



**Физико-технический
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Практическое занятие № 4
Теплопроводность
в нестационарных режимах
Задачи

24 мая 2019 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:

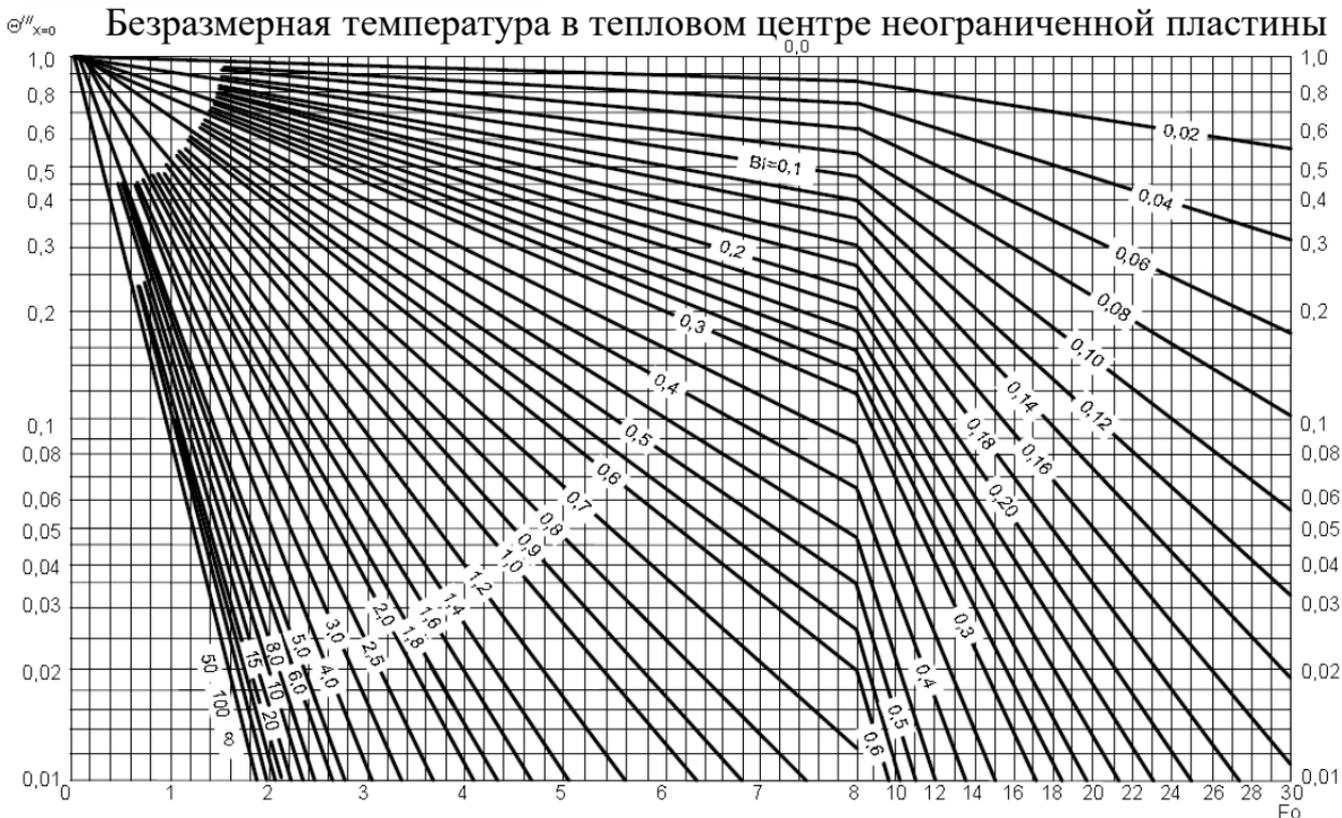
$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda} = \frac{30 \cdot 0,1}{45} = 0,07$$

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

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

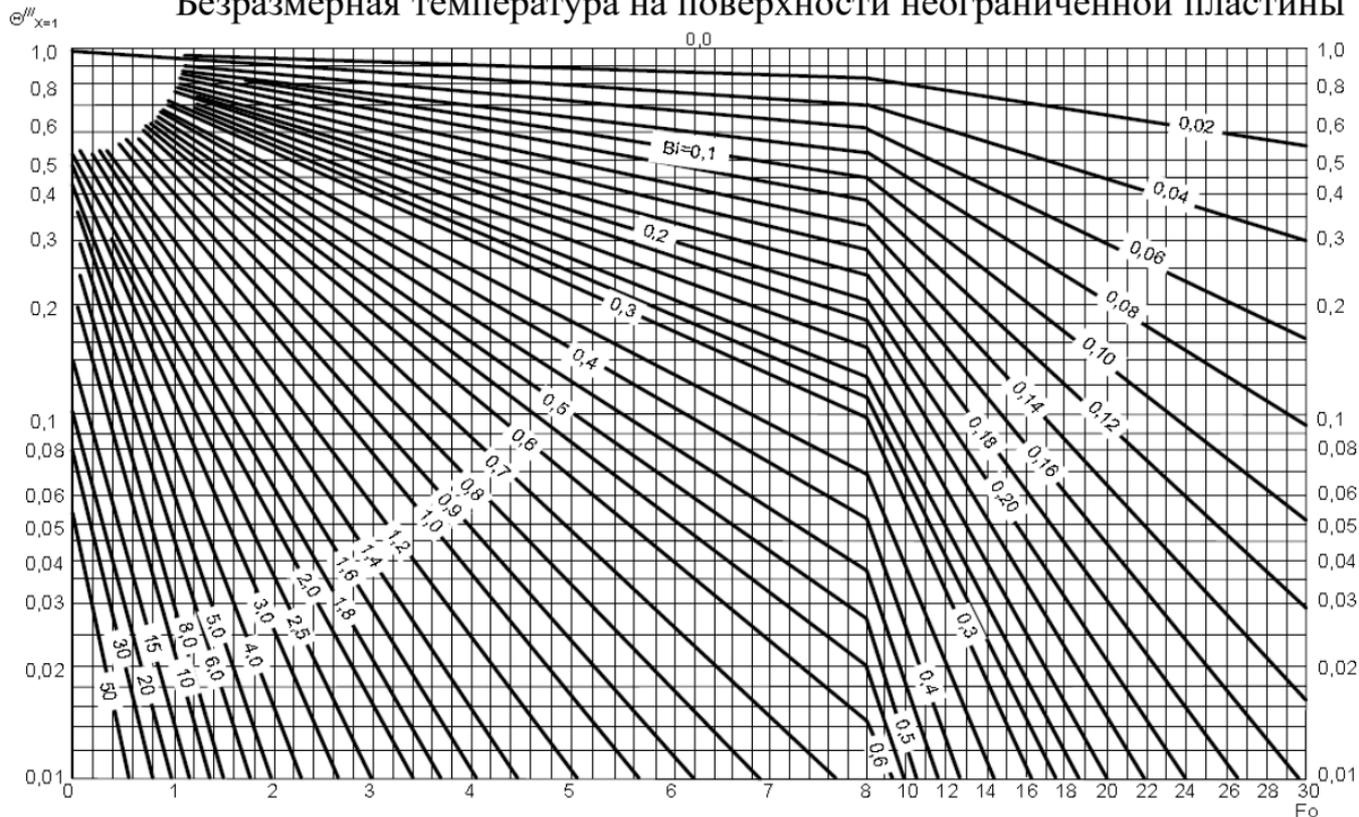
$$t_{x=0} = \Theta_{x=0}(t_0 - t_{ж}) + t_{ж} = 0,75 \cdot (250 - 15) + 15 = 191 \text{ } ^\circ\text{C};$$

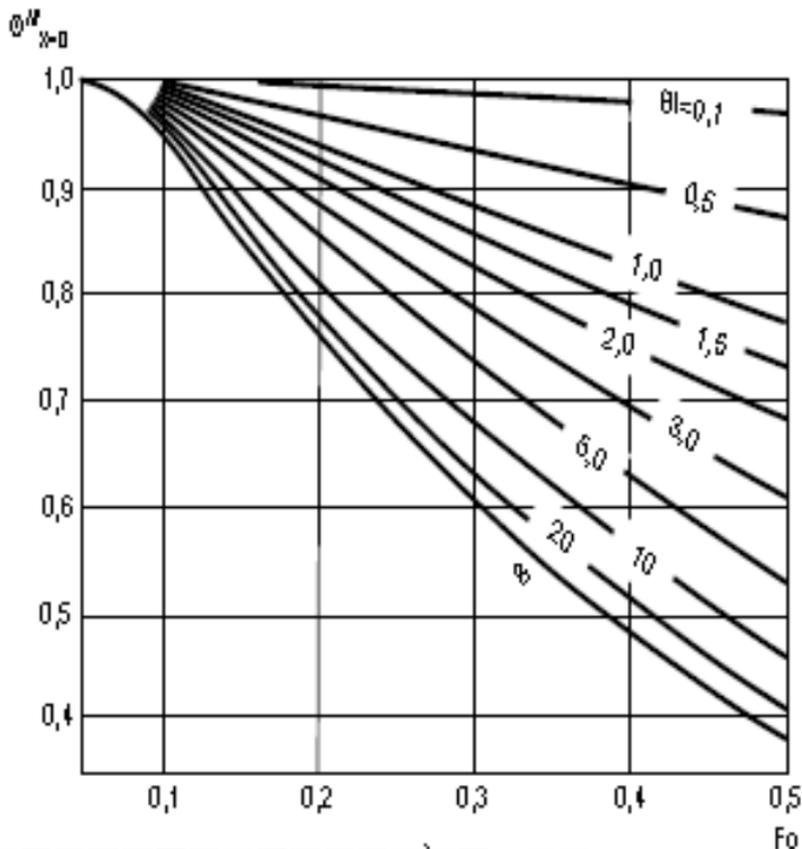
$$t_{x=\delta} = \Theta_{x=\delta}(t_0 - t_{ж}) + t_{ж} = 0,71 \cdot (250 - 15) + 15 = 182 \text{ } ^\circ\text{C}.$$



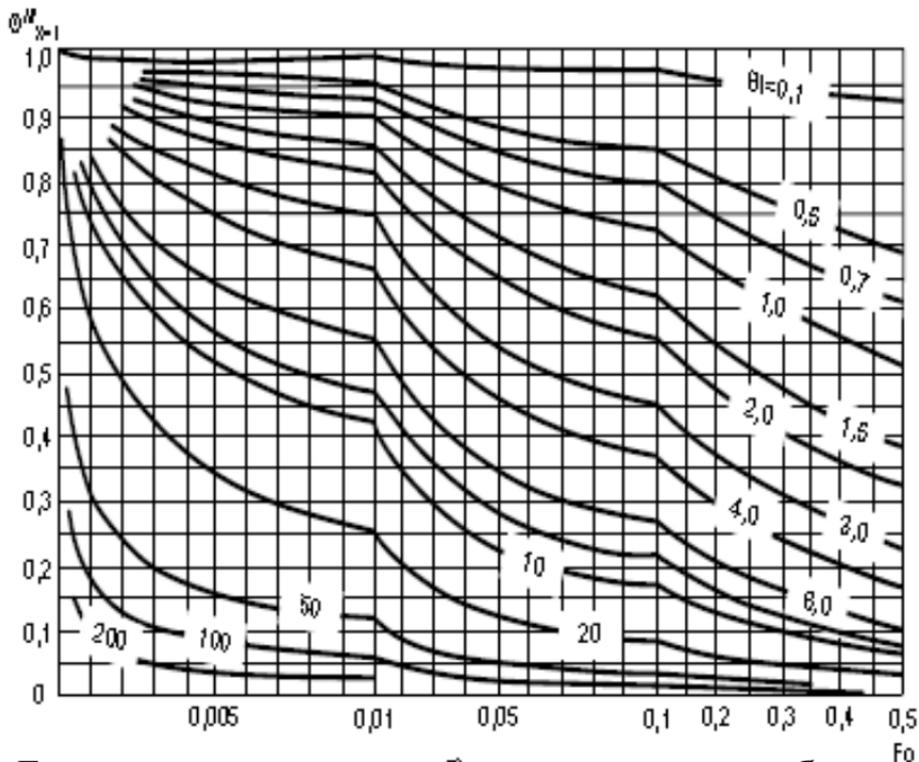


Безразмерная температура на поверхности неограниченной пластины





Безразмерная температура
в тепловом центре
бесконечной пластины
при малых значениях Fo



Безразмерная температура на поверхности бесконечной пластины при малых значениях Fo



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. 4.3) и $\Theta_{r=r_0} = f_2(Bi, Fo)$ (рис. 4.4).

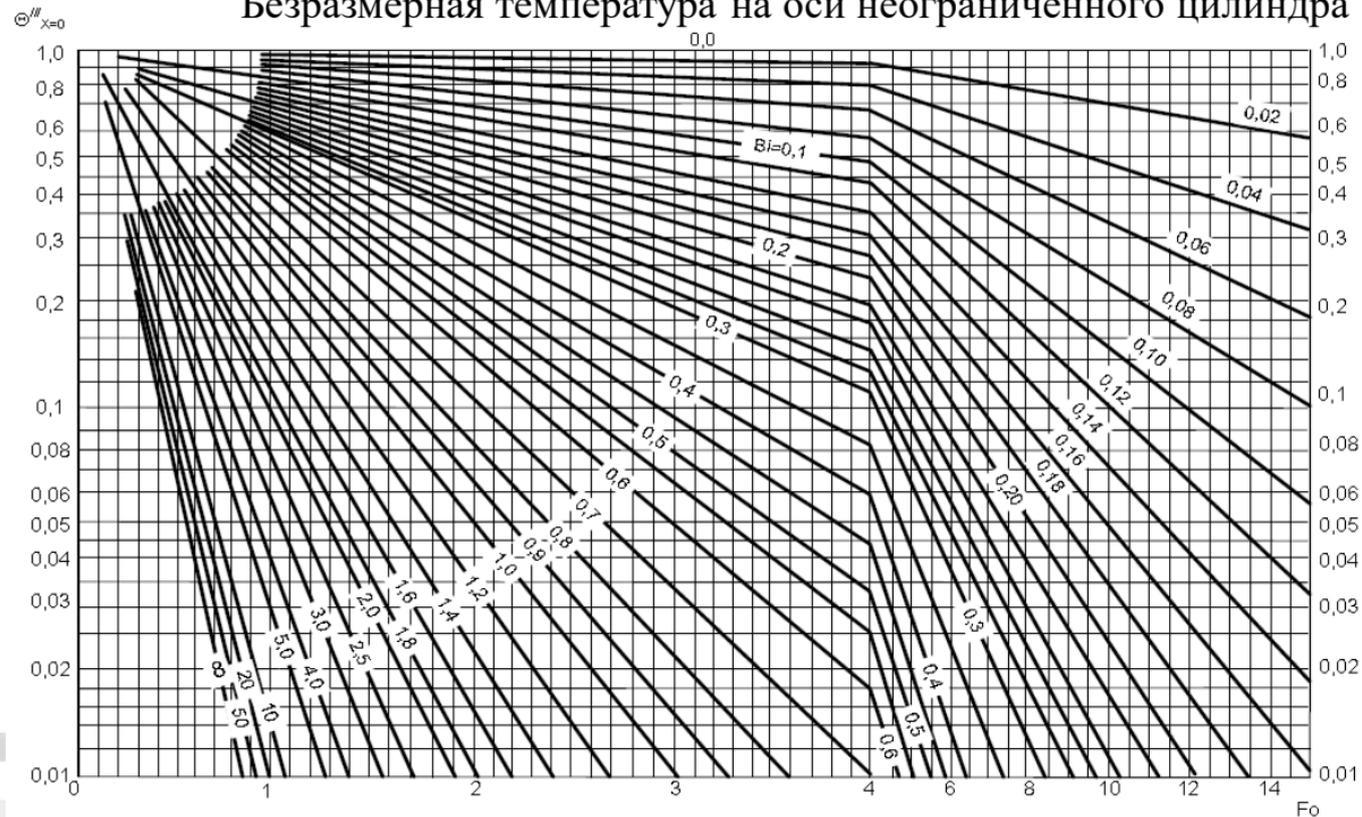
В рассматриваемом случае

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

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

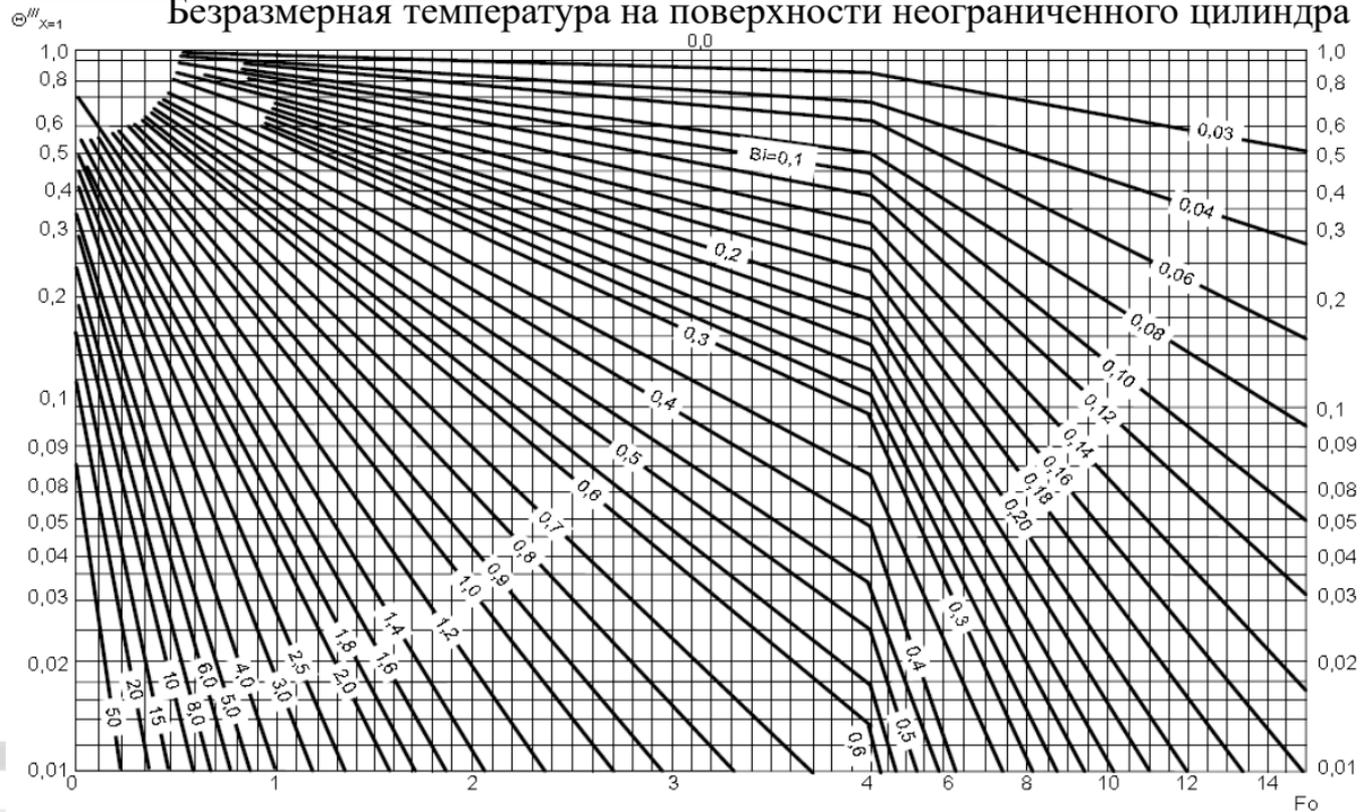


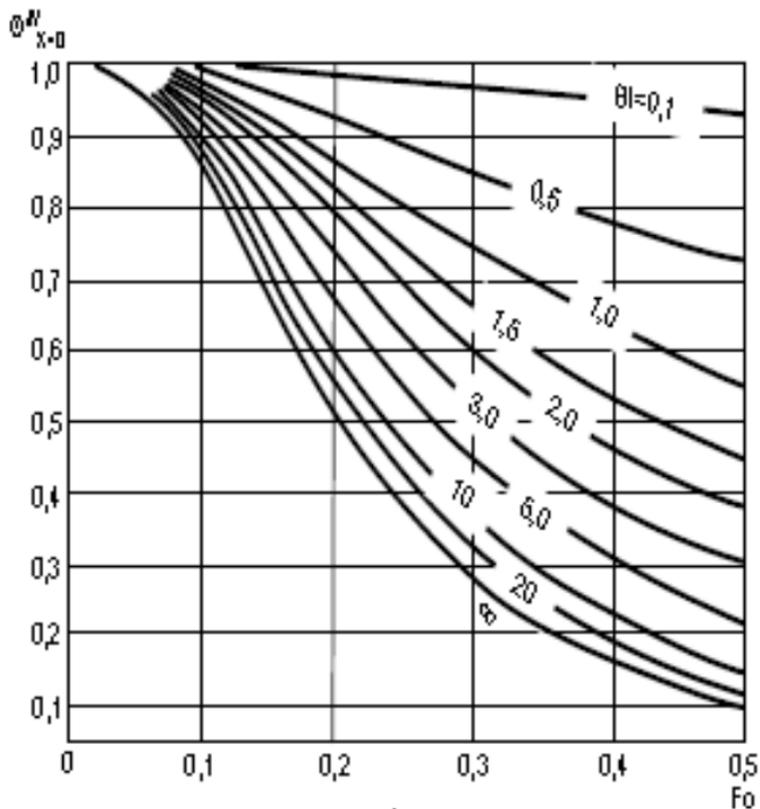
Безразмерная температура на оси неограниченного цилиндра





Безразмерная температура на поверхности неограниченного цилиндра

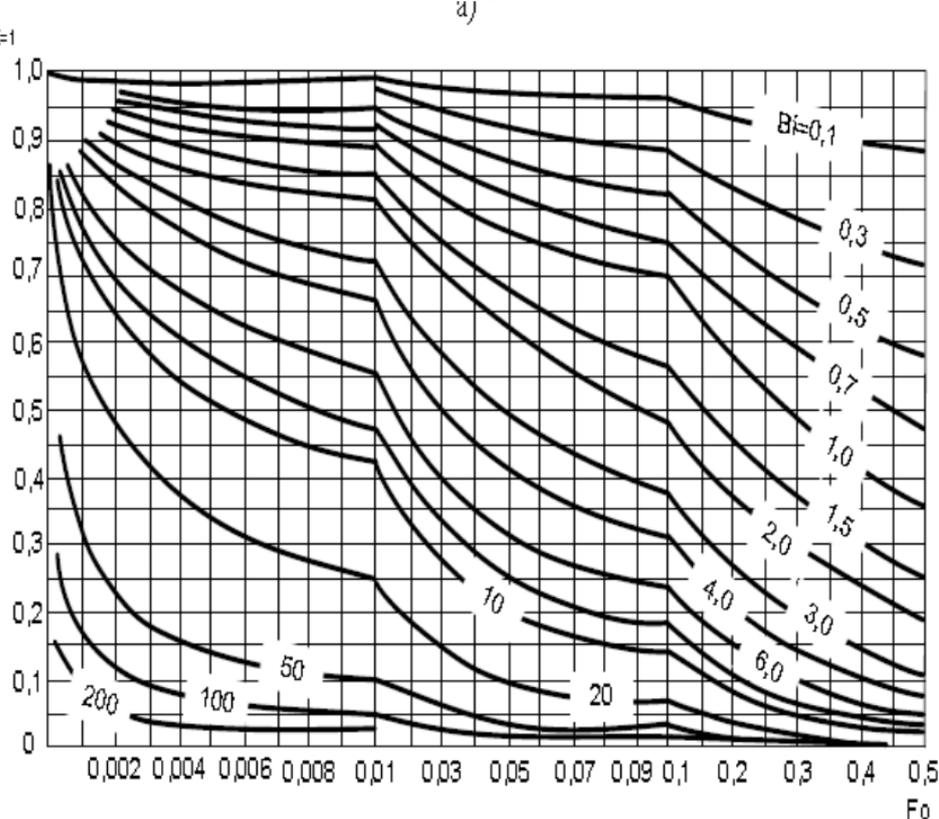




Безразмерная температура
на оси неограниченного
цилиндра при малых
значениях Fo



а)



Безразмерная температура на поверхности неограниченного цилиндра при малых значениях Fo



При этих значениях Bi и $\Theta_{r=0}$ по графику 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;

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

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).

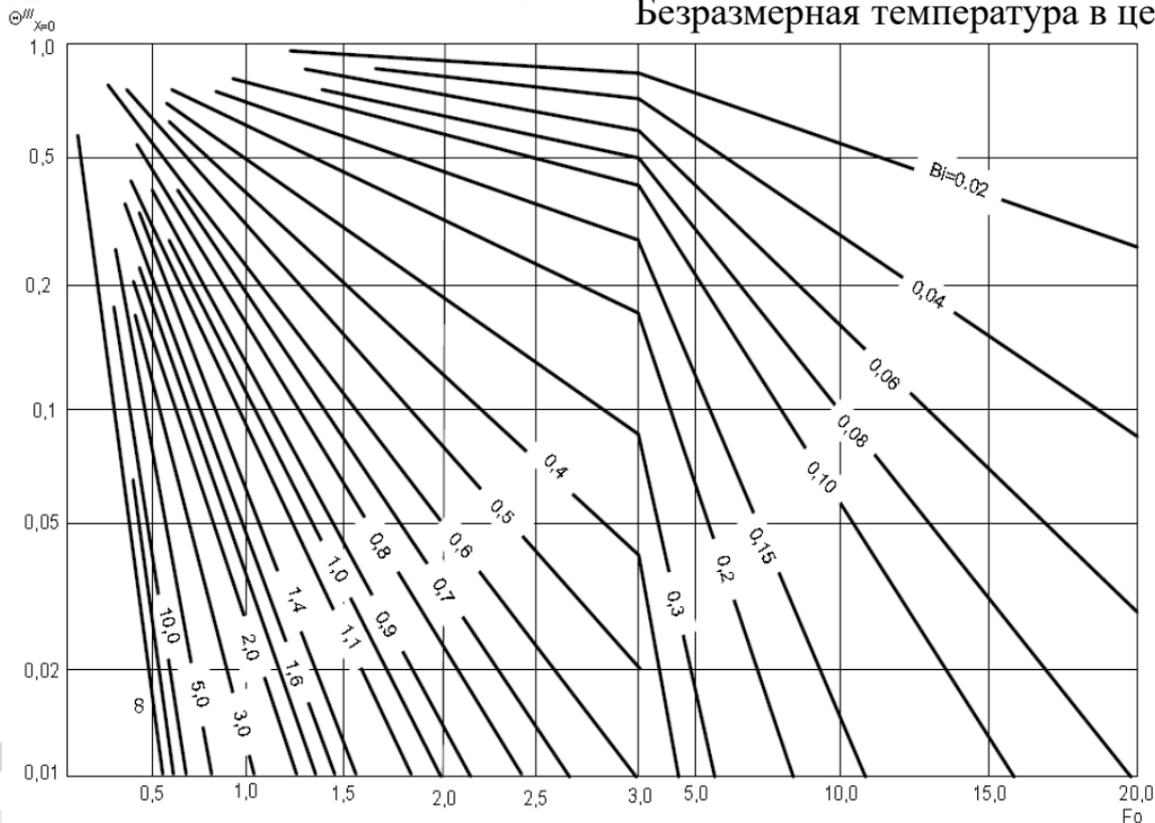
Указание. Значение критерия Био для рассматриваемых условий: $Bi = \alpha\delta/\lambda = 35 \cdot 0,005/45 = 0,0039$. Так как $Bi < 0,01$, то температуру по сечению пластины можно считать постоянной и учитывать ее зависимость только от времени. Для $Bi < 0,01$ справедлива формула: $\theta = \exp(-Bi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



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 $t_{\text{ст}} = 700$ °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.

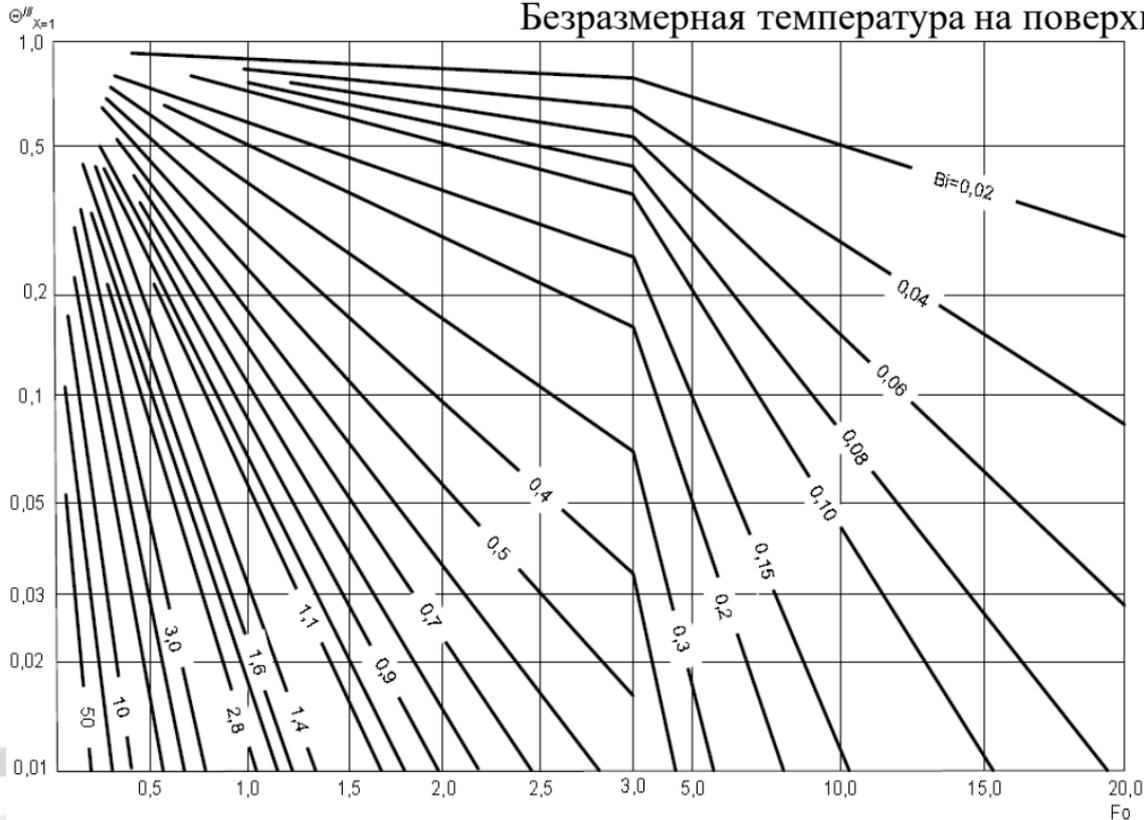


Безразмерная температура в центре шара





Безразмерная температура на поверхности шара





14.39. Определить, какую минимальную толщину должна иметь стенка дозвукового сопла, для того чтобы за 6 с работы двигателя температура поверхности, омываемой газами с температурой $2250\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $a = 6,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$