

Задания экзаменационных билетов вступительного испытания в магистратуру ИПЭЭФ (направление 13.04.01) заочное

Теоретические основы теплотехники

1) На сколько изменится максимальный термический КПД, который можно получить в термодинамическом цикле, если температура холодного источника увеличится с $t_{21} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{22} = 58\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура горячего источника уменьшится с $t_{11} = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{12} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение:

Максимальный термодинамический КПД цикла определяется по формуле Карно:

$$\eta = 1 - T_{\min} / T_{\max}$$

Здесь T_{\max} и T_{\min} - абсолютные температуры горячего и холодного источника теплоты соответственно.

Вычисляем первоначальное значение КПД

$$\eta_1 = 1 - (273 + t_{21}) / (273 + t_{11}) = 1 - (273 + 30) / (273 + 1000) = 0,762$$

Вычисляем новое значение КПД

$$\eta_2 = 1 - (273 + t_{22}) / (273 + t_{12}) = 1 - (273 + 60) / (273 + 500) = 0,572$$

Разница между первоначальным и новым значениями КПД составляет:

$$\eta_1 - \eta_2 = 0,762 - 0,572 = 0,19$$

Ответ: Значение КПД уменьшится на 0,19

2) Рассчитать сопротивление теплопередаче многослойной наружной ограждающей конструкции.

Исходные данные:

№	Материал	Толщина, мм	Теплопроводность, Вт/(м·°C)
Слой №1	Кирпич силикатный	120	0,61
Слой № 2	ПСБ-15	125	0,048
Слой № 3	Наружная штукатурка	20	1,1

Решение

Сопротивление теплопередачи определяется по формуле [1]:

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} + \sum \frac{\delta_{\text{сл}}}{\lambda_{\text{сл}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}$$

где $\alpha_{\text{нар}}$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C). Численное значение коэффициента принимается равным 23 по таблице 6 [1];

$\alpha_{\text{вн}}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C). Численное значение коэффициента принимается равным 8,7 по таблице 4 [1];

$\delta_{\text{сл}}$ - толщина слоя многослойной конструкции, м;

$\lambda_{\text{сл}}$ - теплопроводность слоя многослойной конструкции, Вт/(м·°C)

$$R = \frac{1}{23} + \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,61} + \frac{125 \cdot 10^{-3}}{0,048} + \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1,1} + \frac{1}{8,7} = 2,98,$$

Ответ: Сопротивление теплопередачи $R = 2,98$

Литература:

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. – М.: Минрегион России, 2012.

3) Во сколько раз изменится коэффициент теплоотдачи, турбулентного потока газа в трубе, если коэффициент динамической вязкости газа уменьшится вдвое? Число Прандтля газа считать постоянным.

Решение

Коэффициент теплоотдачи газа α при конвективном теплообмене определяется по числу Нуссельта Nu :

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

Число Нуссельта при стабилизированном турбулентном течении в трубе определяется по формуле Михеева.

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$$

В формулу входят значения чисел Рейнольдса Re и Прандтля Pr . Последнее по условию задачи считается постоянным.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

В значение числа Рейнольдса входит значение коэффициента кинематической вязкости ν . При уменьшении его значения вдвое, число Рейнольдса увеличится в два раза.

Число Нуссельта, согласно формуле Михеева вырастет в $2^{0,8}$ раза, т.е. в 1,74 раза.

Следовательно коэффициент теплоотдачи также вырастет в 1,74 раза.

Ответ: Коэффициент теплоотдачи увеличится в 1,74 раза

4) Что повлияет сильнее на коэффициент теплопередачи водяного экономайзера?

1. Увеличение скорости продуктов сгорания в 2 раза 2. Уменьшение диаметра труб в 2 раза

Решение

Коэффициент теплопередачи в водяном экономайзере определяется коэффициентом теплоотдачи со стороны газов, который в безразмерном виде описывается следующими соотношениями:

– для коридорного пучка труб $Nu \sim Re^{0,65}$;

– для шахматного пучка труб $Nu \sim Re^{0,6}$.

Из соотношения $Nu \sim Re^{0,65}$ следует $\frac{\alpha d}{\lambda} \sim \left(\frac{w d}{\nu} \right)^{0,65}$ или $\alpha \sim w^{0,65} d^{-0,35}$. Следовательно, при

увеличении скорости w продуктов сгорания в 2 раза коэффициент теплоотдачи α возрастет в $2^{0,65}$ раза, тогда как при уменьшении диаметра труб d в 2 раза коэффициент теплоотдачи возрастет в $2^{0,35}$ раза, то есть в меньшей степени. Вывод: на коэффициент теплопередачи в водяном экономайзере сильнее влияет увеличение скорости продуктов сгорания в 2 раза

Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях

1) Предприятие потребляет в год 24 000 тонн условного топлива. Единственным потребляемым энергоресурсом предприятия является электрическая энергия. Определите ее затраты в течение года.

Решение:

Для перевода затрат электрической и тепловой энергии в условное топливо используются удельные расходы условного топлива на выработку электрической энергии и на выработку тепловой энергии.

Удельные расход условного топлива на выработку электрической энергии и на выработку тепловой энергии в России согласно данным Госкомстата составляют соответственно:

$$q_э = 0,3445 \text{ т.у.т./1000 кВт}\cdot\text{ч}$$

$$q_m = 0,1486 \text{ т.у.т./Гкал}$$

Затраты условного топлива M на выработку электрической энергии \mathcal{E} и тепловой энергии Q могут быть вычислены по формулам:

$$M = q_э \cdot \mathcal{E}$$

$$M = q_m \cdot Q$$

Если известно потребление электроэнергии выраженное в условном топливе, то ее затраты могут быть вычислены как:

$$\mathcal{E} = M / q_s = 24000 / 0,344 = 70000 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч} = 70 \text{ млн. кВт}\cdot\text{ч}$$

Ответ: Затраты электроэнергии предприятием составляют 79 млн. кВт·ч.

Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки

1) Определить коэффициент теплопередачи в прямоточном теплообменном аппарате, если температура холодного теплоносителя на входе и выходе составляют соответственно + 10°C и + 50°C. Температуры горячего теплоносителя на входе и выходе составляют соответственно + 130°C и + 65°C. Площадь поверхности теплообменного аппарата составляет 15 м². Тепловая мощность равна 125 кВт.

Решение

Уравнение теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{лог}}$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К, F – площадь теплопередающей поверхности, $\Delta t_{\text{лог}}$ – логарифмический температурный напор.

Из уравнения теплопередачи выражаем коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{\text{лог}}}$$

Логарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{\text{лог}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)}$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ – большая разность температур, $\Delta t_{\text{м}}$ – меньшая разность температур.

Для прямоточного течения теплоносителей разности температур на входе и выходе соответственно равны:

$$\Delta t_{\text{вх}} = t'_z - t'_x = 130 - 10 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{вых}} = t''_z - t''_x = 65 - 50 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Сравнивая разности температур на входе и выходе из теплообменного аппарата, получаем

$$\Delta t_{\text{б}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}, \Delta t_{\text{м}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тогда средний логарифмический напор равен:

$$\Delta t_{\text{лог}} = \frac{120 - 15}{\ln\left(\frac{120}{15}\right)} = 50,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплопередачи составляет:

$$k = \frac{125 \cdot 10^3}{15 \cdot 50,5} = 165 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

2) Определите эффективность теплообменного аппарата при следующих исходных данных: Расход горячего теплоносителя 1 кг/с. Его теплоемкость 4200 Дж/(кг·К). Его начальная температура + 120 °С, конечная + 100 °С. Расход холодного теплоносителя 2 кг/с. Его теплоемкость 1000 Дж/(кг·К). Его начальная температура + 20 °С.

1. 0,50. 2. 0,42. 3. 0,72. 4. 0,46.

Решение

Эффективность ТА (теплообменного аппарата) – это отношение теплового потока, отдаваемого в реальном ТА к переданному в идеальный ТА.

$$E = \frac{Q_p}{Q_u}$$

Идеальный ТА – противоточный ТА бесконечной длины, в котором отсутствуют тепловые потери и полностью срабатывается температурный напор между теплоносителями.

$$W_1 = G_1 C_{p1}$$

$$W_2 = G_2 C_{p2}$$

Выражение для нахождения эффективности ТА:

$$E = \frac{W_1(t_1' - t_1'')}{W_{\min}(t_1' - t_2')} = \frac{W_2(t_2'' - t_2')}{W_{\min}(t_1' - t_2')}.$$

$$N = \frac{kF}{W_{\min}}$$

где W_{\min} – число единиц переноса, где k – коэффициент теплопередачи, F – площадь теплообмена.

В случае наличия фазового перехода теплоносителя (при конденсации или испарении) эффективность ТА определяется по формуле:

$$E = 1 - e^{-N}$$

Полная теплоемкость теплоносителя в случае наличия фазового перехода является максимальной, тогда эффективность ТА определяется по формуле:

$$E = \frac{W_2(t_2' - t_2'')}{W_{\min}(t_s - t_2')} = \frac{(t_2'' - t_2')}{(t_s - t_2')}$$

1. Определим полные теплоемкости теплоносителей

$$W_1 = G_1 C_{p1} = 1 \cdot 4200 = 4200 \left(\frac{Bm}{K} \right) = W_{\max}$$

$$W_2 = G_2 C_{p2} = 2 \cdot 1000 = 2000 \left(\frac{Bm}{K} \right) = W_{\min}$$

2. Определим эффективность ТА

$$E = \frac{W_1(t_1' - t_1'')}{W_{\min}(t_1' - t_2')} = \frac{4200(120 - 100)}{2000(120 - 20)} = 0,42$$

Ответ: Эффективность теплообменного аппарата $E=0,42$.

3) Какова будет температура стенки, которая разделяет теплоносители, в теплообменном аппарате, если: коэффициент теплоотдачи со стороны горячего теплоносителя равен 200 Вт/(м²·К) его температура равна 120 °С, коэффициент теплоотдачи со стороны холодного теплоносителя равен 300 Вт/(м²·К), его температура равна 80 °С? Стенка считается термически тонкой (состоит из материала с высокой теплопроводностью).

Решение

Запишем закон Ньютона-Рихмана на поверхностях со стороны горячего и со стороны холодного теплоносителей по направлению теплового потока (от горячего теплоносителя к холодному).

$$q_{\Gamma} = \alpha_{\Gamma}(T_{\Gamma} - T_{\text{C}});$$

$$q_{\text{X}} = \alpha_{\text{X}}(T_{\text{C}} - T_{\text{X}}).$$

Так как стенка считается термически тонкой, то температура обеих поверхностей стенки будет одинакова. Запишем баланс теплового потока, проходящего через стенку.

$$q_{\Gamma} = q_{\text{X}} = \alpha_{\Gamma}(T_{\Gamma} - T_{\text{C}}) = \alpha_{\text{X}}(T_{\text{C}} - T_{\text{X}})$$

Выразим из полученного теплового баланса температуру стенки и определим ее величину.

$$T_{\text{C}} = \frac{\alpha_{\Gamma} T_{\Gamma} + \alpha_{\text{X}} T_{\text{X}}}{\alpha_{\Gamma} + \alpha_{\text{X}}} = \frac{200 \cdot 120 + 300 \cdot 80}{200 + 300} = 96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: Стенка будет иметь температуру 96 °С.

- 4) Для параметров воздуха $t = 25^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 75\%$ температура точки росы:
- выше температуры мокрого термометра
 - ниже температуры мокрого термометра
 - равна температуре мокрого термометра
 - зависит от начальных параметров воздуха.

Решение:

На рисунке в h - d диаграмме влажного воздуха из точки A ($t = 25^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 75\%$) построены процессы $d=\text{const}$ и $h=\text{const}$ и нанесены температуры мокрого термометра t_M и точки росы $t_{\text{рос}}$. Как видно из построенных процессов в h - d диаграмме влажного воздуха, температура точки росы ниже, чем температура мокрого термометра.

