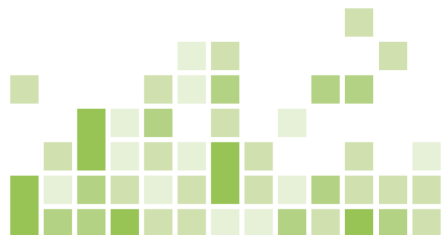




**Физико-технический
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Практическое занятие № 15
Теплопроводность
в нестационарных режимах
Задачи

25 мая 2018 г.



Стальная плита неограниченной протяженности толщиной 200 мм, равномерно прогретая до температуры $t_0 = 250\text{ }^\circ\text{C}$, помещена в воздушную среду с температурой $t_{\text{ж}} = 15\text{ }^\circ\text{C}$; коэффициент теплоотдачи на поверхностях плиты $\alpha = 30\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, теплопроводность материала плиты $\lambda = 45\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коэффициент температуропроводности $a = 1,25\cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$.

Определить температуры в середине и на поверхности плиты через 1 час после начала охлаждения.



Решение. Для заданных условий рассчитываем определяющие критерии:

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda} = \frac{30 \cdot 0,1}{45} = 0,07$$

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{\delta^2} = \frac{1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 3600}{0,1^2} = 4,5.$$

С помощью номограмм находим значения безразмерных температур в середине плиты и на ее поверхности: $\Theta_{x=0} = 0,75$; $\Theta_{x=\delta} = 0,71$; после чего определяем температуры

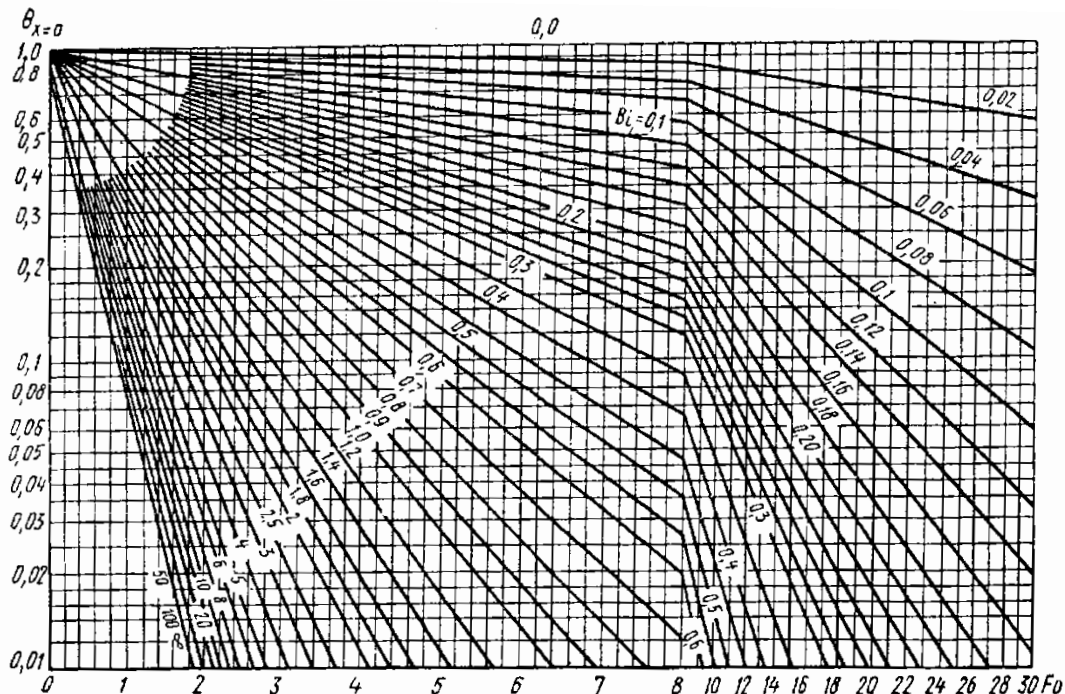
$$t_{x=0} = \Theta_{x=0}(t_0 - t_{ж}) + t_{ж} = 0,75 \cdot (250 - 15) + 15 = 191 \text{ } ^\circ\text{C};$$

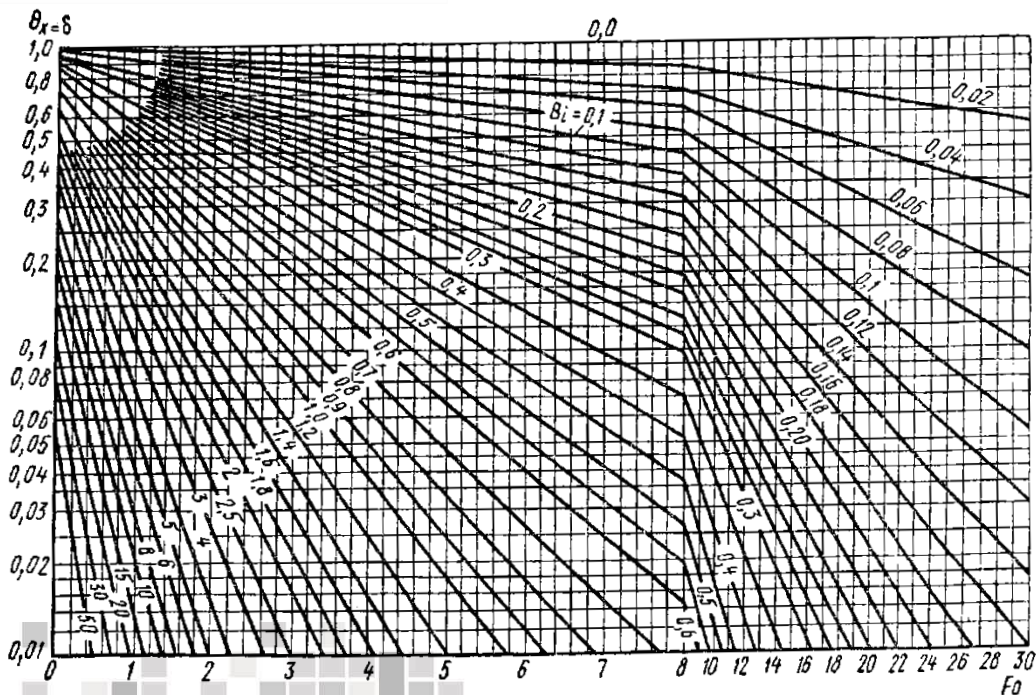
$$t_{x=\delta} = \Theta_{x=\delta}(t_0 - t_{ж}) + t_{ж} = 0,71 \cdot (250 - 15) + 15 = 182 \text{ } ^\circ\text{C}.$$



Практическое занятие № 15

Расчет регулярного режима теплопроводности в телах простой формы по номограммам







Длинный стальной вал диаметром $d = 2r_0 = 120$ мм, который имел температуру $t_0 = 20$ °С, был помещен в печь с температурой $t_{ж} = 820$ °С.

Определить, время τ , необходимое для нагрева вала, если нагрев считается окончанным, когда температура на оси вала $t_{r=0} = 800$ °С. Определить также температуру на поверхности вала $t_{r=r_0}$ в конце нагрева. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda = 21$ Вт/(м·°С); $a = 6,11 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha = 140$ Вт/(м²·°С).



Решение. Температуры на оси и поверхности длинного цилиндра при нагревании (охлаждении) в среде с постоянной температурой можно определить с помощью графиков $\Theta_{r=0} = f_1(Bi, Fo)$ (рис. 15-3) и $\Theta_{r=r_0} = f_2(Bi, Fo)$ (рис. 15-4).

В рассматриваемом случае



Решение. Температуры на оси и поверхности длинного цилиндра при нагревании (охлаждении) в среде с постоянной температурой можно определить с помощью графиков $\Theta_{r=0} = f_1(Bi, Fo)$ (рис. 15-3) и $\Theta_{r=r_0} = f_2(Bi, Fo)$ (рис. 15-4).

В рассматриваемом случае



Решение. Температуры на оси и поверхности длинного цилиндра при нагревании (охлаждении) в среде с постоянной температурой можно определить с помощью графиков $\Theta_{r=0} = f_1(Bi, Fo)$ (рис. 15-3) и $\Theta_{r=r_0} = f_2(Bi, Fo)$ (рис. 15-4).

В рассматриваемом случае

$$Bi = \frac{\alpha r_0}{\lambda} = \frac{140 \cdot 0,06}{21} = 0,4;$$

$$\Theta_{r=0} = \frac{t_f - t_{r=0}}{t_f - t_0} = \frac{820 - 800}{820 - 20} = 0,025.$$

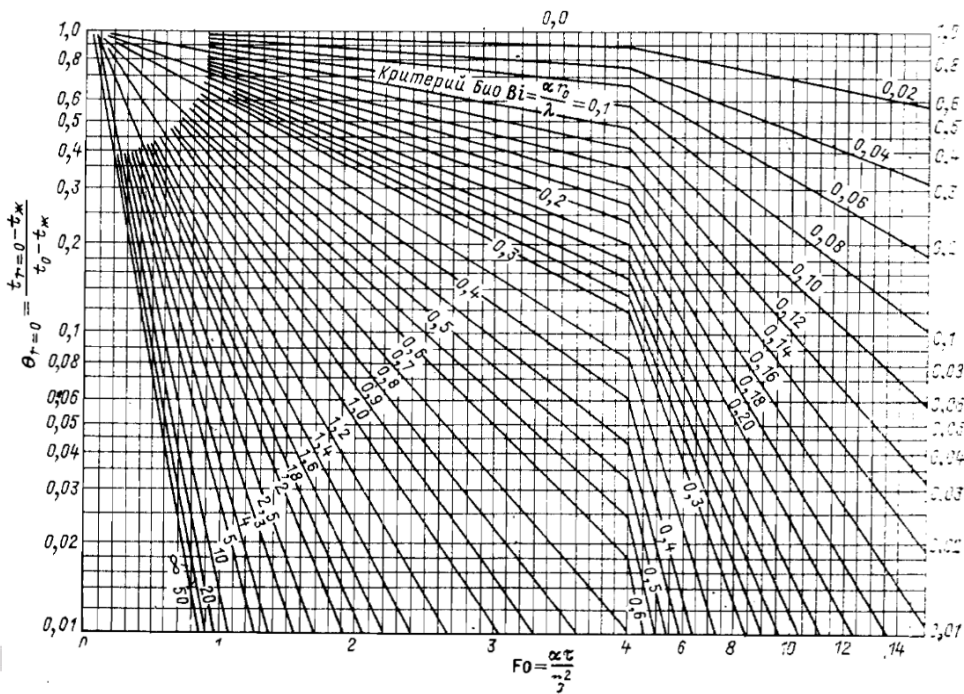


Рис. 15-3

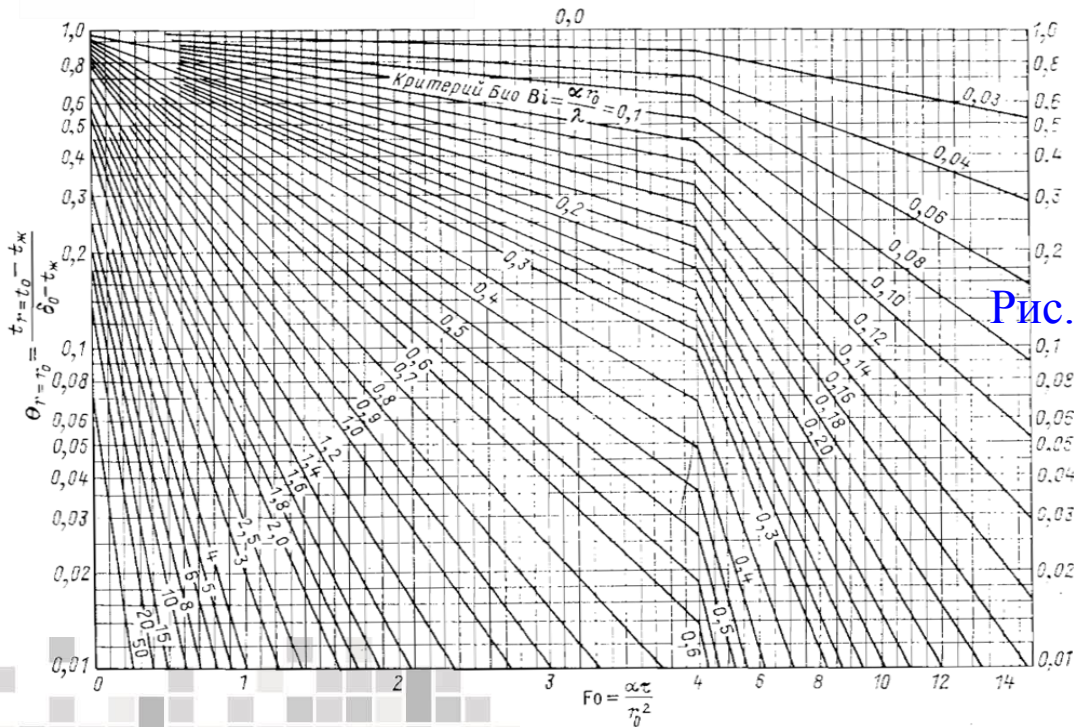


Рис. 15.4



При этих значениях Bi и $\Theta_{r=0}$ по графику на рис. 15.3 находим значение критерия $Fo = 5,2$. Следовательно, время, необходимое для нагрева вала,

$$\tau = \frac{Fo \cdot r_0^2}{a} = \frac{(60 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 5,2}{6,11 \cdot 10^{-6}} = 3060 \text{ с} = 51 \text{ мин.}$$

Безразмерную температуру на поверхности вала при $Bi = 0,4$ и $Fo = 5,2$ определяем по графику рис. 15.4;

$$\Theta_{r=r_0} = \frac{t_{\text{ж}} - t_{r=r_0}}{t_{\text{ж}} - t_0} = 0,02$$

следовательно,

$$\begin{aligned} t_{r=r_0} &= 820 - 0,02(t_{\text{ж}} - t_0) = \\ &= 820 - 0,02 \cdot (820 - 20) = 804 \text{ }^\circ\text{C.} \end{aligned}$$



14.30. Лист толщиной 20 мм, изготовленный из электроизоляционного материала, помещен в нагревательную печь температура воздуха в которой равна 450 °С, коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Определить время прогрева листа до температуры 200 °С, если его начальная температура равнялась 20 °С. Теплопроводность материала $\lambda = 0,174 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, коэффициент температуропроводности $a = 5,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. *Указание.* Считать лист пластиной неограниченной протяженности. Временем прогрева считать момент достижения заданной температуры в середине пластины.



14.35. Определить время охлаждения листа стали толщиной 10 мм от начальной температуры 600 °С до температуры, отличающейся от температуры окружающей среды на один градус (температура среды $t_{ж} = 20$ °С). Теплофизические характеристики стали: $\lambda = 45$ Вт/(м · К); $c = 0,46$ кДж/(кг · К); $\rho = 7900$ кг/м³. Коэффициент теплоотдачи от поверхности листа к окружающему воздуху $\alpha = 35$ Вт/(м² · К).

Указание. Значение критерия Био для рассматриваемых условий: $Bi = \alpha \delta / \lambda = 35 \cdot 0,005 / 45 = 0,0039$. Так как $Bi < 0,01$, то температуру по сечению пластины можно считать постоянной и учитывать ее зависимость только от времени. Для $Bi < 0,01$ справедлива формула: $\theta = \exp(-Bi Fo)$.



14.47. Кусок угля сферической формы ($d = 50$ мм) поступает в топку, температура в которой равна 1000 °С. Начальная температура угля 15 °С. Определить время нагревания угля до температуры воспламенения $t_{ст} = 700$ °С, если коэффициент теплоотдачи $\alpha = 100$ Вт/(м² · К). Теплофизические характеристики угля: теплопроводности $\lambda = 0,26$ Вт/(м · К), коэффициент температуропроводности $a = 1,4 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Определить температуру в центре куска угля к этому времени.



14.39. Определить, какую минимальную толщину должна иметь стенка дозвукового сопла, для того чтобы за $\tau = 6$ с работы двигателя температура поверхности, омываемой газами с температурой 2250°C , не превысила допустимого значения 1250 K . Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha = 870\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; теплофизические характеристики материала: $\lambda = 35\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$; $a = 1,4 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$; начальная температура сопла 300 K

Указание. Стенку рассматривать как плоскую неограниченную пластину, отводом теплоты с наружной поверхности сопла пренебречь.



14.40. Длинный стальной вал диаметром 200 мм, имевший начальную температуру 15 °С, помещен в печь с температурой 1100 °С. Определить время нагрева вала, считая процесс законченным при температуре оси вала 850 °С. Определить также температуру на поверхности вала в конце нагрева. Коэффициент теплоотдачи на поверхности вала $\alpha = 120 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; теплопроводность $\lambda = 18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; коэффициент температуропроводности $a = 6,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$