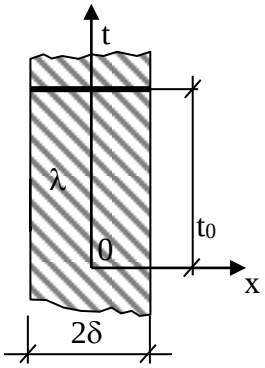
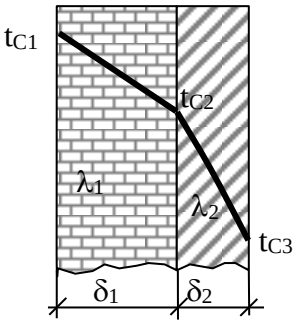
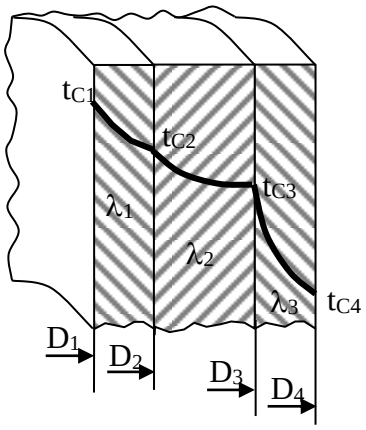
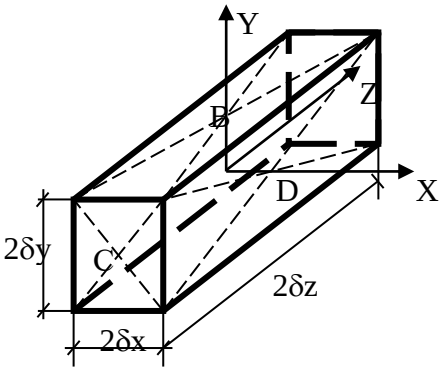




РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Методические указания
к выполнению курсовой и практической работы
по дисциплинам «Тепломассообмен», «Теплогазоснабжение с основами теплотехники», «Техническая термодинамика и теплотехника»
для бакалавров направлений 08.03.01 Строительство,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 21.03.01 Нефтегазовое дело,
18.03.01 Химическая технология
всех форм обучения





Воронеж 2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Воронежский государственный технический университет

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Методические указания
к выполнению курсовой и практической работы
по дисциплинам «Тепломассообмен», «Теплогазоснабжение с основами теплотехники», «Техническая термодинамика и теплотехника»
для бакалавров направлений 08.03.01 Строительство,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 21.03.01 Нефтегазовое дело,
18.03.01 Химическая технология
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 536.24 (075.8)
ББК

Составители: В. Н. Мелькумов, Н.А. Петрикеева, Г. Н. Мартыненко

Расчет процессов теплопроводности: метод. указания к выполнению к выполнению курсовой и практической работы/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.Н. Мелькумов, Н.А. Петрикеева, Г.Н. Мартыненко. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 36 с.

Изложены методические рекомендации для решения практических задач стационарной и нестационарной теплопроводности. Представлены варианты для выполнения работ. Данный раздел может являться как самостоятельным расчетом, так и составным элементом расчетов по теплотехнике.

Предназначены для бакалавров направлений 08.03.01 Строительство, 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 21.03.01 Нефтегазовое дело, 18.03.01 Химическая технология всех форм обучения по дисциплинам «Тепломассообмен», «Теплогазоснабжение с основами теплотехники», «Техническая термодинамика и теплотехника».

Ил. 41. Табл. 32. Библиогр.: 4 назв.

УДК 536.24 (075.8)
ББК

Рецензент – О.А. Сотникова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой проектирования зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого, ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение …… 5
1 Стационарная теплопроводность …… 6
1.1 Коэффициент теплопроводности не зависит от температуры…… 6
1.2 Коэффициент теплопроводности зависит от температуры……. 7
1.3 Теплопроводность стенок с внутренним источником тепла……... 9
1.4 Определение экономии топлива……..... 9
2 Нестационарная теплопроводность…….. 9
2.1 Аналитический способ решения…… 9
2.2 Графоаналитический способ решения……... 11
2.3 Определение количества теплоты…….. 12
3 Общие рекомендации по решению задач стационарной и нестационарной теплопроводности…….. 13
Библиографический список …… 14
Задания для расчетов……. 15
Приложение 1. Коэффициенты для расчета охлаждения или нагревания пластины и длинного цилиндра…… 30
Приложение 2. Графики зависимостей для тонкой пластины и цилиндра.. 32

ВВЕДЕНИЕ

Программой курса предусмотрено выполнение курсовых, самостоятельных и практических работ. Общее количество задач, представленное в указаниях, достаточно для индивидуального решения как во время аудиторных занятий, так и при выполнении работ во внеаудиторное время.

Настоящие методические указания служат для освоения методов расчета процессов стационарной и нестационарной теплопроводности.

В приложении к методическим указаниям приведены необходимые справочные данные, а также графики критериальных зависимостей, необходимых для решения задач нестационарной теплопроводности графоаналитическим способом.

В работе студент должен предусмотреть графическую часть, выполненную в масштабе на листе стандартного формата.

1 СТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

1.1 Коэффициент теплопроводности не зависит от температуры

Удельный тепловой поток через многослойную плоскую стенку, состоящую из *n* однородных слоев:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \qquad (1.1)$$

где q – удельный тепловой поток, пропускаемый стенкой, Вт/м^2; t_1, t_{n+1} – температура наружных поверхностей стенки соответственно первого и последнего (по направлению теплового потока) слоя, °С; δ_i – толщина i – го слоя, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала i – го слоя, Вт/(м·град); $R_i = \delta_i/\lambda_i$ – термическое сопротивление i – го слоя, (м^2·град)/ Вт.

Неизвестные температуры на границах слоев определяются по зависимости

$$t_{i+1} = t_i - q\frac{\delta_i}{\lambda_i} = t_i - q \cdot R_i, \qquad (1.2)$$

где t_i, t_{i+1} – температуры соответственно внутренней и наружной (по направлению теплового потока) поверхности рассматриваемого слоя, °С.

Температура внутри слоя, на расстоянии x от его внутренней (по направлению теплового потока) поверхности

$$t_{x_i} = t_i - \frac{t_i - t_{i+1}}{\delta_i} x \qquad (1.3)$$

Полный тепловой поток через многослойную цилиндрическую стенку, состоящую из *n* однородных слоев

$$Q = \frac{2\pi l \cdot (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i}}, \qquad (1.4)$$

где l - высота стенки, м; D_i, D_{i+1} - соответственно внутренний и наружный диаметры i – го слоя стенки, м.

Неизвестные температуры на границах слоев цилиндрической стенки

$$t_{i+1} = t_i - \frac{Q}{2\pi\ell} \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} \qquad (1.5)$$

Температура внутри слоя цилиндрической стенки (на расстоянии *x*)

$$t_{x_i} = t_i - \frac{t_i - t_{i+1}}{\ln \frac{D_{i+1}}{D_i}} \ln \frac{D_{x_i}}{D_i}, \qquad (1.6)$$

где t_{x_i} - температура внутри рассматриваемого слоя, °С .

1.2 Коэффициент теплопроводности зависит от температуры

$$\lambda_i(t) = \lambda_{0i}(1 + b_i t) \qquad (1.7)$$

где $\lambda_i(t)$ - коэффициент теплопроводности материала *i* – го слоя, Вт/(м·град); λ_{0i} - коэффициент теплопроводности материала при 0 °С, Вт/(м·град); b_i - коэффициент, определяемый опытным путем, 1/град.

Удельный тепловой поток через многослойную плоскую стенку, состоящую из *n* однородных слоев:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_{cp.i}}} . \qquad (1.8)$$

Полный тепловой поток через многослойную цилиндрическую стенку

$$Q = \frac{2\pi l (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_{cp.i}} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i}} . \qquad (1.9)$$

Средний по толщине однородной стенки коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{cp.i} = \frac{1}{t_i - t_{i+1}} \int_{t_{i+1}}^{t_i} \lambda_i(t) dt = \lambda_{0i}(1 + b_i \frac{t_i + t_{i+1}}{2}) = \lambda_{0i}(1 + b_1 t_{cp.i}) \qquad (1.10)$$

где $t_{cp.i} = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}$ - среднеарифметическое значение температуры *i* –го слоя, °С.

Закон изменения температуры по толщине:

а) однородной плоской стенки

$$t_{x_i} = \sqrt{(\frac{1}{b_i} + t_i)^2 - \frac{2qx_i}{b_i \lambda_{0i}}} - \frac{1}{b_i} \ ; \qquad (1.11)$$

б) однородной цилиндрической стенки

$$t_{x_i} = \sqrt{(\frac{1}{b_i} + t_i)^2 - \frac{Q \ln \frac{D_{x_i}}{D_i}}{\pi l b_i \lambda_{0i}}} - \frac{1}{b_i} \qquad (1.12)$$

При решении задач для многослойных стенок с зависящими от температуры коэффициентами теплопроводности не удается сразу определить тепловой поток через стенку, так как неизвестны температуры поверхностей между слоями, а следовательно, и $\lambda_{cp.i}$. Поэтому вначале следует определять неизвестные температуры на границах слоев. Например, для двухслойной плоской стенки (рис.1.1) с коэффициентами теплопроводности $\lambda_1 = \lambda_{01}(1 + b_1 t)$ и $\lambda_2 = \lambda_{02}(1 + b_2 t)$ неизвестной является температура t_2. Для ее определения используется условие стационарности процесса, из которого в соответствии с (1.8) имеем:

$$\frac{\lambda_{01}}{\delta_1}(1 + b_1 \frac{t_1 + t_2}{2})(t_1 - t_2) = \frac{\lambda_{02}}{\delta_2}(1 + b_2 \frac{t_2 + t_3}{2})(t_2 - t_3).$$

После элементарных преобразований приведенного равенства получаем квадратное уравнение относительно неизвестной температуры t_2. Его решение позволяет определить значение t_2, а затем по формуле (1.8) определить тепловой поток, а по формуле (1.11) – закон распределения температуры по толщине слоев.

Также можно решить данный тип задачи методом последовательный приближений (предварительно задавшись неизвестными температурами на границах слоев и последовательно их уточняя).

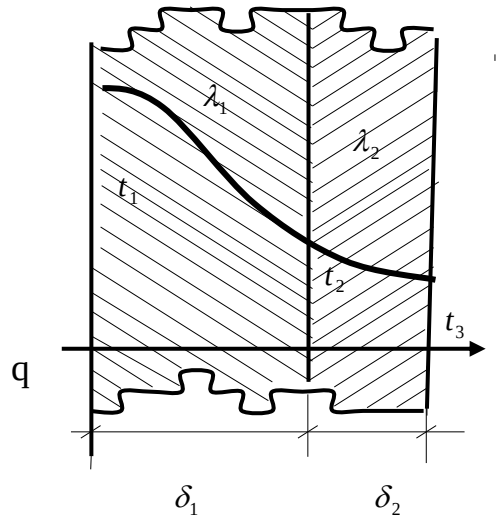


Рис. 1.1. Расчетная схема плоской двухслойной стенки

1.3 Теплопроводность стенок с внутренним источником тепла

Для длинной пластинки с внутренним источником тепла, равномерно распределенным по объему q_v = const, у которой толщина 2δ мала по сравнению с двумя другими размерами, изменение температуры по толщине определяется зависимостью

$$t_x = t_c + \frac{q_\upsilon}{2\lambda}\delta^2\left[1-\left(\frac{x}{\delta}\right)^2\right] \qquad (1.13)$$

где t_c - температура поверхности стенки, °С; q_v - мощность внутреннего источника тепла, Вт/м^3.

При этом удельный тепловой поток линейно зависит от координаты x

$$q = q_v \cdot x. \qquad (1.14)$$

1.4 Определение экономии топлива

В ряде задач по определению экономии топлива речь идет о сравнении конструкций с разным количеством слоев. В этом случае нужно просчитать оба варианта конструкции, определить количество теплоты в обоих случаях и, воспользовавшись формулами (1.15) и (1.16) определить экономию топлива

$$\mathrm{B} = \frac{Q}{Q_н^p \cdot \eta} \qquad (1.15)$$

$$\Delta_\mathrm{B} = \frac{\mathrm{B}_1 - \mathrm{B}_2}{\mathrm{B}_1} \times 100\% \qquad (1.16)$$

где B – расход топлива, кг/с (кг/м^3); Q – количество теплоты, прошедшее через стенку сушила или печи, Вт (Дж/с); $Q^p_н$ – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг (Дж/нм^3); η - к.п.д. печи или сушила; Δ_B – экономия топлива, %; B_1, B_2 – соответственно расходы топлива со стенкой без слоя теплоизоляции и со слоем теплоизоляции, кг/с.

2 НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

2.1 Аналитический способ решения

Для плоской неограниченной пластинки толщиной 2δ, равномерно прогретой (t_0 = const, υ_0 = const) до начала охлаждения (нагревания) в среде с температурой $t_ж$ = const**,** уравнение одномерного нестационарного температурного поля в поперечном сечении пластинки имеет вид бесконечного ряда:

$$\upsilon = \sum_{n-1}^{\infty} \frac{v_0 2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n \cos\mu_n} \cos\left(\mu_n \frac{x}{\delta}\right) \ell^{-\mu_n^2 \frac{\alpha\tau}{\delta^2}} \qquad (2.1)$$

где τ - время от начала охлаждения (нагревания) пластинки, с; t - температура для времени в точке пластинки с координатой х, °С; $t_{ж}$ - температура окружающей среды, °С; $v = t - t_{ж}$ - избыточная (по отношению к температуре окружающей среды) температура точки пластинки с координатой х, для времени τ ,°С; v_0 - значение температуры v при τ=0, °С; $\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n$ - корни характеристического уравнения; a - коэффициент температуропроводности материала пластинки, м^2/с.

Это же уравнение, записанное в безразмерной форме:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cos(\mu_n x) \exp(-\mu_n^2 Fo), \qquad (2.2)$$

где $\Theta = \frac{v}{v_0}$ - безразмерная температура в точке стенки с координатой х для времени τ;

$D_n = \frac{2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n \cos\mu_n}$ - безразмерный коэффициент;

$X = \frac{x}{\delta}$ - безразмерная координата;

$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$ - безразмерное время (число Фурье).

Решения (2.1) и (2.2) являются общими. Для решения задач следует использовать частные решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности, вытекающие из (2.1) и (2.2). Использование соответствующего частного решения определяется величинами критериальных чисел *Fo* и *Bi*, где число Био определяется по формуле $Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda}$.

Ниже приводятся частные решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности.

а) *Fo* ≥0,3; *Bi* - любое:

$$\Theta = \frac{2\sin\mu_1}{\mu_1 + \sin\mu_1 \cos\mu_1} \cos(\mu_1 x) \exp\left(-\mu_1^2 Fo\right) \qquad (2.3)$$

Значения μ_1 табулированы в зависимости от величины числа *Bi* (см. приложение 1).

б) *Bi* <0,1; *Fo* - любое:

$$\Theta = \cos(\mu_1 \cdot x) \exp\left(-\mu_1^2 \cdot Fo\right) = \cos\left(\sqrt{Bi} \cdot x\right) \exp\left(-Bi \cdot Fo\right) \quad ; \qquad (2.4)$$

в) Fo >0,3; Bi >100.

Для оси пластины X=0:

$$\Theta = \frac{4}{\pi}\exp\left[-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 Fo\right]. \qquad (2.5)$$

2.2 Графоаналитический способ решения

Значения температур могут быть определены для оси и поверхности пластины или цилиндра бесконечной протяженности также и с помощью номограмм $\Theta = \Theta$ (Bi, Fo) при условии $Fo \geq 0{,}3$ и любых значениях числа Bi [1,2]. Этот способ решения называется графоаналитическим. Он объединяет три основных формулы (для чисел Био и Фурье и безразмерной температуры) и четыре графических зависимости (для оси и поверхности цилиндра и для оси и поверхности пластины).

При расчете температурных полей в телах ограниченных размеров (балки, бруски, болванки) следует воспользоваться методом перемножения решений. Например, болванку можно рассматривать как цилиндр радиусом R и длиной l, полученный в результате пересечения цилиндра того же радиуса бесконечной протяженности с плоской пластинкой, толщиной $2\delta=l$ также бесконечной протяженности.

Тогда безразмерная температура в центре болванки может быть определена по нижеследующему соотношению:

$$\Theta = \Theta_{z=0} \cdot \Theta_{R=0}, \qquad (2.6)$$

где $\Theta_{z=0}$ – безразмерная температура, определенная для оси пластины бесконечной протяженности с помощью номограммы (рис.П.2); $\Theta_{R=0}$ – безразмерная температура, определенная для оси цилиндра бесконечной протяженности с помощью номограммы (рис.П.4).

Безразмерная температура на цилиндрической поверхности болванки

$$\Theta = \Theta_{z=0} \cdot \Theta_R \qquad (2.7)$$

где Θ_R – безразмерная температура, определенная для поверхности цилиндра бесконечной протяженности с помощью номограммы (рис.П.3).

Безразмерная температура, определенная для точки на оси торцевой поверхности болванки

$$\Theta = \Theta_z \cdot \Theta_{R=0} \qquad (2.8)$$

где Θ_z – безразмерная температура, определенная для поверхности пластины бесконечной протяженности с помощью номограммы (рис.П.1).

Аналогично определяются температуры для тел ограниченных размеров других конфигураций [1,2]. Брус или параллелепипед можно представить как набор двух или соответственно трех пар плоских пластин заданной толщины.

Безразмерная температура в центре параллелепипеда может быть определена по следующему соотношению:

$$\Theta = \Theta_{x=0} \cdot \Theta_{y=0} \cdot \Theta_{z=0}, \qquad (2.9)$$

где $\Theta_{x=0}$, $\Theta_{y=0}$, $\Theta_{z=0}$ – безразмерные температуры в центре каждой грани (по каждой из оси), определенные для оси пластины бесконечной протяженности с помощью номограммы (рис.П.2).

После этого по известному выражению определяется температура в центре фигуры.

2.3 Определение количества теплоты

Количество тепла, отданное (воспринятое) участком пластинки с площадью боковой поверхности f, м^2, бесконечной протяженности, в окружающую среду с постоянной температурой $t_{ж}$, от начала охлаждения (нагревания) до момента времени τ_1, для случая $Fo \geq 0{,}3$:

$$Q = 2 \cdot \delta \cdot f \cdot p \cdot C \cdot (t_0 - t_{ж})(1 - \overline{\Theta}_1), \qquad (2.10)$$

$$\overline{\Theta}_1 = \frac{2\sin^2 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \sin \mu_1 \cos \mu_1} \exp(-\mu_1^2 F_{0_1}) \qquad (2.11)$$

где f – площадь боковых поверхностей рассматриваемого участка пластинки с обеих сторон, м^2; p – плотность материала пластинки, кг/м^3; C – удельная теплоемкость материала пластинки, Дж/(кг·град); Q – количество тепла, отданное (воспринятое) пластинкой в окружающую среду, Дж; t_0 – начальная температура пластинки, °С; $t_{ж}$ – температура окружающей среды, °С; $\overline{\Theta}_1 = \frac{\overline{t_1} - \overline{t_{ж}}}{t_0 - t_{ж}}$ - средняя безразмерная температура по толщине пластинки в момент времени τ_1; $\overline{t}_1$ - средняя по толщине пластинки температура в момент времени τ_1,°С; Fo_1 - число Фурье для пластинки, соответствующее моменту времени τ_1.

3 ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СТАЦИОНАРНОЙ И НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Все задачи раздела стационарной теплопроводности (см. задания № 1-15, задачи под №1) можно разделить на 5 групп с общими рекомендациями для каждой группы:

1-я группа (задания № 5, №6, № 7, № 10, № 15) включает задачи по процессам теплопроводности через одно и многослойные плоские стенки с постоянными значениями коэффициентов теплопроводности, не зависящими от температуры; их решение может быть получено с использованием формул (1.1), (1.2), (1.3).

2-я группа (задания № 1, № 4, №9, №11, № 12, № 14) включает задачи по процессам теплопроводности через многослойные цилиндрические стенки с не зависящими от температуры коэффициентами теплопроводности и для их решения можно воспользоваться формулами (1.4), (1.5), (1.6).

3-я группа (задания № 8, № 13) включает задачи по процессам теплопроводности через плоские стенки с коэффициентами теплопроводности, линейно зависящими от температуры. Для их решения следует использовать формулы (1.8), (1.10), (1.11).

При определении неизвестных температур на границах слоев следует придерживаться соответствующих рекомендаций раздела 1.1.

4-я группа (задания № 2, № 3) включает задачи стационарной теплопроводности стенок с внутренними источниками тепла, решение которых может быть получено с помощью формул (1.13), (1.14).

5-я группа (задания № 5, № 14, № 15) включает задачи стационарной теплопроводности по определению экономии топлива, при этом следует использовать формулы (1.15), (1.16).

Решение задач нестационарной теплопроводности (задачи под № 2, задания № 1-15) базируется на общем решении по формулам (2.1), (2.2). Сводится к расчету нестационарных температурных полей для тел простейших геометрических конфигураций (пластинки, цилиндра и т. п.), бесконечной протяженности с одновременным температурным полем, и тел ограниченных размеров (балки, бруски, болванки и т. п.), с двух и трехмерным температурным полем.

Решение любой задачи этой серии следует начинать с определения значений чисел *Fo* и *Bi*, которые являются определяющими критериальными числами.

В ряде задач расчет температурных полей предлагается производить с помощью номограмм (задания № 1, 3, 4, 5, 6, 11, 13) по вычисленным числам *Fo* и *Bi*. В остальных задачах температурные поля рассчитываются с помощью формул, полученных из общего решения, путем его упрощения:

при $Fo \geq 0{,}3$; $0{,}1 < Bi < 100$ - следует использовать формулу (2.3);

при Bi <0,1; и Fo - любом значении, следует использовать формулу (2.4);

при Fo >0,3; Bi >100 следует использовать формулу (2.5).

Для определения количества тепла, теряемого или воспринимаемого пластинкой, используется формула (2.9). Значение безразмерной температуры $\overline{\Theta}_1$, осредненной по толщине пластинки для случая $Fo \geq 0{,}3$, может быть вычислено по формуле (2.10).

Расчет температурных полей тел ограниченных размеров следует производить в соответствии с рекомендациями раздела 2 с использованием формул (2.6), (2.7), (2.8), (2.9).

Ряд задач по усмотрению преподавателя можно видоизменить.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерюгин, В. В. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : Учебное пособие / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 244 с. - ISBN 978-5-9227-0690-2. URL: http://www.iprbookshop.ru/74378.html

2. Горбачев, М. В. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : Учебное пособие / М. В. Горбачев. - Тепломассообмен ; 2025-02-05. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2015. - 443 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопролонгация). - ISBN 978-5-7782-2803-0. URL: http://www.iprbookshop.ru/91625.html

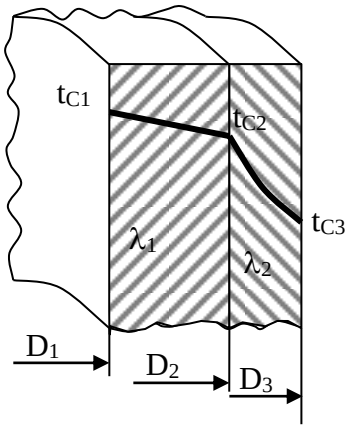
3. Лаптев, А. Г. Основы расчета и модернизация тепломассобменных установок в нефтехимии [Электронный ресурс] : Монография / А. Г. Лаптев, М. И. Фарахов, Н. Г. Минеев. - Основы расчета и модернизация тепломассобменных установок в нефтехимии ; 2024-12-16. - Санкт-Петербург : Страта, 2015. - 576 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 16.12.2024 (автопролонгация). - ISBN 978-5-906150-38-7. URL: http://www.iprbookshop.ru/89904.html

4. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. - М.: Энергия, 1977. - 344 с.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ

ЗАДАНИЕ № 1

З а д а ч а № 1



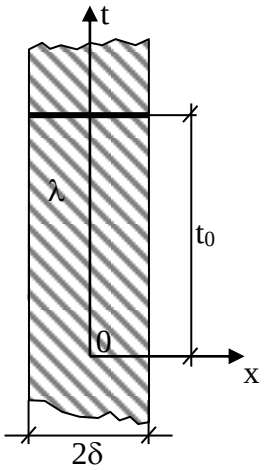
Цилиндрическое сушило выполнено с внутренним слоем из огнеупорного материала и с наружным слоем теплоизоляции. Коэффициенты теплопроводности слоев: λ_1 и λ_2. Температура внутренней поверхности кладки t_{C1} и наружной поверхности изоляции t_{C3} (табл.1.1).

Определить тепловые потери через стенку сушила и температуру на границе слоев, если высота стенки H. Построить график распределения температуры по толщине слоев.

Таблица 1.1

Номер варианта	t_{C1}	t_{C3}	D_1	D_2	D_3	λ_1	λ_2	H
	°C	°C	мм	мм	мм	Вт/(м·град)	Вт/(м·град)	м
1.1	600	100	1000	1250	1600	0,84	0,143	3,5
1.2	650	75	600	900	1300	0,28	0,162	3,0
1.3	700	59	700	1050	1400	0,1	0,109	4,0
1.4	550	55	800	1100	1550	0,9	0,072	4,5
1.5	500	50	900	1400	1700	1,3	0,113	5,0

З а д а ч а № 2



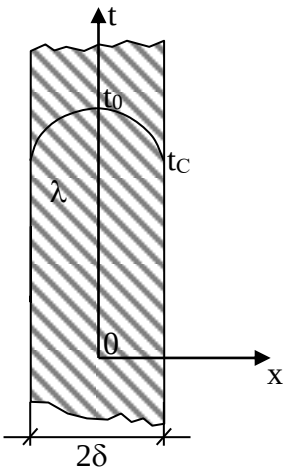
Плоская стенка бесконечной протяженности толщиной 2δ, прогретая до температуры t_0, омывается воздушным потоком с температурой $t_ж$ с двух сторон. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью стенки и воздухом, α (табл.1.2).

Построить изменение температуры во времени для середины и поверхности стенки по результатам расчета с помощью номограмм $\theta = \theta\ (B_i, F_a)$ для следующих отрезков времени от начала охлаждения стенки: $\tau_1 = 0$; $\tau_2 = 10$ мин; $\tau_3 = 60$ мин; $\tau_4 = 120$ мин; $\tau_5 = 180$ мин; $\tau_6 = 300$ мин.

Таблица 1.2

Номер варианта	δ	t_0	α	$t_ж$	$a \cdot 10^6$	λ
	мм	°C	Вт/(м^2·град)	°C	м^2/с	Вт/(м·град)
2.1	140	250	60	20	12,5	45,4
2.2	65	77	35	30	0,495	0,43
2.3	50	167	40	50	0,494	1,28
2.4	170	117	25	0	1,76	0,8
2.5	45	95	30	10	0,147	0,207

ЗАДАНИЕ № 2



З а д а ч а № 1

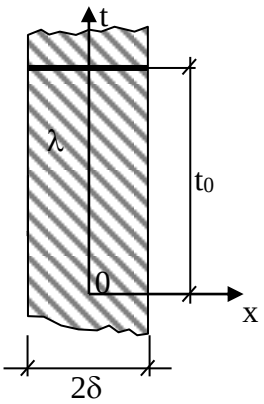
Стальная шина толщиной 2δ с размерами длины и ширины, намного превышающими толщину, разогревается пропускаемым электрическим током и охлаждается холодным воздушным потоком. Допустимая температура поверхности шины t_C, удельный тепловой поток, передаваемый поверхностью шины в окружающую среду, q (табл.2.1).

Определить температуру на оси шины t_0 и мощность внутреннего источника тепла. Построить график распределения температуры и теплового потока по толщине шины.

Таблица 2.1

Номер варианта	$q \cdot 10^{-3}$	t_C	2δ	λ
	Вт/м^2	°С	мм	Вт/(м·град)
1.1	50	500	4	18,4
1.2	60	450	6	15,5
1.3	45	400	5	16,0
1.4	40	350	3	14,6
1.5	35	300	2	15,1

З а д а ч а № 2



Плоская стенка бесконечной протяженности толщиной 2δ, прогретая до температуры t_0, омывается воздушным потоком с температурой $t_в$ = 20 °С, с двух сторон. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью стенки и воздухом α = 45 Вт/м^2·град (табл.2.2).

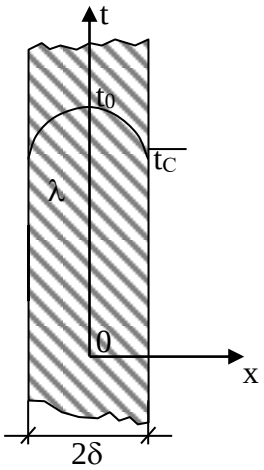
Определить расчетным путем температуру стенки на расстоянии x_1, x_2, x_3, x_4 от начала координат, через отрезок времени τ после начала охлаждения и построить график измерения температуры по толщине стенки для заданного момента времени τ.

Таблица 2.2

Номер варианта	δ	t_0	x_1	x_2	x_3	x_4	τ	$a \cdot 10^6$	λ	μ_1
	мм	°С	мм	мм	мм	мм	мин	м^2/с	Вт/(м·град)	-
2.1	100	200	0	30	70	100	10	12,5	45,4	0,311
2.2	50	100	0	15	35	50	60	0,495	0,43	1,32
2.3	20	150	0	7	15	20	30	0,494	1,28	0,75
2.4	150	80	0	50	100	150	120	1,76	0,8	1,43
2.5	10	60	0	20	65	10	4	0,147	0,207	1,1

ЗАДАНИЕ № 3

З а д а ч а № 1

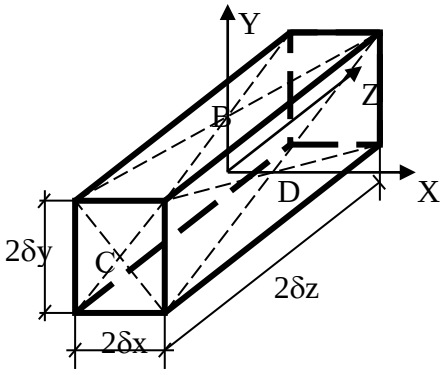


Стенка бесконечной протяженности толщиной 2δ и с коэффициентом теплопроводности λ, имеет внутренний источник тепла, мощностью q_v, равномерно распределенный по объему. Известна температура поверхности стенки t_C (табл.3.1). Определить температуру на оси стенки, удельный тепловой поток, теряемый стенкой в окружающую среду и построить распределение температуры и теплового потока по толщине стенки.

Таблица 3.1

Номер варианта	2δ	λ	q_v	t_C
	мм	Вт/(м·град)	$Вт/м^3$	°С
1.1	500	0,099	200	80
1.2	400	0,1395	300	60
1.3	350	0,23	400	90
1.4	300	0,163	500	75
1.5	450	0,43	350	70

З а д а ч а № 2



Брусок, имеющий форму параллелепипеда со сторонами 2δx × 2δy × 2δz, имел начальную температуру t_0 = 20°С, затем был помещен в печь с температурой $t_ж$. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью бруска и внутренней средой печи α (табл.3.2).

Определить изменение температуры во времени для точек, лежащих в центре бруска и на поверхностях граней в точках В, С и Д с помощью номограмм θ = θ (B_i, F_0). Значения температур, вычислить через следующие отрезки времени от начала нагревания бруска: τ_1=0; τ_2=1 ч; τ_3=2 ч; τ_4=3 ч; τ_5=4 ч. По результатам расчета построить график изменения температур во времени для указанных точек.

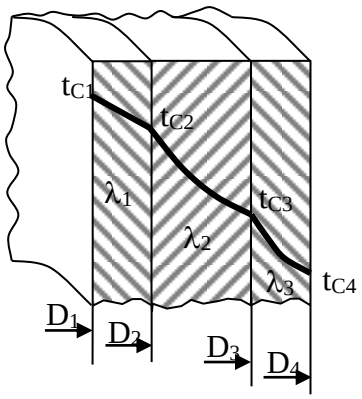
Таблица 3.2

Номер варианта	$t_ж$	2δx	2δy	2δz	α	$a·10^6$	λ
	°С	мм	мм	мм	Вт/($м^2$·град)	$м^2/с$	Вт/(м·град)
2.1	927	80	100	120	40	0,494	0,28
2.2	727	60	80	100	30	0,516	1,44
2.3	227	50	75	100	30	0,511	0,37
2.4	623	70	80	90	20	0,445	0,745
2.5	677	75	85	100	30	0,495	0,93

ЗАДАНИЕ № 4

З а д а ч а № 1

Трехслойная цилиндрическая стенка бесконечной протяженности имеет внутренний огнеупорный слой с коэффициентом λ_1, слой кирпичной кладки с коэффициентом теплопроводности λ_2 и теплоизоляционный наружный слой с коэффициентом теплопроводности λ_3. Известны температуры на внутренней и наружной поверхности стенки t_{C1} и t_{C4} (табл.4.1).



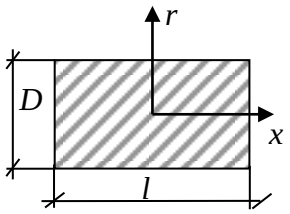
Определить неизвестные температуры на границах слоев, удельный тепловой поток, пропускаемый стенкой и построить график распределения температур по толщине каждого слоя.

Таблица 4.1

Номер варианта	D_1	D_2	D_3	D_4	t_{C1}	t_{C4}	λ_1	λ_2	λ_3
	мм	мм	мм	мм	°С	°С	Вт/(м·гр)	Вт/(м·гр)	Вт/(м·гр)
1.1	500	750	1000	1200	650	60	7,1	0,77	0,1395
1.2	600	800	1200	1400	600	50	8,2	0,7	0,163
1.3	700	900	1250	1450	500	50	14	0,81	0,123
1.4	800	950	1300	1550	450	57	10	0,30	0,098
1.5	400	600	850	1100	550	45	32	11,3	0,058

З а д а ч а № 2

Металлическая болванка цилиндрической формы диаметром D и длиной *l* в начальный момент времени была равномерно прогрета до температуры t_0 , после чего охладилась на воздухе с температурой $t_ж$=25 °С. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью болванки и средой равен α (табл.4.2).



Определить изменение температуры в центре болванки и на середине торцовой поверхности во времени с помощью номограмм $\theta = \theta\ (B_i, F_0)$. Значения температур вычислить через следующие отрезки времена после начала охлаждения: $\tau_1 = 0$; $\tau_2 = 5$ мин; $\tau_3 = 10$ мин; τ_4=20 мин; τ_5=30 мин. По результатам расчета построить графики изменения температуры во времени.

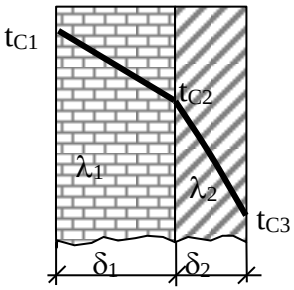
Таблица 4.2

Номер варианта	t_0	D	*l*	α	$a \cdot 10^6$	λ
	°С	мм	мм	Вт/(м^2·град)	м^2/с	Вт/(м·град)
2.1	927	100	100	75	12,5	45,4
2.2	1127	120	160	80	17,4	63
2.3	327	140	120	40	23,6	34,9
2.4	477	160	140	45	39,2	64
2.5	227	130	150	35	26,4	85,5

ЗАДАНИЕ № 5

З а д а ч а № 1

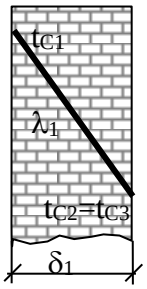
Определить экономию угля в печи, к.п.д. которой равно η, при восполнении потерь тепла в сутки через кирпичную, стену, площадью F, толщиной δ_1, со слоем теплоизоляции толщиной δ_2, с температурами на внутренней и внешней поверхностях соответственно t_{C1} и t_{C3}, в сравнении с той же кирпичной стеной и теми же значениями температур на ее поверхности, но без слоя теплоизоляции. Коэффициент теплопроводности кирпичной стены λ_1, слоя теплоизоляции - λ_2 (табл. 5.1) . Низшая теплота сгорания угля составляет $Q_н^р = 18000 \, кДж/кг$.



Определить неизвестную температуру на границе двух слоев.

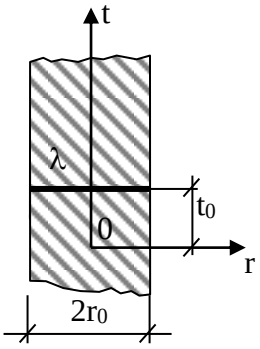
Таблица 5.1

Номер варианта	t_{C1} °C	t_{C3} °C	δ_1 мм	δ_2 мм	η -	λ_1 Вт/(м·град)	λ_2 Вт/(м·град)	F $м^2$
1.1	20	-10	200	150	0,85	0,475	0,14	25
1.2	25	-12	300	120	0,8	0,77	0,163	50
1.3	18	-15	350	100	0,75	0,81	0,123	70
1.4	22	-20	400	200	0,7	0,3	0,98	40
1.5	27	-18	450	170	0,78	11,3	0,58	15



З а д а ч а № 2

Длинный сплошной цилиндр диаметром $d=2r_0$, который имел температуру t_0 был помещен в среду с температурой $t_ж$. Коэффициент теплоотдачи между средой и поверхностью цилиндра α (табл. 5.2).



Построить изменение температуры во времени для точек, лежащих на оси и поверхности цилиндра по результатам расчета с помощью номограмм $\theta = \theta (B_i, F_0)$. Значения температур вычислить через следующие отрезки времени от начала нагревания цилиндра: $\tau_1=0$; $\tau_2=5$ мин; $\tau_3=20$ мин; $\tau_4=50$ мин; $\tau_5=120$ мин; $\tau_6=360$ мин.

Таблица 5.2

Номер варианта	$2r_0$ мм	t_0 °C	α Вт/($м^2$·град)	$t_ж$ °C	$a \cdot 10^6$ $м^2/с$	λ Вт/(м·град)
2.1	250	27	80	150	6,11	18
2.2	120	0	40	150	0,445	0,745
2.3	100	15	45	230	0,398	1,035
2.4	150	25	35	127	0,495	0,43
2.5	230	55	60	45	3,34	7,21

ЗАДАНИЕ № 6

З а д а ч а № 1

Стенка топки парового котла выполнена из слоя кирпичной кладки толщиной δ_1, с коэффициентом теплопроводности λ_1 и теплоизоляционного термостойкого слоя толщиной δ_2, с коэффициентом теплопроводности λ_2. Температура внутренней поверхности топочной камеры - t_{C1}, а наружной поверхности изоляции - t_{C3} (табл.6.1).

Вычислить тепловые потери через 1 м^2 стенки топки, температуру на границе двух слоев и построить график распределения температуры по толщине стенки.

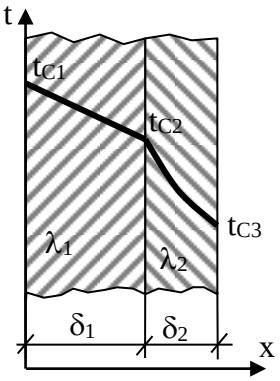
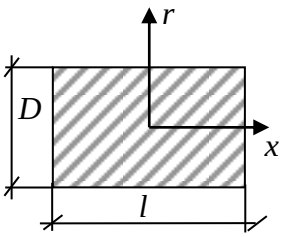


Таблица 6.1

Номер варианта	t_{C1}	t_{C3}	δ_2	δ_1	λ_1	λ_2
	°С	°С	мм	мм	Вт/(м·град)	Вт/(м·град)
1.1	1250	50	100	500	0,558	0,28
1.2	1073	70	150	700	0,942	0,15
1.3	1303	40	85	400	1,209	0,144
1.4	1120	30	135	650	1,447	0,28
1.5	1000	60	140	750	1,163	0,109

З а д а ч а № 2

Металлическая болванка цилиндрической формы диаметром D и длиной *l* в начальный момент времени имела одинаковую температуру t_0 =0 °С, после чего была помещена в среду с температурой $t_ж$. Коэффициент теплопроводности между поверхностью болванки и внешней средой равен α (табл.6.2).



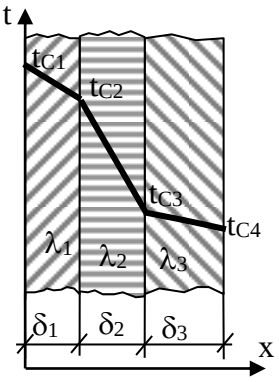
Определить изменение температуры в центре болванки и на середине цилиндрической поверхности во времени с помощью номограммы $\theta = \theta (B_i, F_0)$. Значения температур вычислить через следующие отрезки времени после начала нагревания: τ_1 = 0; τ_2 = 10 мин; τ_3 = 15 мин; τ_4=25 мин; τ_5=30 мин. Построить графики изменения температуры во времени.

Таблица 6.2

Номер варианта	$t_ж$	D	*l*	α	$a \cdot 10^6$	λ
	°С	мм	мм	Вт/(м^2·град)	м^2/с	Вт/(м·град)
2.1	1130	110	90	95	12,5	15,4
2.2	1230	120	150	100	17,4	63
2.3	427	140	110	55	23,6	34,9
2.4	130	150	130	35	39,2	64
2.5	280	130	140	40	26,4	85,5

ЗАДАНИЕ № 7

З а д а ч а № 1



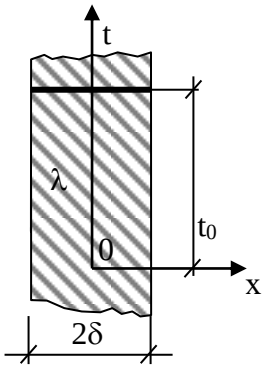
Плоская трехслойная стенка площадью F=15м^2 выполнена с кирпичной кладкой двух внешних слоев, между которыми слой тепловой изоляции. Первый слой огнеупорного кирпича толщиной δ_1, с коэффициентом теплопроводности λ_1 второй слой тепловой изоляции, толщиной δ_2 с коэффициентом теплопроводности λ_2 и третий слой — основная кирпичная кладка с толщиной δ_3, коэффициентом теплопроводности λ_3. Известны температуры поверхности стенки t_{C1} и t_{C4} (табл.7.1).

Определить количество тепла, передаваемого через стенку, температуры на границах слоев и построить график распределения температур по толщине слоев.

Таблица 7.1

Номер варианта	t_{C1}	t_{C4}	δ_1	λ_1	δ_2	λ_2	δ_3	λ_3.
	°С	°С	мм	Вт(/м·гр)	мм	Вт/(м·гр)	мм	Вт/(м·гр)
1.1	570	50	120	0,84	50	0,23	500	0,77
1.2	650	40	100	0,9	40	0,20	550	0,70
1.3	700	45	85	1,3	30	0,06	400	0,81
1.4	523	35	130	4,65	10	0,12	450	0,60
1.5	760	55	150	0,72	35	0,16	520	0,93

З а д а ч а № 2



Расчетным путем построить изменение температуры во времени для точки в центре и на поверхности металлического листа толщиной 2δ бесконечной протяженности прогретого до температуры t_0 (табл.7.2) после помещения его в воздушную среду с температурой $t_ж$= 27 °С.

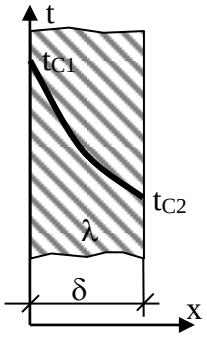
Расчет произвести до значения $t_{кон} = t_ж$. По результатам расчета построить графики изменения температур во времени.

Таблица 7.2

Номер варианта	t_0	2δ	α	$a \cdot 10^6$	λ
	^{0}С	мм	Вт/(м^2·град)	м^2/с	Вт/(м·град)
2.1	227	50	40	91,3	20,4
2.2	580	20	60	20,8	64
2.3	327	30	50	26,4	85,5
2.4	930	25	80	12,5	45,4
2.5	280	100	45	114,5	38,4

ЗАДАНИЕ № 8

З а д а ч а № 1



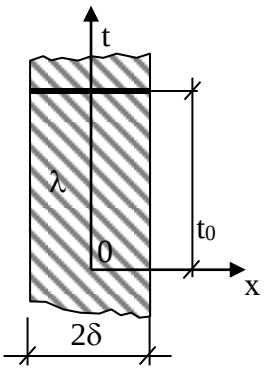
Плоская стенка выполнена из строительного материала толщиной δ с коэффициентом теплопроводности $\lambda=\lambda_0(1+bt)$, линейно зависящим от температуры. Температуры на поверхностях стенки t_{C1} и t_{C2}. Площадь поверхности стенки F = 20 м^2 (табл.8.1).

Определить тепловой поток, проходящий через стенку и построить график распределения температуры по толщине стенки.

Таблица 8.1

Номер варианта	t_{C1}	t_{C2}	δ	λ_0	b
	°С	°С	мм	Вт/(м·град)	1/град
1.1	473	-25	550	0,113	0,00203
1.2	553	27	600	0,28	0,00082
1.3	600	30	500	0,1	0,00145
1.4	500	35	450	1,69	0,00013
1.5	640	-10	400	1,3	0,00049

З а д а ч а № 2



Определить количество тепла, отданное металлической пластиной бесконечной протяженности толщиной 2δ, прогретой до температуры t_0 (табл.8.2) через следующие моменты времени после начала охлаждения в воздухе с температурой $t_ж$= 30°С: τ_1 = 10 мин; τ_2 = 30 мин; τ_3 = 60 мин; τ_4=120 мин; τ_5=180 мин. Коэффициент теплоотдачи α составляет 80 Вт/(м^2·град).

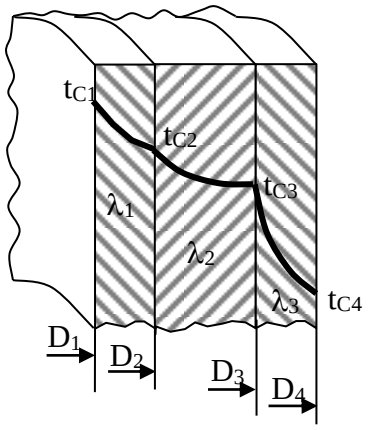
По результатам расчета построить график изменения удельного теплового потока во времени, отданного пластиной в окружающую среду.

Таблица 8.2

Номер варианта	t_0	2δ	$\rho\cdot10^{-3}$	$a\cdot10^6$	λ	μ_1	C
	°С	мм	кг/м^3	м^2/с	Вт/(м·град)	-	Дж/(кг·град)
2.1	230	200	2,67	91,3	20,4	0,2	2500
2.2	580	100	8,0	20,8	64	0,31	3600
2.3	327	150	8,6	26,4	85,5	0,33	5500
2.4	930	50	7,9	12,5	45,4	0,34	5300
2.5	280	800	8,8	114,5	38,4	0,35	6700

ЗАДАНИЕ № 9

З а д а ч а № 1



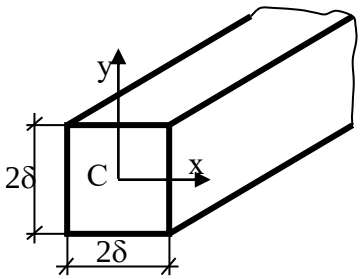
Железобетонная дымовая труба с коэффициентом теплопроводности λ_2=1,55 Вт/м·град, имеет снаружи кирпичную кладку с коэффициентом теплопроводности λ_3, а внутри футерована огнеупором с коэффициентом теплопроводности λ_1. Температура внутренней и наружной поверхностей трубы t_{C1} и t_{C4} (табл.9.1).

Определить неизвестные температуры на границах слоев, потери тепла одним погонным метром трубы и построить график изменения температуры по толщине слоев.

Таблица 9.1

Номер варианта	D_1	D_2	D_3	D_4	t_{C1}	t_{C4}	λ_1	λ_3
	мм	мм	мм	мм	°C	°C	Вт/(м·гр)	Вт/(м·гр)
1.1	600	800	1200	1700	425	60	1,04	0,77
1.2	500	700	1000	1400	400	55	0,37	0,7
1.3	470	650	980	1500	460	49	0,16	0,81
1.4	550	720	1050	1330	380	45	1,5	0,67
1.5	530	750	1100	1550	415	59	1,15	0,93

З а д а ч а № 2



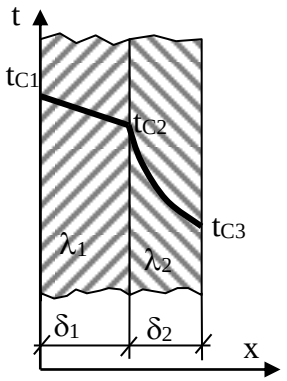
Расчетным путем с помощью формулы определить изменение температуры во времени для центра балки бесконечной протяженности квадратного сечения со стороной 2δ. Балка, прогретая равномерно до начальной температуры t_0= 50 °C, нагревается в среде с температурой $t_ж$ (табл.9.2). Расчет произвести, начиная с момента времени τ после начала нагревания до значения $t_{кон}$= 0,9·$t_ж$. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью балки и наружной средой α. По результатам расчета построить график изменения температуры во времени.

Таблица 9.2

Номер варианта	$t_ж$	2δ	α	$a\cdot10^6$	λ	τ
	°C	мм	Вт/(м²·град)	м²/с	Вт/(м·град)	мин
2.1	120	25	105	0,516	1,04	2
2.2	180	250	90	1,66	11,3	60
2.3	242	30	85	0,494	1,28	3
2.4	352	20	100	1,15	1,31	1
2.5	145	27	110	0,398	1,035	4

ЗАДАНИЕ № 10

З а д а ч а № 1



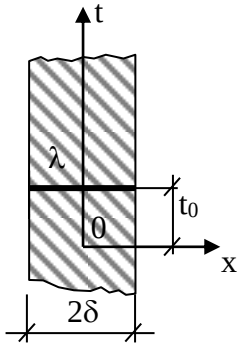
Двухслойная плоская стенка площадью F состоит из слоя огнеупорного материала и слоя теплоизоляции. Огнеупорный материал толщиной δ_1 с коэффициентом λ_1; слой теплоизоляции, толщиной δ_2 и с коэффициентом теплопроводности λ_2 (табл.10.1).

Температуры на поверхностях стенки t_{C1} и t_{C3} заданы. Определить тепловой поток, проходящий через стенку, температуру на границе слоев и построить график распределения температур по толщине слоев.

Таблица 10.1

Номер варианта	t_{C1} °C	t_{C3} °C	λ_1 Вт/(м·град)	λ_2 Вт/(м·град)	F $м^2$	δ_1 мм	δ_2 мм
1.1	820	70	0,84	0,162	17	100	50
1.2	780	60	0,88	0,143	25	110	55
1.3	690	55	0,1	0,02	32	120	60
1.4	710	50	0,9	0,072	12	130	65
1.5	650	59	1,3	0,087	28	140	70

З а д а ч а № 2



Плоская стенка бесконечной протяженности толщиной 2δ с начальной температурой t_0= 30 °C омывается горячим воздухом с температурой $t_ж$ с двух сторон. Коэффициент теплоотдача между поверхностью стенки и воздухом - α (табл.10.2).

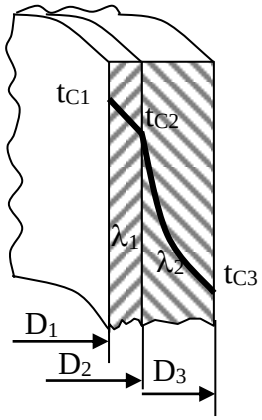
Определить расчетным путем с помощью формулы температуры в центре и на поверхности стенки для заданных моментов времени τ_1; τ_2; τ_3; τ_4; τ_5, после начала нагревания. Построить графики изменения температур во времени для указанных точек.

Таблица 10.2

Номер варианта	$t_ж$ °C	2δ мм	α Вт/($м^2$·град)	$a\cdot10^6$ $м^2/с$	λ Вт/(м·град)	μ_1 -	τ_1 ч	τ_2 ч	τ_3 ч	τ_4 ч	τ_5 ч
1.1	100	100	40	0,516	1,04	1,06	1,04	2,0	3	4,0	5,0
1.2	150	150	50	1,66	11,3	0,54	0,37	3,0	3,5	5,0	6,0
1.3	130	50	45	0,494	1,28	0,81	0,16	1,0	1,5	2,0	2,5
1.4	300	200	75	1,15	1,31	1,355	1,5	1,7	2,0	2,7	3,2
1.5	250	20	65	0,398	1,035	0,72	1,15	0,5	1,0	1,5	2,0

ЗАДАНИЕ № 11

З а д а ч а № 1



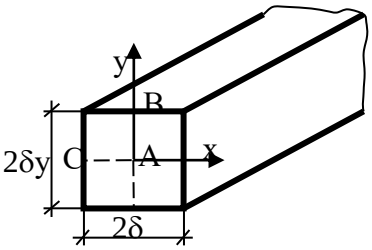
Теплопровод диаметром D_1/D_2 покрыт слоем тепловой изоляция с наружным диаметром D_3 Коэффициент теплопроводности материала трубы λ_1, теплоизоляции - λ_2. Температура внутренней поверхности трубы t_{C1}, наружной поверхности изоляция t_{C3} (табл.11.1).

Определить теплопотери одного погонного метра теплопровода, температуру на границе слоев и построить график распределения температур по толщине трубы и слоя изоляции.

Таблица 11.1

Номер варианта	D_1	D_2	D_3	t_{C1}	t_{C3}	λ_1	λ_2
	мм	мм	мм	°С	°С	Вт/(м·град)	Вт/(м·град)
1.1	150	165	215	120	50	54	0,05
1.2	150	160	220	100	40	50	0,06
1.3	230	255	300	130	35	44,7	0,162
1.4	310	325	370	90	45	36,4	0,087
1.5	360	377	430	140	55	28	0,144

З а д а ч а № 2



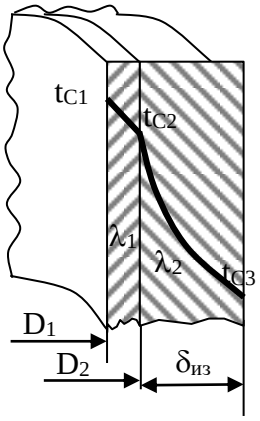
Длинная металлическая балка прямоугольного сечения с размерами поперечного сечения $2\delta x \times 2\delta y$, прогретая до температуры t_0, помещена в среду с температурой $t_ж$ = 0 °С. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью балки и средой - α (табл.11.2).

Рассчитать с помощью номограмм $\theta = \theta\ (B_i, F_0)$ температуру в центре сечения и на поверхности балки в т.т. А, В, С для следующих моментов времени после начала охлаждения: τ_1=0; τ_2 =100 мин; τ_3 =130 мин; τ_4=200 мин; τ_5=300 мин. Построить графики изменения во времени температур в указанных точках по результатам расчета.

Таблица 11.2

Номер варианта	t_0	$2\delta x$	$2\delta y$	α	$a \cdot 10^6$	λ
	°С	мм	мм	Вт/(м^2·град)	м^2/с	Вт/(м·град)
2.1	380	150	200	60	6,11	23,3
2.2	530	130	180	70	7,0	32
2.3	930	170	190	110	6,94	37,2
2.4	1100	200	250	100	12,5	45,4
2.5	900	100	140	90	4,3	17

ЗАДАНИЕ № 12



З а д а ч а № 1

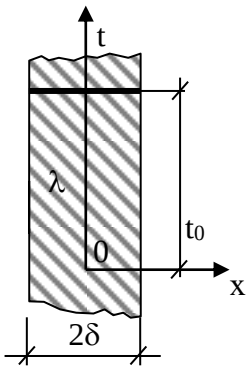
Паропровод диаметром D_1/D_2 покрыт слоем тепловой изоляции толщиной $\delta_{из}$. Коэффициент теплопроводности стенки трубы λ_1, изоляции λ_2 (табл.12.1). Известны температуры на внутренней поверхности паропровода трубы t_{C1}, и на наружной поверхности изоляция t_{C3}.

Определить тепловые потери с одного погонного метра паропровода и температуру на границе слоев между трубой и изоляцией. Построить график изменения температуры по толщине трубы и изоляции.

Таблица 12.1

Номер варианта	D_1	D_2	$\delta_{из}$	t_{C1}	t_{C3}	λ_1	λ_2
	мм	мм	мм	°С	°С	Вт/(м·град)	Вт/(м·град)
1.1	150	160	50	400	50	54	0,13
1.2	200	220	60	450	60	50	0,06
1.3	230	255	45	350	55	44	0,143
1.4	310	340	55	300	40	36	0,109
1.5	360	377	40	500	45	28	0,09

З а д а ч а № 2.



Плоская металлическая стенка бесконечной протяженности толщиной 2δ с начальной температурой t_0 = 630 °С охлаждается в жидкой среде с температурой $t_ж$. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью стенки и средой - α (табл.12.2).

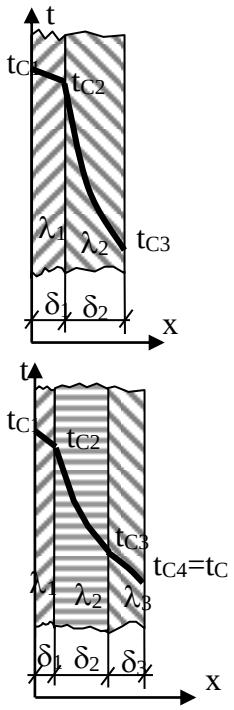
Определить расчетным путем, с помощью формулы и изобразить графически изменение температуры по толщине стенки для следующих моментов времени после начала охлаждения: τ_1 =1 мин; τ_2 =5 мин; τ_3=10 мин.

Таблица 12.2

Номер варианта	$t_ж$	2δ	α	$a\cdot10^6$	λ	μ_1	x_1	x_2	x_3	x_4
	°С	мм	Вт/(м^2·гр)	м^2/с	Вт/(м·гр)	-	мм	мм	мм	мм
2.1	0	70	12	91,3	20,4	0,141	0	12	24	35
2.2	-27	40	13	20,8	64	0,2	0	7	12	20
2.3	30	30	11	26,4	85,5	0,14	0	5	10	15
2.4	50	50	10,5	12,5	45,4	0,23	0	10	17	25
2.5	17	60	11,5	114	38,4	0,09	0	10	20	30

ЗАДАНИЕ № 13

З а д а ч а № 1



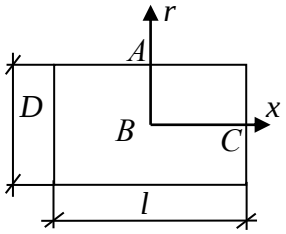
Плоская стенка бака толщиной δ_1, с коэффициентом теплопроводности λ_1 =46,5 Вт/м·гр покрыта в первом варианте, теплоизоляционным слоем новоасбозурита толщиной δ_2 с коэффициентом теплопроводности λ_2 = 0,144(1+0,000972t) Вт/м·гр. Во втором варианте стенка бака покрыта двумя теплоизоляционными слоями: тем же слоем новоасбозурита толщиной δ_2 и слоем известковой штукатурки толщиной δ_3 с коэффициентом λ_3=0,698 Вт/м·гр.

При заданных температурах на внутренней и наружной поверхностях бака t_{C1} и $t_{C3} = t_{C4}$ (табл.13.1) определить разницу в тепловом потоке, передаваемом через стенку, построить график изменения температур по толщине слоев для первого варианта.

Таблица 13.1

Номер варианта	t_{C1}	t_{C3}	δ_1	δ_2.	δ_3
	°C	°C	мм	мм	мм
1.1	120	45	10	50	20
1.2	100	59	7	40	15
1.3	90	30	5	30	10
1.4	110	40	12	45	12
1.5	135	50	9	35	13

З а д а ч а № 2

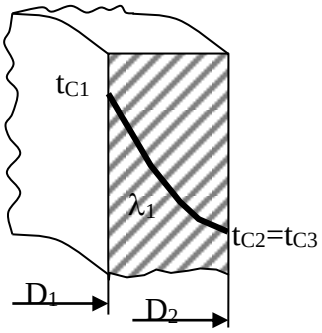


Металлическая болванка цилиндрической формы диаметром *D* и длинной *l* в начальный момент времени имела одинаковую во всех точках температуру t_0 = 23 °C, после чего была помещена в среду с температурой $t_ж$. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью болванки и средой - α (табл.13.2). Определить изменение во времени температур в центре болванки, в точке В, в точке А на ее цилиндрической поверхности и в точке С на торцевой поверхности. Рассчитать с помощью номограмм значения температур для следующих моментов времени после начала нагревания: τ_1 = 0; τ_2 =40 мин; τ_3 =100 мин; τ_4=160 мин; τ_5=200 мин. Построить графики изменения температур во времени.

Таблица 13.2

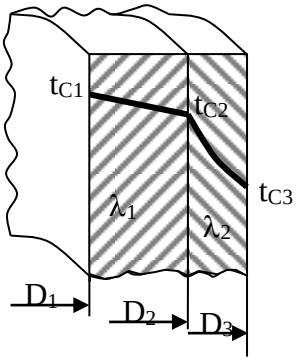
Номер варианта	*D*	*l*	$t_ж$	α	$a \cdot 10^6$	λ
	мм	мм	°C	Вт/(м^2·град)	м^2/с	Вт/(м·град)
2.1	160	120	430	35	6,11	23,3
2.2	180	140	530	45	7,0	32
2.3	200	110	650	55	6,94	37,2
2.4	250	150	850	70	12,5	45,4
2.5	140	100	927	80	4,3	17

ЗАДАНИЕ № 14



З а д а ч а № 1

Определить экономию природного газа при двухсменной работе в течение месяца цилиндрического сушила с к.п.д., равным η, выполненного в двух конструктивных вариантах. В первом варианте стенка сушила однослойная, диаметром D_1/D_2, выполненная из огнеупорного материала с коэффициентом теплопроводности λ_1. Во втором варианте стенка двухслойная с первым слоем диаметром D_1/D_2, из того же огнеупорного материала и наружным слоем диаметром D_2/D_3 выполненным из теплоизоляционного материала с коэффициентом λ_2 (табл.14.1). Низшая теплотворность природного газа $Q_н^р = 35600 \frac{кДж}{нм^3}$.

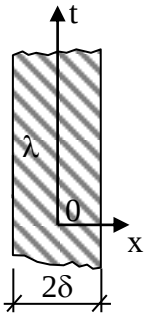


Определить неизвестную температуру на границе двух слоев и построить график изменения температур по толщине стенки в обеих вариантах.

Таблица 14.1

Номер варианта	t_{C1} °C	t_{C3} °C	D_1 мм	D_2 мм	D_3 мм	λ_1 Вт/(м·град)	λ_2 Вт/(м·град)	η -
1.1	600	100	1000	1250	1600	0,84	0,4	0,72
1.2	650	75	600	900	1300	0,88	0,312	0,78
1.3	700	59	700	1050	1400	0,9	0,375	0,73
1.4	550	55	800	1100	1550	0,9	0,08	0,65
1.5	500	50	900	1400	1700	1,3	0,02	0,70

З а д а ч а № 2



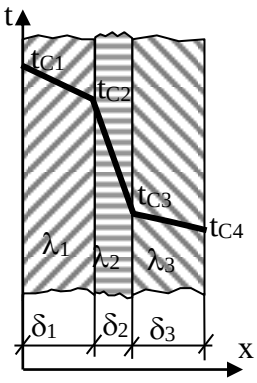
Определить количество тепла, воспринятого стенкой бесконечной протяженности толщиной 2δ при нагревании ее в среде с температурой $t_ж$ (табл.14.2) через следующие моменты времени от начала нагревания: τ_1 = 2 ч; τ_2 = 3 ч; τ_3 = 4 ч; τ_4=5 ч. Температура стенки до начала нагрева t_0 = 0 °С. По результатам расчета построить график изменения: удельного теплового потока, воспринятого стенкой во времени. Суммарная площадь боковых поверхностей f=15 м^2.

Таблица 14.2

Номер варианта	$t_ж$ °C	2δ мм	$\rho \cdot 10^{-3}$ кг/м^3	$a \cdot 10^6$ м^2/с	λ Вт/(м·град)	μ_1 -	C Дж/(кг·град)
2.1	100	200	1,845	0,516	1,04	1,425	1800
2.2	150	300	1,0	1,66	11,3	0,7	1600
2.3	180	150	2,3	0,494	1,28	1,41	2000
2.4	120	250	2,7	1,15	1,31	1,57	1750
2.5	135	100	2,4	0,398	1,035	0,55	1950

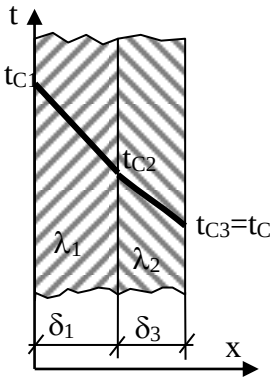
ЗАДАНИЕ № 15

З а д а ч а № 1



Обмуровка термической печи с к.п.д., равным η выполнена в двух вариантах. В первом варианте она состоит из слоев шамотного и красного кирпичей, между которыми расположена засыпка из диатомита. Толщина шамотного слоя δ_1, диатомитовой засыпки δ_2, слоя красного кирпича δ_3.

Коэффициенты теплопроводности материалов соответственно равны: λ_1=0,93 Вт/м·град., λ_1=0,14 Вт/м·град, λ_1=0,7 Вт/м·град. Во втором варианте отсутствует слой диатомитовой засыпки, при сохранении температур на наружных поверхностях стенка, t_{C1} и $t_{C3} = t_{C4}$ (табл.15.1).

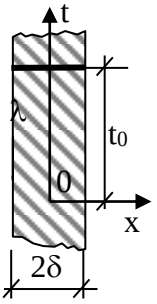


Определить экономию природного газа в течение месяца при двухсменной работе печи, если расчетная теплообменная поверхность равна F, а низшая теплота сгорания газа $Q_н^р = 37800\ кДж/нм^3$. Построить график изменения температур по толщине слоев в обоих вариантах с определением неизвестных температур на границах слоев.

Таблица 15.1

Номер варианта	t_{C1}	t_{C4}	δ_1	δ_2	δ_3	η	F
	°C	°C	мм	мм	мм	-	$м^2$
1.1	1000	50	120	50	250	0,7	6
1.2	900	60	100	40	200	0,8	10
1.3	800	55	150	60	200	0,65	12
1.4	700	45	170	65	180	0,75	15
1.5	600	65	80	70	300	0,68	9

З а д а ч а № 2



Определить промежутки времени, по истечении которых лист стали толщиной 2δ прогретый до температуры t_0 , будучи помещен в воздушную среду с температурой $t_ж$=0 °C, охладиться до значения температур t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 (табл.15.2). Построить графики изменения температур во времени по результатам расчета.

Таблица 15.2

Номер варианта	t_0	2δ	α	$a \cdot 10^6$	λ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
	°C	мм	Вт/($м^2$·гр)	$м^2/с$	Вт/(м·гр)	°C	°C	°C	°C	°C
2.1	200	50	25	6,12	23,3	150	100	80	40	10
2.2	280	100	30	7,0	32	250	180	100	50	20
2.3	267	150	35	6,94	37,2	220	160	110	60	30
2.4	280	150	32	9,5	35,4	250	200	100	50	20
2.5	450	25	40	4,3	17	400	300	200	100	10

Приложение 1

Коэффициенты для расчета охлаждения или нагревания пластины и длинного цилиндра

Таблица П.1.1

Коэффициенты для расчета охлаждения или нагревания пластины толщиной 2δ

$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda}$	μ_1	$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda}$	μ_1	$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda}$	μ_1
0,00	0,0000	0,55	0,6800	6,0	1,3496
0,01	0,0998	0,60	0,7051	7,0	1,3766
0,02	0,1410	0,70	0,7506	8,0	1,3978
0,04	0,1987	0,80	0,7910	9,0	1,4149
0,06	0,2425	0,90	0,8274	10	1,4289
0,08	0,2791	1,00	0,8603	12	1,4420
0,10	0,3111	1,20	0,9171	14	1,4560
0,12	0,3397	1,40	0,9649	16	1,4700
0,14	0,3656	1,60	1,0008	18	1,4830
0,16	0,3896	1,80	1,0440	20	1,4961
0,18	0,4119	2,00	1,0769	25	1,5070
0,20	0,4328	2,2	1,1054	30	1,5200
0,22	0,4525	2,4	1,1300	35	1,5260
0,24	0,4712	2,6	1,1541	40	1,5325
0,26	0,4889	2,8	1,1747	50	1,5400
0,28	0,5058	3,0	1,1925	60	1,5451
0,30	0,5218	3,5	1,2330	70	1,5490
0,35	0,5590	4,0	1,2646	80	1,5514
0,40	0,5932	4,5	1,2880	90	1,5520
0,45	0,6240	5,0	1,3138	100	1,5560
0,50	0,6533	5,5	1,3340	∞	1,5708

Таблица П.1.2

Коэффициенты для расчета охлаждения или нагревания
длинного цилиндра радиусом r_0

$Bi = \frac{\alpha \cdot r_0}{\lambda}$	μ_1	$Bi = \frac{\alpha \cdot r_0}{\lambda}$	μ_1	$Bi = \frac{\alpha \cdot r_0}{\lambda}$	μ_1
0,00	0,0000	0,55	0,9808	6,0	2,0490
0,01	0,1412	0,60	1,0184	7,0	2,0937
0,02	1,1995	0,70	1,0873	8,0	2,1286
0,04	0,2814	0,80	1,1490	9,0	2,1566
0,06	0,3438	0,90	1,2048	10	2,1795
0,08	0,3960	1,00	1,2558	12	2,2181
0,10	0,4417	1,20	1,3450	14	2,2428
0,12	0,4726	1,40	1,4250	16	2,2627
0,14	0,5200	1,60	1,4900	18	2,2760
0,16	0,5545	1,80	1,5460	20	2,2890
0,18	0,5868	2,00	1,5994	25	2,3108
0,20	0,6170	2,2	1,6432	30	2,3261
0,22	0,6455	2,4	1,6852	35	2,3366
0,24	0,6726	2,6	1,7234	40	2,3455
0,26	0,6983	2,8	1,7578	50	2,3572
0,28	0,7229	3,0	1,7887	60	2,3651
0,30	0,7465	3,5	1,8547	70	2,3707
0,35	0,8012	4,0	1,9081	80	2,3750
0,40	0,8516	4,5	1,9519	90	2,3791
0,45	0,8978	5,0	1,9898	100	2,3809
0,50	0,9408	5,5	2,0224	∞	2,4048

Приложение 2

Графики зависимостей θ = f_1{Fo, Bi) для тонкой пластины и цилиндра

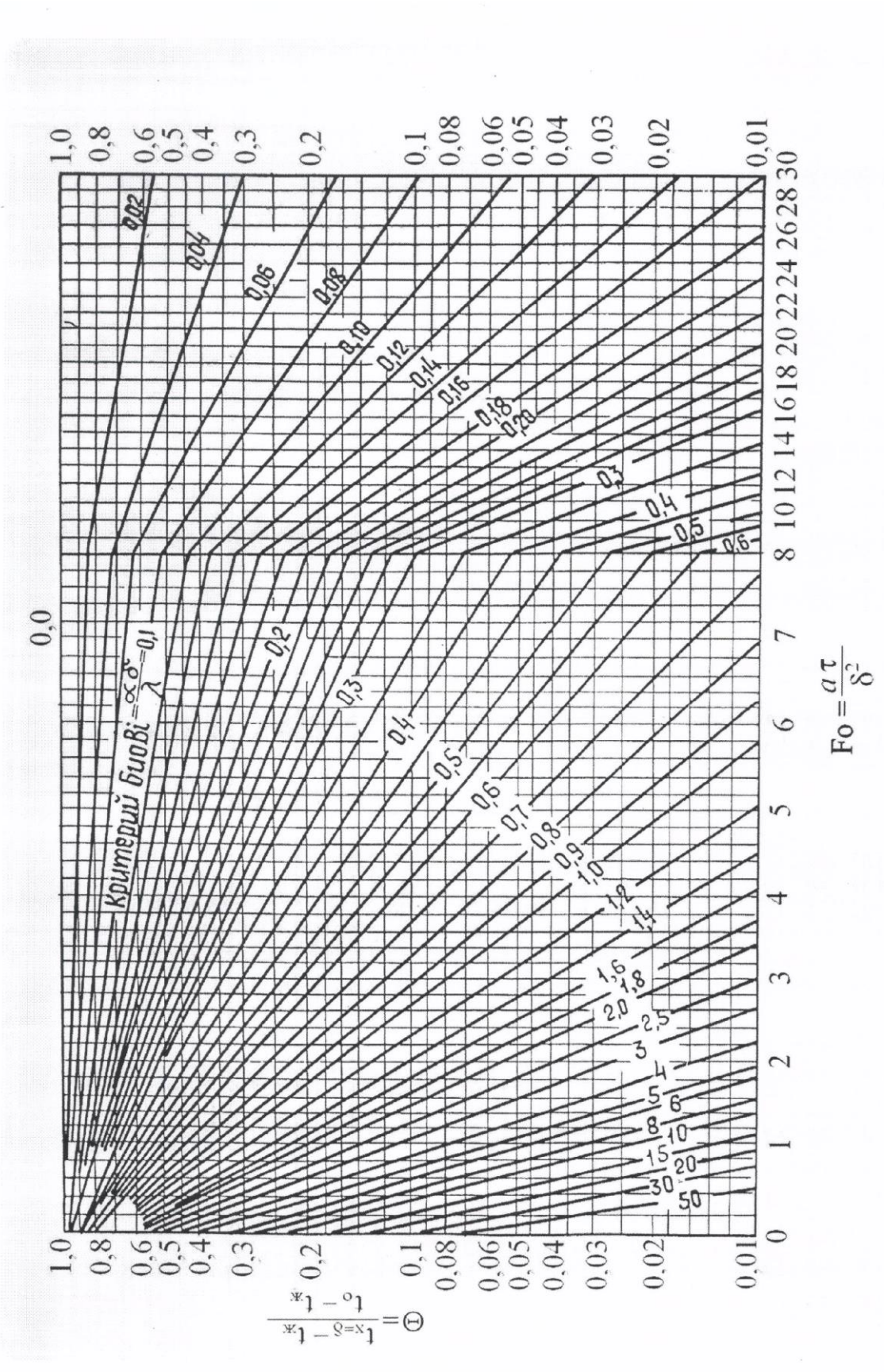


Рис. П.1. Зависимость $\theta = f\ Bi; Fo$ для поверхности пластины

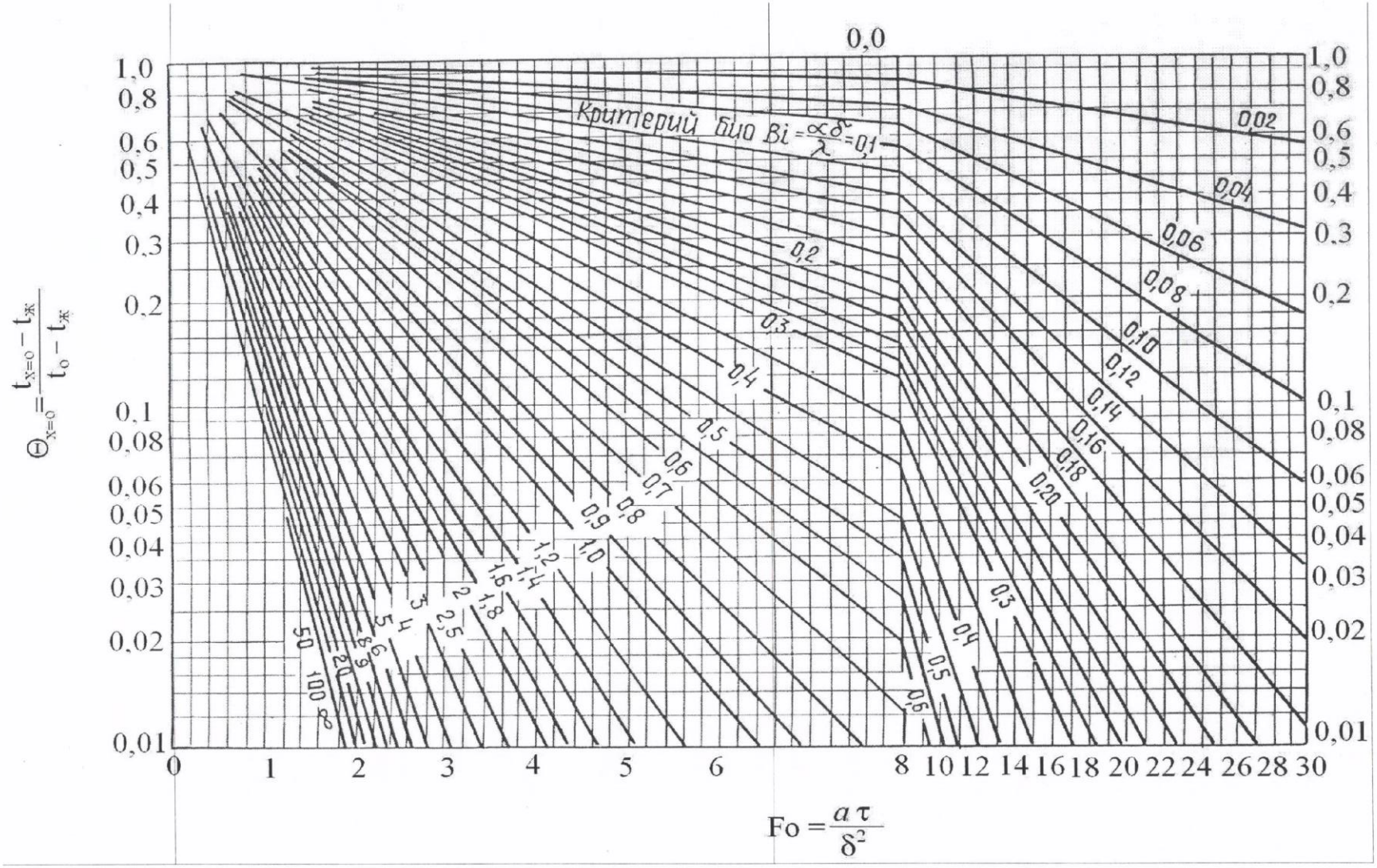


Рис. П.2. Зависимость $\theta = f\ Bi; Fo$ для середины пластины

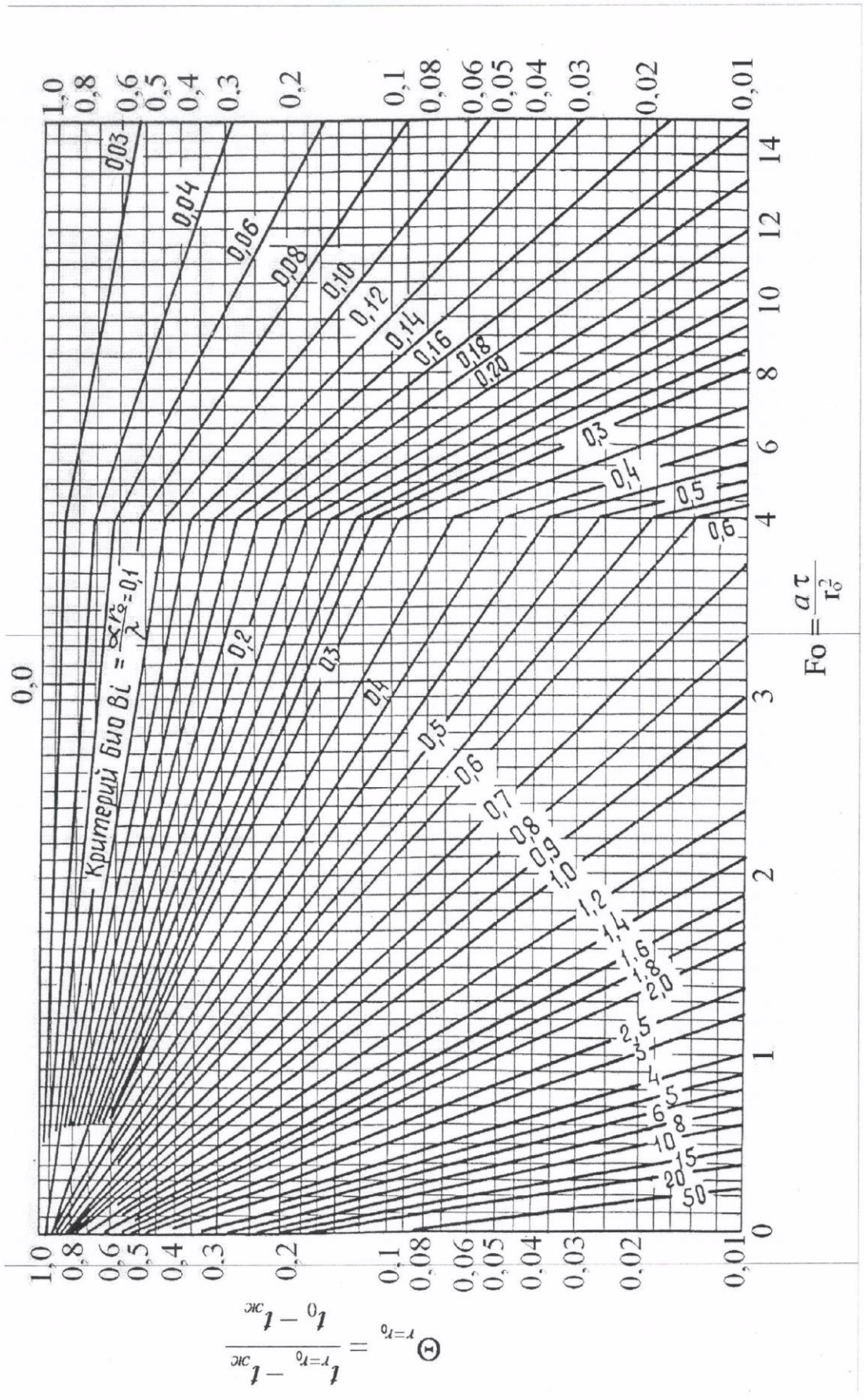


Рис. П.3. Зависимость $\theta = f\ \ Bi; Fo$ для поверхности цилиндра

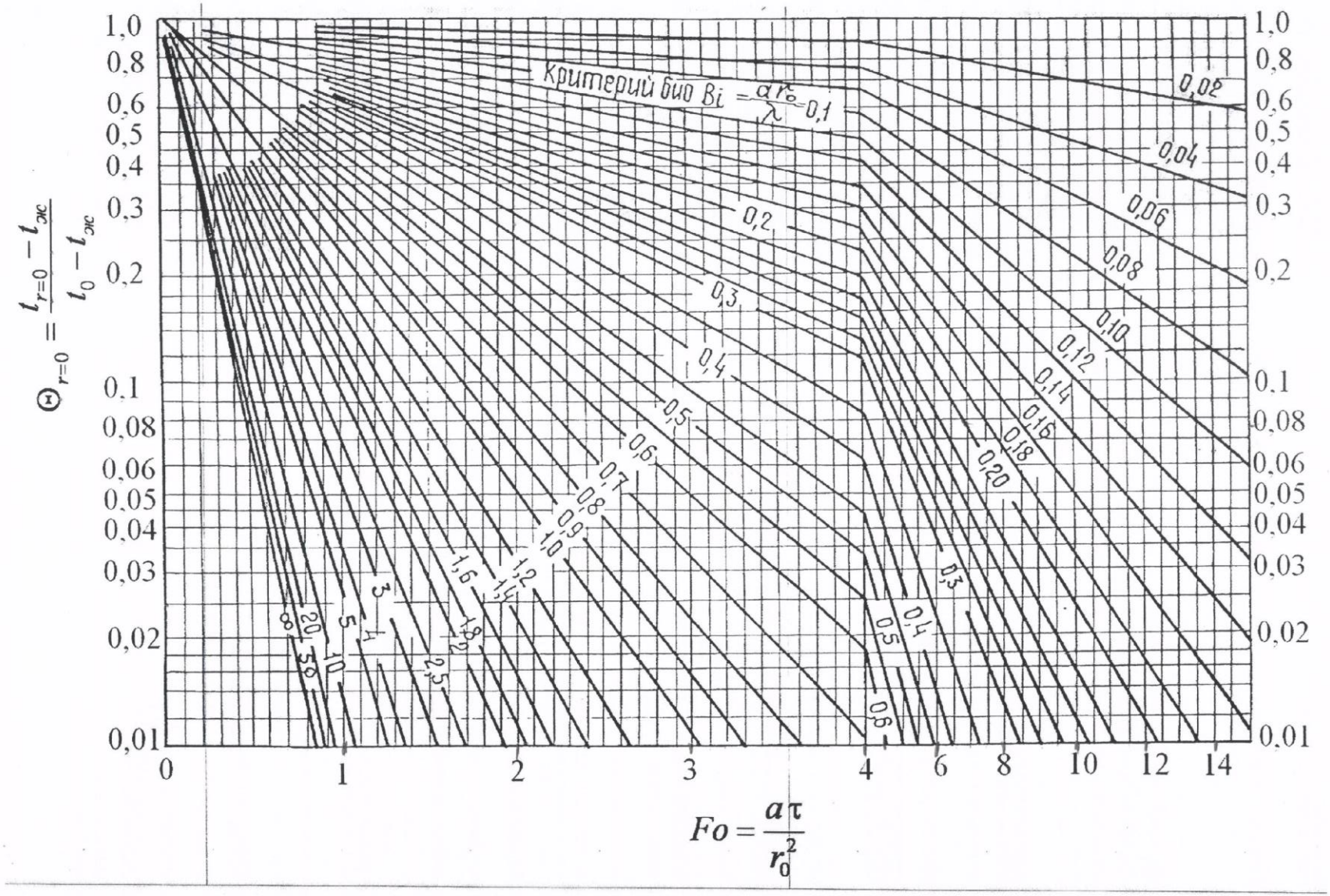


Рис. П.4. Зависимость $\theta = f\ Bi; Fo$ для оси цилиндра

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

И КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Методические указания
к выполнению курсовой и практической работы
по дисциплинам «Тепломассообмен», «Теплогазоснабжение с основами теплотехники», «Техническая термодинамика и теплотехника»
для бакалавров направлений 08.03.01 Строительство,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 21.03.01 Нефтегазовое дело,
18.03.01 Химическая технология
всех форм обучения

Составители:
Мелькумов Виктор Нарбенович
Петрикеева Наталья Александровна
Мартыненко Галина Николаевна

Редактор Наталья Николаевна Аграновская

Подписано к изданию 02.02.2021.
Уч.-изд. л. 2,25
Объем данных 4,36 МБ

ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет
394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84