

2.3 Лучистый теплообмен

Теплообмен **излучением** (лучистый теплообмен) свойственен всем телам, температура которых не равна абсолютному нулю.

Энергия, излучаемая всем телом по всем направлениям и длинам волн в единицу времени, называется **интегральным излучением**, обозначается Q^* и измеряется в ваттах.

Интегральное излучение, приходящееся **на единицу поверхности**, называется **плотностью** интегрального излучения, обозначается E и измеряется в ваттах на квадратный метр.

Интенсивность интегрального излучения – это отношение плотности интегрального излучения к длине волны, Вт/м³:

$$I = \frac{Q}{F \lambda} = \frac{E}{\lambda}. \quad (241)$$

Все тела не только излучают энергию, но и поглощают, отражают и пропускают через себя падающие лучи от другого тела:

$$A + R + D = 1, \quad (242)$$

где A - поглотительная способность тела, это отношение энергии, поглощенной телом, ко всей падающей энергии, величину A называют коэффициентом поглощения;

R - отражательная способность тела, это отношение энергии, отраженной телом, ко всей падающей энергии, величину R называют коэффициентом отражения;

D - коэффициент пропускания, характеризует способность тела пропускать энергию излучения.

Закон Планка: интенсивность излучения абсолютно черного тела и любого реального тела зависит от температуры и длины волны:

$$I_{s\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1}, \quad (243)$$

где $I_{s\lambda}$ – интенсивность излучения абсолютно черного тела, Вт/м³;

C_1, C_2 – постоянные Планка;

λ – длина волны, м;

T – абсолютная температура, К;

e – основание натурального логарифма.

Длина волны λ в микрометрах, отвечающая максимальному значению интенсивности излучения, определяется **законом смещения Вина**:

$$\lambda_{\max} = 2,9 / T, \quad (244)$$

где T – абсолютная температура, К.

Закон Стефана – Больцмана: плотность интенсивности излучения абсолютного черного тела (E_s) пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры:

$$E_s = \sigma T^4, \quad (245)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴).

Для технических расчетов закон Стефана-Больцмана обычно записывают в виде

$$E_s = C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (246)$$

где $C_s = 5,67$ Вт/(м² · К⁴) – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Закон Стефана – Больцмана для реальных тел имеет следующий вид:

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 = C_s \varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (247)$$

где C – коэффициент излучения реального тела, Вт/(м² · К⁴);

ϵ - степень черноты реального тела (приложение Н).

Закон Кирхгофа: отношение энергии излучения к коэффициенту поглощения не зависит от природы тела и равно энергии излучения абсолютно черного тела при той же температуре.

Закон Ламберта: максимальное излучение E_n имеет место в направлении нормали к поверхности; количество энергии, излучаемой под углом φ к нормали, E_φ пропорционально косинусу угла φ :

$$E_\varphi = E_n \cos \varphi. \quad (248)$$

При расчете лучистого теплообмена обычно рассматривается 2 случая: теплообмен между двумя параллельными поверхностями и теплообмен между телами, когда одно из них находится внутри другого.

Плотность лучистого потока между параллельными поверхностями, Вт/м²,

$$q = C_{\text{пр}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \epsilon_{\text{пр}} C_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (249)$$

где $C_{\text{пр}}$ - приведенный коэффициент излучения системы тел;

$\epsilon_{\text{пр}}$ - приведенный коэффициент черноты системы тел.

Приведенный коэффициент излучения рассчитывают по формуле

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 - 1/C_s}, \quad (250)$$

где C_1 , C_2 , C_s - коэффициенты излучения 1-го, 2-го и абсолютно черного тела.

Приведенный коэффициент черноты системы тел

$$\epsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1}, \quad (251)$$

где ϵ_1 , ϵ_2 - коэффициенты черноты 1-го, 2-го тел.

Тепловой поток между телами, когда одно из них (площадь поверхности F_1) находится внутри другого (площадь поверхности F_2), определяют по формуле

$$Q^* = \frac{F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{1/C_1 + F_1 (1/C_2 - 1/C_s)/F_2} = \frac{C_s F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{1/\varepsilon_1 + F_1 (1/\varepsilon_1 - 1)/F_2}. \quad (252)$$

В этом случае приведенная степень черноты системы тел

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + F_1 (1/\varepsilon_1 - 1)/F_2} \quad (253)$$

или приведенный коэффициент излучения системы тел

$$C_{пр} = \frac{1}{1/C_1 + F_1 (1/C_2 - 1/C_s)/F_2}. \quad (254)$$

Если 1-я поверхность мала по сравнению со 2-й поверхностью, то выражение F_1/F_2 приближается к нулю, а уравнение теплообмена принимает вид:

$$Q = C_1 F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \quad (255)$$

Теплообмен между двумя произвольно расположенными телами может быть рассчитан по формуле

$$Q = \varphi \varepsilon_{пр} C_s F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (256)$$

где φ - коэффициент облученности тела, учитывающий долю излучения первого тела, которая воспринимается вторым; приводится в справочниках или рассчитывается, например для круглых пластин (диаметром d , расположенных на расстоянии h), по формуле

$$\varphi = \left[\frac{h}{d} - \sqrt{1 + \left(\frac{h}{d} \right)^2} \right]^2. \quad (257)$$

В приближенных расчетах величину приведенного коэффициента степени черноты ($\epsilon_{\text{пр}}$) допустимо рассчитывать по формуле

$$\epsilon_{\text{пр}} = \epsilon_1 \epsilon_2 . \quad (258)$$

Для уменьшения передачи теплоты излучением используют установку **экранов**. Защитное действие экрана, установленного между двумя параллельными поверхностями (при условии, что площади и коэффициенты излучения поверхностей и экрана одинаковы), состоит в уменьшении передачи теплоты излучением в 2 раза. Температуру экрана можно определить из выражения

$$\left(\frac{T_{\text{эк}}}{100} \right)^4 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] . \quad (259)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется по формуле

$$\alpha_{\text{изл}} = \frac{q_{\text{изл}}}{T_{\text{г}} - T_{\text{ст}}} , \quad (260)$$

где $T_{\text{г}}$ и $T_{\text{ст}}$ – абсолютная температура газа и стенки, К.

При расчете сложного теплообмена, когда теплота передается двумя или даже всеми тремя способами одновременно, рассчитывают суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{изл}} . \quad (261)$$

Примеры решения задач

95 Определить собственную излучательную способность стенки летательного аппарата с коэффициентом излучения $4,53 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$, если температура поверхности стенки 1027°С . Определить также степень черноты стенки и длину волны, отвечающей максимуму интенсивности излучения.

Решение:

Излучательную способность стенки летательного аппарата определяем по формуле (247):

$$E = 4,53 \cdot \left(\frac{1300}{100} \right)^4 = 1,256 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2.$$

Степень черноты определяем из равенства $\epsilon C_s = C$,

$$\text{Откуда} \quad \epsilon = \frac{C}{C_s} = \frac{4,53}{5,77} = 0,785 \approx 0,8.$$

Длину волны, отвечающую максимуму интенсивности излучения, определяем из закона Вина (244):

$$\lambda_{\max} = \frac{2,9}{T} = \frac{2,9}{1300} = 0,00223 \text{ мм} = 2,23 \text{ мкм}.$$

96 Определить лучистый теплообмен между стенками сосуда Дьюара, внутри которого хранится жидкий кислород, если на наружной поверхности внутренней стенки температура $t_1 = -183^\circ\text{C}$, а на внутренней поверхности наружной стенки $t_2 = 17^\circ\text{C}$. Стенки сосуда покрыты слоем серебра, степень черноты которого равна 0,02; площади поверхностей стенок $F_1 \approx F_2 \approx 0,1 \text{ м}^2$.

Решение:

Количество лучистой энергии между параллельными поверхностями можно определить по формуле (259).

Вначале вычислим приведенную степень черноты данной системы тел (251):

$$\epsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{1/0,02 + 1/0,02 - 1} = \frac{1}{99}.$$

Тогда количество лучистой энергии

$$Q^* = 0,1 \cdot \frac{1}{99} \cdot 5,77 \cdot \left[\left(\frac{17 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{-183 + 273}{100} \right)^4 \right] = 0,396 \text{ Вт}.$$

97 Определить коэффициент облученности и лучистый тепловой поток между двумя стальными параллельно расположенными дисками с центрами на общей нормали. Температуры поверхностей дисков 300 и 100°С; диски имеют одинаковые диаметры, равные 300 мм, расстояние между ними h=500 мм. Степень черноты дисков $\varepsilon_1 \approx \varepsilon_2 \approx 0,24$.

Решение:

Определим коэффициент облученности (257):

$$\varphi_{1-2} = \left[\frac{0,5}{0,3} - \sqrt{1 + \left(\frac{0,5}{0,3} \right)^2} \right]^2 = 0,077.$$

Площадь поверхности пластины составляет:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,0707 \text{ м}^2.$$

Определим приведенную степень черноты (251):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{1/0,24 + 1/0,24 - 1} = 0,136.$$

Тепловой поток между пластинами определяем по формуле (256):

$$Q = \varphi \varepsilon_{\text{пр}} C_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = 0,077 \cdot 0,136 \cdot 5,77 \cdot \left[\left(\frac{573}{100} \right)^4 - \left(\frac{373}{100} \right)^4 \right] = 53,4 \text{ Вт}.$$

98 Определить коэффициент лучисто-конвективного теплообмена и потери теплоты с единицы длины паропровода диаметром 200 мм, если температура и степень черноты его

поверхности соответственно равны 467°С и 0,79, а температура окружающего воздуха 27°С.

Решение:

Паропровод охлаждается за счет излучения и свободной конвекции, следовательно, тепловой поток с единицы площади паропровода определяется уравнением

$$q = q_{\text{л}} + q_{\text{к}} = \alpha (t_{\text{ст}} - t),$$

где $\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}$ - коэффициент лучисто-конвективного теплообмена.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяем исходя из формул (249) и (260):

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{0,79 \cdot 5,77 \cdot \left[\left(\frac{740}{100} \right)^4 - \left(\frac{300}{100} \right)^4 \right]}{t_{\text{ст}} - t} = 30,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией определяем по формуле (234). Находим по таблице приложения К параметры теплоносителя при определяющей температуре:

$$t = 0,5 (t_{\text{в}} + t_{\text{ст}}) = 0,5 \cdot (467 + 27) = 245^{\circ} \text{С};$$

$$\lambda = 4,23 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \quad \nu = 40,04 \text{ м}_2/\text{с}; \quad \text{Pr} = 0,667; \quad \beta = \frac{1}{518}; \quad \Delta t = 440^{\circ} \text{С}.$$

Рассчитываем комплекс (Pr·Gr):

$$(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 0,667 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,2^3 \cdot 440}{518 \cdot (40,04 \cdot 10^{-6})^2} = 2,78 \cdot 10^7.$$

При таком значении комплекса $\text{C}=0,135$ и $n=0,33$. Определяем критерий Нуссельта:

$$\text{Nu} = 0,135 \cdot (2,78 \cdot 10^7)^{1/3} = 40,9.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией определяем по формуле (211):

$$\alpha_K = \frac{40,9 \cdot 4,23 \cdot 10^{-2}}{0,2} = 8,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} .$$

Коэффициент лучисто-конвективного теплообмена

$$\alpha = 30,7 + 8,67 = 39,37 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} .$$

Определяем потери теплоты с 1 м длины паропровода:

$$q_l = \alpha \pi d l \Delta t = 39,37 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 440 = 10880 \text{ кВт/м} .$$

99 Для измерения температуры горячего газа, движущегося по каналу, установлена термопара, показания которой 400°C, степень черноты горячего спая термопары и стенок канала одинаковы: $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,78$, а температура стенки канала при стационарном режиме 300°C. Коэффициент теплоотдачи потока газа поверхности спая 65,1 Вт/(м²·К). Определить ошибку в показании термопары, которая возникает вследствие лучистого теплообмена между спаем и стенками, и истинную температуру газа.

Решение:

Составим уравнение теплового баланса для стационарного теплового состояния горячего спая:

$$Q_K = Q_L \quad \text{или} \quad \alpha (t_f - t_1) F = \epsilon_{\text{пп}} C_S F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

где F – площадь поверхности горячего спая.

Из этой формулы ошибка в показаниях термопары составляет:

$$t_f - t_1 = \frac{\epsilon_{\text{пп}} C_S}{\alpha} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \frac{0,78 \cdot 5,77}{65,1} \cdot \left[\left(\frac{673}{100} \right)^4 - \left(\frac{573}{100} \right)^4 \right] = 66^\circ \text{C} .$$

Истинная температура газа

$$t_f = 400 + 66 = 466^\circ \text{C}.$$

100 Определить допустимую силу тока для горизонтально расположенной нихромовой проволоки диаметром 1,5 мм при условии неперевышения ее температуры 400°C . Температура воздуха 30°C , удельное электрическое сопротивление провода $1,2 \text{ (Ом}\cdot\text{мм}^2)/\text{м}$, степень черноты $\varepsilon_{\text{нр}} = 0,96$; провод охлаждается вследствие излучения и свободной конвекции.

Решение:

Отводимая от проволоки теплота определяется уравнением

$$q = q_{\text{л}} + q_{\text{к}}.$$

Потери за счет излучения

$$q_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{нр}} C_s \pi d \left(\frac{T}{100} \right)^4 = 0,96 \cdot 5,77 \cdot 3,14 \cdot 0,0015 \left(\frac{673}{100} \right)^4 = 52,8 \text{ Вт/м}.$$

Определим потери за счет свободной конвекции. Находим по таблице приложения К параметры теплоносителя при определяющей температуре:

$$t = 0,5 (t_{\text{в}} + t_{\text{ст}}) = 0,5 \cdot (400 + 30) = 215^\circ \text{C};$$

$$\lambda = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}; \quad \nu = 36,58 \text{ м}^2/\text{с}; \quad \text{Pr} = 0,68; \quad \beta = \frac{1}{488}; \quad \Delta t = 370^\circ \text{C}.$$

Рассчитываем комплекс $(\text{Pr}\cdot\text{Gr})$:

$$(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 0,68 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,0015^3 \cdot 370}{488 \cdot (36,58 \cdot 10^{-6})^2} = 12,8.$$

При таком значении комплекса $\text{C}=1,18$ и $n=0,125$. Определяем критерий Нуссельта:

$$\text{Nu} = 1,18 \cdot (12,8)^{1/8} = 1,625.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией определяем по формуле (211):

$$\alpha_k = \frac{1,625 \cdot 4,0 \cdot 10^{-2}}{0,0015} = 43,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) .$$

Потери тепла за счет конвекции

$$q_k = \alpha \pi d \Delta t = 43,3 \cdot 3,14 \cdot 0,0015 \cdot 370 = 75,6 \text{ Вт}/\text{м} .$$

Общие потери теплоты с 1 м длины провода составляют:

$$q_l = q_{\text{л}} + q_k = 128,4 \text{ Вт}/\text{м} .$$

Допустимую силу тока для нихромовой проволоки определяем из уравнения

$$q_l = I^2 R = I^2 \frac{\rho l}{\pi d^2 / 4} = I^2 \cdot \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,5^2} = 0,679 \cdot I^2 ,$$

откуда

$$I = \sqrt{\frac{q_l}{0,679}} = \sqrt{\frac{128,4}{0,679}} = 13,42 \text{ А} .$$

Задачи

330 Стальная заготовка с начальной температурой 27°C поставлена в муфельную печь, температура стенок которой 927°C. Определить, какой тепловой поток воспринимается заготовкой (в начальный период) за счет лучистой энергии, если отношение поверхностей заготовки и муфельной печи $F_1/F_2=1/30$, а степень черноты заготовки и стенок печи соответственно равны 0,7 и 0,85.

Ответ: $q=81750 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

331 Каким будет тепловой поток излучением и какова погрешность расчета, если в условии задачи 325 принять отношение поверхностей заготовки и муфельной печи $F_1/F_2=0$?

Ответ: $q=82600 \text{ Вт/м}^2$, погрешность составляет +1,14%.

332 Определить коэффициент облученности и лучистый тепловой поток между двумя стальными параллельно расположенными дисками с центрами на общей нормали. Температуры поверхностей дисков 300 и 100°C ; диски имеют одинаковые диаметры, равные 300 мм , расстояние между ними $h=250 \text{ мм}$. Степень черноты дисков $\epsilon_1 \approx \epsilon_2 \approx 0,24$. Как изменятся эти величины при уменьшении расстояния между дисками в 5 раз?

Ответ: а) $\phi_{1-2} = 0,204$; $\epsilon_{\text{пр}} = 0,436$; $Q = 31,6 \text{ Вт}$.

б) $\phi_{1-2} = 0,52$; $\epsilon_{\text{пр}} = 0,234$; $Q = 43,5 \text{ Вт}$.

333 Определить лучистый тепловой поток между двумя равными круглыми стальными параллельно расположенными пластинами с центрами на общей нормали. Температуры поверхностей дисков 400 и 1000°C ; диски имеют одинаковые диаметры, равные 750 мм , расстояние между ними $h=2000 \text{ мм}$. Степень черноты дисков $\epsilon_1 = 0,55$; $\epsilon_2 = 0,15$.

Ответ: $Q = 165 \text{ Вт}$.

334 Определить коэффициент лучисто-конвективного теплообмена и потери теплоты с единицы длины паропровода диаметром 200 мм , если температура и степень черноты его поверхности соответственно равны 467°C и $0,79$, а температура окружающего воздуха 27°C . Паропровод помещен в кирпичный канал диаметром 1 м с температурой стенки канала 27°C , . степень черноты его поверхности равна $0,81$.

Ответ: $\alpha = 29,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $q_l = 9350 \text{ Вт/м}^2$.

335 Как изменится ошибка в показаниях термопары газового потока, если в условии примера 99 температуру стенки трубы повысить до 360°C , улучшив теплоизоляцию газопровода?

Ответ: $\delta t = 30,6$; $t_f = 430,6^{\circ}\text{C}$.

336 Между двумя параллельными кругами с центрами на общей нормали к их плоскостям происходит лучистый теплообмен. Среда между кругами прозрачна. Определить величину результирующего теплового потока, если известно:

$$\begin{aligned}d_1 &= 0,5 \text{ м}, & t_1 &= 727^{\circ}\text{C}, & h &= 2,0 \text{ м}; \\d_2 &= 1,0 \text{ м}, & t_2 &= 227^{\circ}\text{C};\end{aligned}$$

- а) верхний круг выполнен из листовой шлифованной стали ($\epsilon_1 = 0,61$), нижний — из шамотного кирпича ($\epsilon_2 = 0,75$);
б) верхний круг выполнен из вольфрама ($\epsilon_1 = 0,16$), нижний — из шамотного кирпича ($\epsilon_2 = 0,75$).

Ответ: а) $Q_{1-2} = 280 \text{ Вт}$; б) $Q_{1-2} = 72,5 \text{ Вт}$.

337 Определить часовое количество тепла, теряемого за счет лучеиспускания паропроводом без тепловой изоляции, проложенным внутри большого цехового помещения. Наружный диаметр паропровода 150 мм, длина 200 м. По паропроводу течет насыщенный пар давлением 10 ат, температура наружной поверхности труб паропровода на 20°C ниже температуры насыщения, температура воздуха в помещении 25°C . Коэффициент поглощения материала труб $A = 0,45$.

Ответ: $Q = 66 \text{ кВт}$.

338 На сколько процентов изменится тепловая потеря паропровода в задаче 337, если учесть излучение паропровода? Степень черноты материала труб 0,82.

Ответ: на 321%.

339 Найти потери тепла на излучение 1 погонного метра паропровода диаметром $d = 300$ мм, наружная температура которого равна $t_{\text{тр}} = 567^\circ\text{C}$, степень черноты $\epsilon_{\text{тр}} = 0,93$ для случаев:

а) обратным излучением среды на паропровод можно пренебречь;

б) паропровод находится в канале прямоугольного сечения размером 600×700 мм, стенки канала выложены сильно излучающим огнеупорным кирпичом ($\epsilon_{\text{ст}} = 0,8$); $t_{\text{ст}} = 117^\circ\text{C}$.

Ответ: а) $Q = 24,8$ кВт/м; б) $Q = 21,8$ кВт/м.

340 По условиям эксплуатации температура горизонтального нихромового неизолированного провода, $d = 1$ мм, не должна превышать 600°C . Определить максимально допустимую силу тока, если температура воздуха 30°C , $\rho = 1,2$ Ом·мм²/м, $\epsilon_{\text{пр}} = 0,95$.

Ответ: $I = 11,5$ А.

341 Определить потери тепла излучением поверхностью стального аппарата цилиндрической формы, находящегося в помещении, стены которого выкрашены масляной краской. Размеры аппарата: высота – 2 м, диаметр – 1 м. Размеры помещения: высота – 4 м, длина – 10 м, ширина – 6 м. Температура стенки аппарата 70°C , температура воздуха в помещении 20°C . Определить общую потерю тепла аппаратом путем излучения и конвекции.

Ответ: $Q^* = 5200$ Вт.

342 В помещении установлен цилиндрический подогреватель (длина 4 м, диаметр 1 м). Температура поверхности подогревателя 280°C , коэффициент излучения $4,9$ Вт/(м²·К⁴). Размеры помещения: длина 8 м, ширина 4 м, высота 3 м, температура в помещении 22°C , коэффициент излучения стен 3 Вт/(м²·К⁴). Определить тепловой поток между подогревателем и стенами.

Ответ: $Q^*=51740$ Вт.

343 Между двумя параллельными поверхностями установлен экран. Температура поверхностей 367 и 32°C. Степень черноты поверхностей и экрана одинаковы и равны 0,83. Определить плотность теплового потока между поверхностями до и после установки экрана, а также температуру экрана.

Ответ: $q_0=6510$ Вт/м²; $q_{эк}=3255$ Вт/м²; $T_{эк}=545$ К.

344 Определить тепловой поток излучением от стальной окисленной трубы (диаметр 0,1 м; длина 10 м),используемой для отопления гаража. Температура поверхности трубы 85°C, температура стен 15°C.

Ответ: $Q^*=1360$ Вт.