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad \nu = 23,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad \text{Pr} = 0,688.$$

При расчете числа Грасгофа, за определяющий размер в данной задаче берется наименьший размер пластины, т.е. $d = 0,5 \text{ м}$.

$$\text{Gr}_m = \frac{g \beta \Delta t d^3}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{373} (200 - 0) \cdot 0,5^3}{(23,13 \cdot 10^{-6})^2} = 1,229 \cdot 10^9.$$

По произведению $(\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m = 1,229 \cdot 10^9 \cdot 0,686 = 8,43 \cdot 10^8$ из таблицы 10 выбираем $B = 0,135$, $n = 1/3$.

Число Нуссельта

$$\overline{\text{Nu}} = B (\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m^n = 0,135 (8,43 \cdot 10^8)^{\frac{1}{3}} = 127,5.$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\bar{\alpha} = \frac{\overline{\text{Nu}} \lambda}{d} = \frac{127,5 \cdot 0,0321}{0,5} = 8,19 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Если теплоотдающая поверхность направлена вверх, то найденное значение $\bar{\alpha}$ нужно увеличивать на 30%, т.е.

$$\bar{\alpha}_* = \bar{\alpha} \cdot 1,3 = 8,19 \cdot 1,3 = 10,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Потери теплоты за счет свободной конвекции

$$Q_k = \bar{\alpha}_* (t_c - t_{ж}) F = 10,6 \cdot (200 - 0) \cdot 0,5 = 1064 \text{ Вт}.$$

Потери теплоты за счет излучения

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon C_0 F \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ж}}}{100} \right)^4 \right] = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 0,5 \left[\left(\frac{473}{100} \right)^4 - \left(\frac{273}{100} \right)^4 \right] = 1008 \text{ Вт}.$$

Общие потери от горизонтальной плиты

$$Q = Q_k + Q_{\text{л}} = 1064 + 1008 = 2072 \text{ Вт}.$$

В данной задаче потери теплоты за счет конвекции и излучением соизмеримы. Чем выше температура поверхности плиты, тем потери теплоты от излучения будут расти быстрее, чем за счет конвекции и наоборот.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Общие методические указания

Номера вопросов даны в таблице 11 в зависимости от двух последних цифр шифра студента. Например, если две последние цифры шифра студента 37, то по последней цифре (7) студент отвечает на вопросы 8 и 18, а по предпоследней цифре (3) на вопросы 24 и 34.

Отвечать на вопросы следует кратко, по существу.

Таблица 11

Последняя цифра шифра	Номера вопросов		Предпоследняя цифра шифра	Номера вопросов	
0	1	11	0	21	31
1	2	12	1	22	32
2	3	13	2	23	33
3	4	14	3	24	34
4	5	15	4	25	35
5	6	16	5	26	36
6	7	17	6	27	37
7	8	18	7	28	38
8	9	19	8	29	39
9	10	20	9	30	40

Вопросы

1. В баллоне внутренним диаметром 22 см высотой $h = 80$ см находится углекислый газ. Манометр показывает давление 2,5 МПа. Баллон находится в помещении с температурой 20 °С. Определить массу газа в баллоне.

2. Как изменится плотность атмосферного воздуха, если температура его понизилась с 20 °С до 0 °С, а барометрическое давление не изменилось?

3. Давление атмосферного воздуха в помещении объемом $7 \times 4 \times 3$ м³ составляет 0,1 МПа. Как изменится плотность воздуха и его количество в кг, если температура снизится с 25 °С до 10 °С ?

4. Природный газ ($R = 720$ Дж/кг·К) находится в резервуаре емкостью 100 м³ при давлении 0,95 МПа (показания манометра) и температуре 25 °С. Определить массу газа, выпущенного из резервуара, если открыть вентиль. Атмосферное давление 0,1 МПа.

5. Во сколько раз масса азростата, заполненного гелием, больше массы азростата, заполненного водородом, если давление газа 0,1 МПа, температура 20 °С, объем азростата 4000 м³, масса оболочки азростата 700 кг, молярные массы гелия и водорода равны соответственно 4 кг/кмоль и 2кг/кмоль.

6. Сравните массы воздуха в неотапливаемом помещении зимой и летом. Размеры помещения $5 \times 10 \times 3$ м³, атмосферное давление 0,1 МПа, температура зимой – 20 °С, летом – 25 °С.

7. Объемный состав компонентов влажного воздуха: 21 % кислорода O_2 ($\mu=32$), 78,1 % азота N_2 ($\mu = 28$) и 0,9% водяного пара H_2O ($\mu = 18$). Определить газовую постоянную влажного воздуха.

8. Месторождение природного газа имеет объемный состав: 94 % метана CH_4 ($\mu = 16$), 4,5 % азота N_2 ($\mu = 28$) и 1,5 % этана C_2H_6 ($\mu = 30$). Ежесуточная выдача газа составляет 10 млн. m^3 при нормальных физических условиях $P=760$ мм рт.ст., $t=0^\circ C$. Сколько килограммов газа выдается каждые сутки?

9. Два сосуда разобщены между собой. В одном сосуде объемом 100 л находится окись углерода CO_2 ($\mu = 44$) при температуре $1500^\circ C$ и давлении 1 МПа, в другом сосуде объемом 50 л находится азот N_2 ($\mu = 28$) при температуре $300^\circ C$ и давлении 2 МПа. Какое давление покажет манометр после соединения сосудов между собой, если температура газовой смеси $622^\circ C$?

10. Газовая смесь состоит из кислорода O_2 ($\mu = 32$) и азота N_2 ($\mu = 28$). Газовая постоянная смеси $R = 262,6$ Дж/кг·К. Найти относительный объемный состав газовой смеси.

11. Показать, что теплоемкость политропного процесса при соответствующих значениях политропы переходит в теплоемкость изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного процессов.

12. Изобразить в $T-S$ – координатах политропные процессы расширения газа от p_1, v_1 до v_2 , если показатель политропы а) $n < 1$, б) $1 < n < k$, в) $n > k$. В каком из этих процессов теплоемкость отрицательна?

13. Параметры изобарного процесса воздуха: $p = 0,5$ МПа, $v_1 = 0,1$ m^3/kg , $v_2 = 0,6$ m^3/kg . Определить T_1, T_2 , работу процесса w и l . Показать процесс в $p-v$ и $T-s$ – диаграммах.

14. В изохорном процессе аммиак (NH_3) имеет параметры: $p_1 = 0,1$ МПа, $v = 0,5$ m^3/kg , $p_2 = 0,5$ МПа. Определить работу процесса w и l , температуры T_1 и T_2 . Изобразить процесс в $p-v$ и $T-s$ – диаграммах.

15. Для изобарного процесса воздуха дано: $t_1 = 30^\circ C$, $t_2 = 150^\circ C$. Определить работу процесса (w). Принять, что воздух – идеальный газ.

16. Для изохорного процесса воздуха дано: $t_1 = 30^\circ C$, $t_2 = 150^\circ C$. Определить внешнюю работу процесса (l). Принять, что воздух – идеальный газ.

17. При проведении эксперимента было выяснено, что для нагрева 10 кг углекислого газа CO_2 , заключенного в герметичном баллоне, от $100^\circ C$ до $180^\circ C$ требуется 609 кДж тепла. Рассчитать по этим данным среднюю теплоемкость углекислого газа.

18. В изобарном процессе метана CH_4 температура изменяется от 20°C до 150°C . Изобразить процесс в p - v и T - S – диаграммах. Вычислить Δu , Δh , ΔS . Теплоемкость принять постоянной (таблица 2 приложения).
19. Назвать 5 состояний, в которых может находиться H_2O . Дать характеристику этих состояний.
20. Что такое степень сухости пара? Как рассчитываются параметры мокрого пара?
21. Какие состояния H_2O располагаются на диаграммах p - v , h - s и T - S на пограничных кривых, между пограничными кривыми, слева от нижней пограничной кривой, справа от верхней пограничной кривой?
22. Чем объяснить, что в изотермическом процессе водяного пара не выполняется равенство $q = w = l$, справедливое для идеального газа?
23. Что такое предельная скорость истечения газа или пара, в каких случаях она реализуется?
24. Скорость звука. Как рассчитывается скорость звука для идеального газа? Для реальных газов и паров?
25. Изобразите графики изменения параметров рабочего тела (давления, температуры, удельного объема, скорости потока, скорости звука) при движении потока через суживающееся сопло, сопло Лавала, расширяющееся сопло.
26. Что такое процесс дросселирования? Дифференциальный эффект дросселирования, температура инверсии?
27. Как выбирается профиль сопла?
28. Что такое индикаторная диаграмма компрессора? Проведите сравнение действительной и теоретической индикаторной диаграмм.
29. Классификация компрессорных установок, основные конструктивные системы поршневого компрессора.
30. Какие циклы осуществляются в ДВС? Изобразите их в p - v и T - S – диаграммах, покажите, в каких процессах подводится тепло, в каких отводится.
31. Циклы газотурбинных установок, регенерация теплоты в ГТУ, p - v и T - S – диаграммы циклов газотурбинных установок, указать, в каких процессах подводится теплота, в каких отводится.

32. Способы переноса теплоты. Сформулируйте законы переноса теплоты. Какой физический смысл имеют коэффициенты пропорциональности в законах?

33. Какими способами передается теплота от горячей воды к воздуху через стенку батареи отопления?

34. Тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через цилиндрическую или плоскую стенку, рассчитывается по формуле $Q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{R}$, Вт.

Запишите формулы для термического сопротивления R плоской и цилиндрической стенок.

35. Как формулируются граничные условия первого, второго и третьего рода? Для чего они используются при решении дифференциального уравнения?

36. Что такое коэффициент теплопередачи? Запишите выражение коэффициента теплопередачи плоской стенки, цилиндрической стенки. Отличие коэффициента теплопередачи от коэффициента теплоотдачи и коэффициента теплопроводности.

37. Сформулируйте условия подобия физических процессов. Каково практическое применение теории подобия и моделирования процессов конвективного теплообмена?

38. Какие режимы могут иметь место при вынужденном течении жидкости в трубах? Как определить режим течения?

39. Приведите уравнение подобия для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при вынужденном турбулентном течении жидкости в трубе. Проанализируйте зависимость коэффициента теплоотдачи от диаметра трубы, вязкости, скорости, теплопроводности, теплоемкости и плотности жидкости.

40. Запишите числа Грасгофа, Рейнольдса и Прандтля, поясните их физический смысл, докажите, что они безразмерны путем подстановки размерности величин, входящих в них.