

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ»**

Составитель
В.Н. ШАРШИН

Владимир 2001

УДК 621.74

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
Ю.Д. Корогодов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к курсовой работе по дисциплине “Печи литейных цехов” / Владим. гос. ун-т; Сост. В.Н. Шаршин. Владимир, 2002. 20 с.

Составлены в соответствии с учебными планами специальности 110400 «Литейное производство черных и цветных металлов». Основной целью методических указаний является изучение методики практического расчета электропечей сопротивления, которая включает следующие основные разделы: определение геометрических разделов печи, тепловой расчет печи, расчет нагревателей. Методические указания снабжены необходимой справочной информацией, представленной в приложении.

Предназначены для студентов очной формы обучения по специальностям 110400 и 120300. Могут использоваться студентами заочной формы обучения.

Ил. 2 . Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.74

В курсовой работе студентам предлагается выполнить расчет камерной электропечи сопротивления для нагрева отливок (слитков).

Исходные данные для расчета (выдаются преподавателем):

G - производительность печи, кг/ч;

m - масса одной отливки (слитка);

$t_{\text{м}}^{\text{нач}}$ - начальная температура отливок (слитков), °С;

$t_{\text{м}}^{\text{кон}}$ - конечная температура нагрева отливок (слитков) с указанием диапазона возможных отклонений температуры от требуемой Δt , °С;

U - напряжение питающей сети, В;

$s \times l \times h$ - размеры отливок (слитков), м.

Курсовая работа включает в себя выполнение следующих расчетов:

- определение геометрических размеров печи;
- тепловой расчет печи;
- расчет нагревателей.

В курсовой работе студенты выполняют следующие эскизы:

- эскиз компоновки отливок (слитков) на поддоне печи;
- эскиз компоновки нагревателей на стенах, своде и поду печи;
- общий вид печи с необходимыми размерами.

Эскизы выполняются на стандартных листах формата А3 или А4 и подшиваются к пояснительной записке.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПЕЧИ

Для печей данного типа при двухстороннем нагреве изделий напряжение активного пода $P_{\text{п}} = 500 - 700$ кг/(м²·ч).

Принимая некоторое среднее значение, например $P_{\text{п.ср}} = 600$ кг/(м²·ч), находим площадь пода, занятую металлом:

$$F'_{\text{м}} = G / P_{\text{п.ср}}.$$

Отливки (слитки) нагреваются на поддонах. Задаем ширину $B'_{\text{м}}$ (с учетом размеров отливок) и определяем длину поддона.

$$L'_{\text{м}} = F'_{\text{м}} / B'_{\text{м}}.$$

Учитывая, что нагревательные элементы, расположенные на стенках печи, выступают внутрь стен рабочего пространства на 50 - 150 мм, а рас-

стояние от нагревательных элементов до отливок (слитков) не должно быть меньше 100 - 250 мм, принимаем ширину B' и длину L' рабочего пространства печи, м.

При двустороннем нагреве нагревательные элементы расположены также на своде и на поду. Учитывая рекомендованные расстояния между нагревателями, стенками печи и нагреваемым металлом, принимаем расстояние между сводом и нагреваемым металлом 0,35 м, а между поддоном и подом 0,15 м.

Принимаем высоту садки H_c . С учетом принятых величин и высоты H_c определяем общую высоту рабочего пространства печи H .

Принимаем за теплоотдающую поверхность печи внутреннюю поверхность ее футеровки и, считая газовую среду лучепрозрачной, находим приведенный коэффициент излучения по формуле, Вт/(м²·К⁴),

$$C_{\text{пр}} = 5,7 / \left[\frac{1}{\varepsilon_m} + \left(\frac{1}{\varepsilon_n} - 1 \right) \frac{F_m}{F_n} \right],$$

где F_m - тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла, $F_m = 2 \cdot F'_m$, м²; где F_n - теплоотдающая поверхность печи ($F_n = 2 \cdot L \cdot B + 2 \cdot L \cdot H + 2 \cdot B \cdot H$), м²; ε_m и ε_n - соответственно степень черноты поверхностей металла и футеровки печи определяем по табл. П2 приложения.

Далее определяем средний коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·К),

$$\alpha_{\text{изл}} = \frac{C_{\text{пр}} \sqrt{[(T_{\text{г}}/100)^4 - (T_{\text{м}}^{\text{нач}}/100)^4][(T_{\text{г}}/100)^4 - (T_{\text{м}}^{\text{кон}}/100)^4]}}{\sqrt{(T_{\text{г}} - T_{\text{м}}^{\text{нач}})(T_{\text{г}} - T_{\text{м}}^{\text{кон}})}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{г}}$ и $T_{\text{м}}$ - абсолютные температуры газа в рабочем пространстве печи и отливок (слитков); индексы «нач» и «кон» соответствуют начальной и конечной температурам отливок.

В расчетах по формуле (1) ориентировочно принимаем температуру газов в рабочем пространстве печи, °С,

$$T_{\text{г}} = t_{\text{м}}^{\text{кон}} + (50 - 70),$$

Принимая коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha^{\text{конв}} = 11,63$ Вт/(м²·К), находим суммарный коэффициент теплоотдачи к металлу:

$$\alpha = \alpha^{\text{изл}} + \alpha^{\text{конв}}.$$

Находим критерий Био

$$Bi = \frac{\alpha \cdot S}{\lambda},$$

где S - толщина отливки, м.

Температурный критерий для поверхности отливок

$$\Theta_{\text{пов}} = (t_{\Gamma} - t_{\text{м}}^{\text{кон}}) / (t_{\Gamma} - t_{\text{м}}^{\text{нач}}),$$

где t_{Γ} , $t_{\text{м}}^{\text{кон}}$, $t_{\text{м}}^{\text{нач}}$ - соответствующие температуры, °С,

По найденным значениям Bi , $\Theta_{\text{пов}}$ и номограмме (рис.П1 приложения) находим критерий Фурье Fo .

Коэффициент теплопроводности, входящий в критерий Фурье, м²/с:

$$a = \lambda / (c \cdot \rho),$$

Продолжительность нагрева определяем по формуле, с

$$\tau = Fo S^2 / a,$$

При найденных значениях Bi и Fo по номограмме (рис.П2 приложения) находим температурный критерий для центра отливок $\Theta_{\text{цент}}$.

Тогда из выражения для $\Theta_{\text{цент}}$ определяем $t_{\text{цент}}^{\text{кон}}$.

$$\Theta_{\text{цент}} = (t_{\Gamma} - t_{\text{цент}}^{\text{кон}}) / (t_{\Gamma} - t_{\text{цент}}^{\text{нач}}).$$

Сравним полученные значения конечной температуры центра отливки с заданной температурой нагрева и определим перепад температур $\Delta t = t_{\text{м}}^{\text{кон}} - t_{\text{цент}}^{\text{кон}}$. Величина Δt не должна превышать значения, указанного в задании. В противном случае необходимо изменить значение температуры газов в печи t_{Γ} и повторить расчет.

Уточняем основные размеры печи. Для обеспечения заданной производительности в печи одновременно должно находиться следующее количество металла, кг:

$$M = \tau \cdot G,$$

или в штуках

$$n = M / m,$$

где m - масса одной отливки слитка, кг.

Определяем площадь, которую займут n отливок, м^2 ,

$$F_{\text{м}} = n \cdot f,$$

где f - площадь поддона, занимаемая одной отливкой, м^2 .

Уточняем напряжение пода $P = G/F_{\text{м}}$ и сравниваем значения P и $P_{\text{п.ср}}$. Расхождение в значениях ($P_{\text{п.ср}} - P$) не должно превышать 10 % от P . В противном случае необходимо пересчитать время нагрева отливок.

Далее komponуем отливки на поддоне и уточняем ширину $B'_{\text{м}}$ и длину $L'_{\text{м}}$ поддона.

Принимаем окончательные значения размеров рабочего пространства печи B , L и H .

Поскольку при температурах печи до 1200–1400 °С рекомендуется использовать двухслойную футеровку, назначаем материал для огнеупорной кладки и тепловой изоляции. Это может быть, например, шамот класса А толщиной 0,115 м и диатомитовый кирпич толщиной 0,3 м. Возможны и другие варианты футеровки.

2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПЕЧИ

Мощность печи вычисляем по формуле, кВт,

$$P_{\Sigma} = Q_{\text{общ}} \cdot K, \quad (2)$$

где $Q_{\text{общ}}$ - общий расход тепла, кВт, $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{т.к.з}}$; $Q_{\text{пол}}$ - тепло, затраченное на нагрев отливок (слитков), кВт; $Q_{\text{пот}}$ - сумма потерь тепла теплопроводностью через кладку, излучением через окна, с охлаждающей водой и т.п., кВт; $Q_{\text{т.к.з}}$ - потери на тепловые короткие замыкания (допускается в расчетах принимать равными 70% от потерь тепла теплопроводностью через кладку); K - коэффициент запаса мощности, учитывающий возможность падения напряжения сети против номинального значения, увеличение сопротивления нагревателей с течением времени («старение» нагревателей) и т.п.; $K = 1,2 - 1,3$ для непрерывно работающих печей; $K = 1,4 - 1,5$ для периодически работающих печей.

Расход тепла на нагрев металла в печи, Вт,

$$Q_{\text{пол}} = \frac{G}{3600} c_{\text{м}} (t_{\text{м}}^{\text{кон}} - t_{\text{м}}^{\text{нач}}),$$

где c_m - средняя теплоемкость металла отливок, Дж/(кг·К).

Потери тепла теплопроводностью через кладку печи при стационарном режиме работы определяем по формуле, Вт,

$$Q_{\text{пот}} = (t_{\text{п}} - t_0) F_{\text{нар}} / \left(\frac{S_{\text{о.кл}}}{\lambda_{\text{о.кл}}} + \frac{S_{\text{тепл}}}{\lambda_{\text{тепл}}} + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (3)$$

где $t_{\text{п}}$ - температура внутренней поверхности кладки, принятая равной температуре газов в рабочем пространстве печи $t_{\text{г}}$, °С; t_0 - температура окружающего воздуха (20 °С); $S_{\text{о.кл}}$ - толщина слоя огнеупорной кладки, м; $S_{\text{тепл}}$ - толщина слоя теплоизоляции, м; $\lambda_{\text{о.кл}}$, $\lambda_{\text{тепл}}$ - коэффициенты теплопроводности соответственно огнеупорной кладки и слоя теплоизоляции, Вт/(м·К); α - коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности кладки в окружающую среду, $\alpha = 11,63$ Вт/(м²·К); $F_{\text{нар}}$ - наружная поверхность печи, м².

Принимаем толщину слоев кладки всех стен, пода и свода печи одинаковыми. Значения коэффициентов теплопроводности большинства материалов для конкретных температурных интервалов в справочной литературе представлены в виде эмпирического уравнения

$$\lambda = a + b \cdot t,$$

где a и b - постоянные для данного температурного интервала величины; t - средняя температура материала в указанном интервале.

Например, для шамота $\lambda_{\text{ш}} = 0,698 + 0,64 \cdot 10^{-3} t_{\text{о.кл}}$, Вт/(м·К); для диатомита $\lambda_{\text{д}} = 0,145 + 0,134 \cdot 10^{-3} t_{\text{тепл}}$, Вт/(м·К).

Средняя температура слоя огнеупорной кладки, °С,

$$t_{\text{о.кл}} = \frac{t_{\text{п}} + t'}{2}. \quad (4)$$

Средняя температура слоя теплоизоляции (считая температуру наружной поверхности, равной температуре окружающего воздуха, т.е. $t_{\text{нар}} = t_0$), °С,

$$t_{\text{тепл}} = \frac{t' + t_0}{2}, \quad (5)$$

где t' - температура на границе раздела слоев, °С.

Температуру t' находим исходя из допущения, что тепло передается через кладку в стационарном режиме. Следовательно,

$$\frac{\lambda_{\text{о.кл}}}{S_{\text{о.кл}}}(t_{\text{п}} - t') = \frac{\lambda_{\text{тепл}}}{S_{\text{тепл}}}(t' - t_{\text{о}}).$$

После подстановки известных величин приведем данное уравнение к виду

$$a(t')^2 + b(t') + c = 0$$

и найдем t' .

Далее по формулам (4) и (5) определяем средние температуры огнеупорной кладки и теплоизоляции $t_{\text{о.кл}}$ и $t_{\text{тепл}}$. По полученным значениям средних температур $t_{\text{о.кл}}$ и $t_{\text{тепл}}$ находим искомые значения коэффициентов теплопроводности материалов кладки и теплоизоляции. Потери тепла теплопроводностью через кладку рассчитываем по формуле (3). Потери тепла на тепловые короткие замыкания принимаем равными 70 % от потерь тепла через кладку, Вт,

$$Q_{\text{т.к.з}} = 0,7 \cdot Q_{\text{пот}}.$$

Общий расход тепла в печи, кВт,

$$Q_{\text{общ}} = (Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{т.к.з}}) / 1000.$$

Мощность печи находим по формуле (2). Завершаем тепловой расчет определением коэффициента полезного действия печи

$$\eta = (Q_{\text{пол}} / Q_{\text{общ}}) 100\%. \quad (6)$$

Значения коэффициента полезного действия вновь проектируемых промышленных печей данного типа не должны быть менее 72 - 77%. Если значение η , полученное по формуле (6), меньше указанной величины, необходимо либо изменить толщину, либо материал теплоизоляции, либо добавить дополнительный слой теплоизоляции, например, из речного песка, асбеста и др. В этом случае необходимо внести соответствующие изменения в формулу (3) и повторить расчет.

3. РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

Исходные данные для расчета нагревателей электропечей сопротивления : мощность печи P_{Σ} , кВт, геометрические размеры рабочего простран-

ства печи, напряжение питающей сети U_c , В, начальная $t_m^{\text{нач}}$ и конечная $t_m^{\text{нач}}$ температуры нагрева отливок (слитков), °С.

Целью расчета нагревателей является определение геометрических размеров, схемы включения («звезда» или «треугольник») и расположения нагревателей в печи, обеспечивающих при выбранном материале нагревателей оптимальные условия их службы.

Нагреватели рассчитываем в следующей последовательности:

1. Находим рабочую температуру нагревателя по формуле, °С,

$$t_m = t_m^{\text{кон}} + 100.$$

2. По данным табл. П1 приложения выбираем материал нагревателей и определяем величину удельного электросопротивления ρ , Ом·м.

3. Рассчитываем удельную поверхностную мощность идеального нагревателя, кВт/м².

$$W_{\text{ид}} = C_o \cdot 10^{-3} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m^{\text{кон}}}{100} \right)^4 \right] / \left[\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_n} - 1 \right],$$

где ε_n , ε_m - соответственно степень черноты нагревателя и изделия находим по данным табл. П2 приложения; T_n , $T_m^{\text{кон}}$ - температура нагревателя и конечная температура нагрева металла изделия, К; C_o - коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_o = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

4. Выбираем тип нагревателя.

5. Определяем удельную поверхностную мощность реального нагревателя по формуле, кВт/м²,

$$W = \alpha W_{\text{ид}}, \quad (7)$$

где α - поправочный коэффициент (α находим по табл.П3 приложения либо по графику (рис. 1).

6. Принимаем схему электрического соединения нагревателей и находим величину фазового напряжения:

- при схеме соединения «треугольник»

$$U_{\phi} = U_c;$$

- при схеме соединения «звезда»

$$U_{\phi} = U_c / \sqrt{3}.$$

7. Зная величины P , U_{ϕ} , ρ и W , рассчитываем геометрические размеры нагревателей по формулам (8) - (11) для металлических нагревателей или находим необходимое число нагревателей из SiC .

Расчеты нагревателей этих групп различны и будут рассмотрены отдельно.

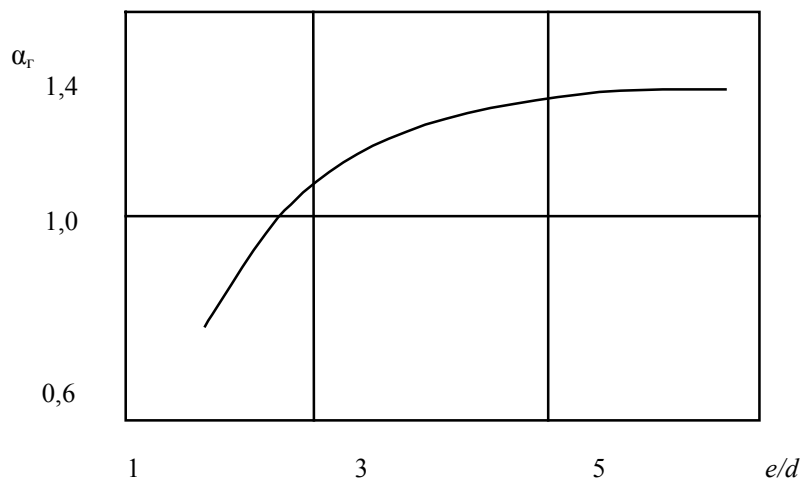


Рис. 1. Значение коэффициента α для карборундовых нагревателей (l/d - соотношение шага нагревателей к их диаметру)

3.1. Расчет металлических нагревателей

Проводим вычисления по пунктам 1 - 3.

Определяем тип нагревателя. В современных электропечах сопротивления обычно используют три типа нагревательных элементов: проволочные зигзагообразные, проволочные спиральные и ленточные зигзагообразные (рис. 2).

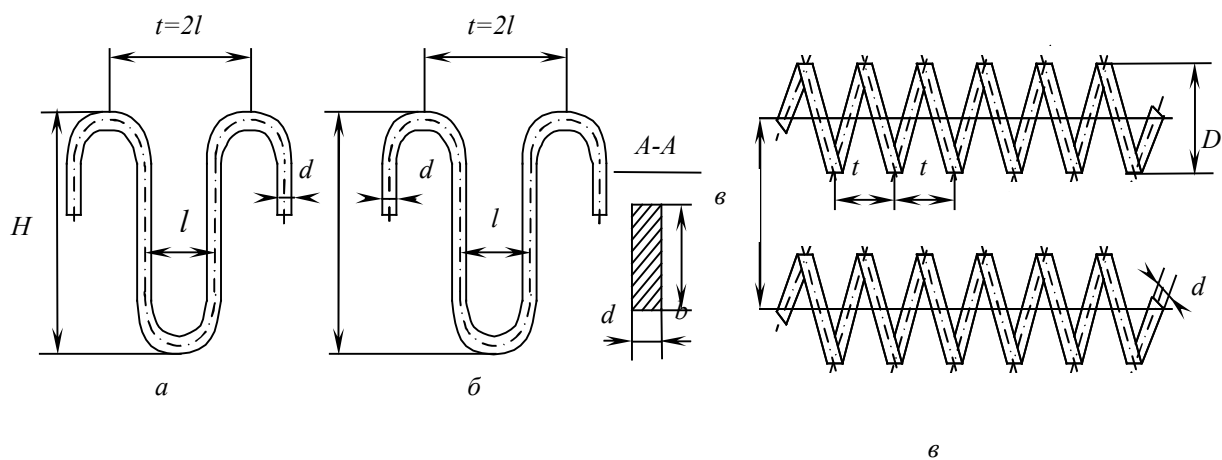


Рис. 2. Эскизы нагревателей:

а - проволочного зигзагообразного; б - ленточного зигзагообразного; в –проволочного спирального

Тип нагревателя ориентировочно выбирают по значению относительной мощности стен печи $P_{\text{ст.отн}}$ (табл. П4 приложения)

$$P_{\text{ст.от}} = \frac{P}{F_{\text{ст}} W_{\text{ид}}},$$

где P - мощность нагревателя, приходящаяся на данную стенку, кВт; $F_{\text{ст}}$ - площадь поверхности стены (свода или пода), на которой предполагается разместить нагреватели, м².

Если полученному значению относительной мощности стен соответствуют несколько типов нагревателей, то следует выбирать проволочный зигзагообразный нагреватель.

В зависимости от типа выбранного нагревателя и условий нагрева по табл. ПЗ приложения находят коэффициент α , позволяющий по формуле (7) найти удельную поверхностную мощность W нагревателя выбранного типа.

Далее по значениям мощности печи или зоны (стенки) P , напряжению питающей сети U_c и удельному сопротивлению выбранного нагревателя ρ находим геометрические размеры нагревателя из следующих соотношений.

Проволочный нагреватель:

- диаметр

$$d = \sqrt[3]{4 \cdot 10^3 \cdot \rho \cdot P^2 / (\pi^2 U_{\phi}^2 W)}; \quad (8)$$

- длина

$$l = 0,1 \sqrt[3]{2,5 \cdot P \cdot U_{\phi}^2 / (\pi \cdot \rho \cdot W^2)}.. \quad (9)$$

Ленточный нагреватель с соотношением сторон $b/a = m$

$$a = \sqrt[3]{10^3 \cdot \rho \cdot P^2 / [2m(m+1)U_{\phi}^2 W]}, \quad (10)$$

- длина

$$l = 0,1 \sqrt[3]{2,5 \cdot P \cdot U_{\phi}^2 \cdot m / [(m+1)^2 \cdot \rho \cdot W^2]} . \quad (11)$$

Размещаем нагреватели в рабочем пространстве печи с учетом рекомендаций табл. П5 и П6 приложения и рис. 2, а также практически установленными рациональными соотношениями.

Ленточные нагреватели: $(l/d)_{\text{опт}} = 1,4 - 2,6$.

Высота зигзага H при расположении нагревателя на стене равна 150 - 160 мм, на своде и поду не более 250 мм.

Проволочный зигзагообразный нагреватель: $l/d \geq 2,75$. Оптимальное значение $(l/d)_{\text{опт}} = 3,2 - 4,8$.

Проволочный спиральный нагреватель: $t/d \geq 2,0$. Оптимальное значение $(t/d)_{\text{опт}} = 2,5 - 4,5$, $D = (6 - 8)d$ для нихрома и $D = (4 - 6)d$ для железохромоалюминиевых сплавов.

3.2. Расчет карборундовых нагревателей

Карборундовые нагреватели SiC применяют в тех случаях, когда необходимо иметь температуру нагревателя 1250 - 1450 °С. Наиболее распространенными типами карборундовых нагревателей являются цельные (тип КНМ) и составные нагреватели (тип КНС). Основные сведения о карборундовых нагревателях приведены в табл. П6 приложения.

В печи нагреватели можно располагать вертикально или горизонтально.

Особенностью расчета карборундовых нагревателей является необходимость определения ступеней напряжения питающего трансформатора таким образом, чтобы при переключении ступеней в процессе старения нагревателя мощность печи не была бы больше допустимой и меньше заданной.

Последовательность расчета нагревателей аналогична предыдущему случаю, и допустимая удельная поверхностная мощность определяется также, как и в случае расчета металлических нагревателей. Мощность P одного нагревателя находят по формуле

$$P = W \cdot f_{\text{раб}},$$

где $f_{\text{раб}}$ - площадь наружной поверхности рабочей части нагревателя, м² (табл. П7 приложения).

Небольшой дополнительной мощностью, выделяемой в токоподводах, обычно пренебрегают. Падение напряжения на одном нагревателе

$$U = \sqrt{10^3 PR}, \quad (12)$$

где R - сопротивление нагревателя, Ом.

Поскольку сопротивление нагревателей колеблется в широких пределах в неработающих нагревателях, а также сильно меняется в процессе эксплуатации, необходимо определить верхний и нижний пределы изменения напряжения. Для определения нижнего предела в формулу (12) подставляем меньшее значение сопротивления (табл. П6 приложения). Верхний предел напряжения определяем по большему значению сопротивления и увеличиваем в 2,5 - 3 раза для учета старения нагревателя, возможного падения напряжения питающей сети и выделения мощности в выводах нагревателей.

Зная заданную мощность печи и мощность одного нагревателя, необходимо определить общее число нагревателей. Затем, выбирая схему включения нагревателей (параллельное или последовательное) и ориентируясь на напряжения, необходимые для питания одного нагревателя, определяем верхнюю и нижнюю ступени напряжения трансформатора. После этого устанавливаем необходимые промежуточные ступени напряжения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Т а б л и ц а П1

Характеристики материалов,
применяемых для изготовления нагревательных элементов

Материал, марка	Предельная рабочая температура, °С	Плотность при 0°С, кг/м ³	Удельное электросопротивление ρ , кг/м ³
-----------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

Сталь Х25Н20 С2	800	7840	$0,95 \cdot 10^{-6} + 38 \cdot 10^{-11} t$
Сталь Х23Н18	800	7800	$0,9 \cdot 10^{-6} + 40 \cdot 10^{-11} t$
Нихром Х15Н60	950	8300	$1,1 \cdot 10^{-6} + 14 \cdot 10^{-11} t$
Нихром Х20Н80	1100	8400	$1,1 \cdot 10^{-6} + 8,5 \cdot 10^{-11} t$
Фехраль Х13Ю4	700	7400	$1,26 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-11} t$
Сплав ОХ23Ю5А	1150	7270	$1,4 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-11} t$
Сплав ОХ27Ю5А	1250	7190	$1,4 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-11} t$
Глобар (силит)	1400	2300*	$8 \cdot 10^{-4} - 19 \cdot 10^{-4}$
Дисилицид молибдена	1650	-	$3,2 \cdot 10^{-6} - 4,0 \cdot 10^{-6}$

* - объемная масса.

Т а б л и ц а П2

Степень черноты различных веществ

Материал	Темпе- ратура, $^{\circ}\text{C}$	Степень черно- ты, ε	Материал	Темпе- ратура, $^{\circ}\text{C}$	Сте- пень черно- ты, ε
----------	---	--	----------	---	---

Динасовый кирпич	1100	0,8	Медь расплавленная	1220	0,12
Шамотный кирпич			Никелевая проволо-		
глазурованный	1100	0,75	ка	1000	0,186
Шамот	1230	0,59	Стальное литье по-		
Магнезитовый кир-			лированное	1000	0,55
пич	1500	0,39	Сталь окисленная		
Карборунд	1400	0,85	шероховатая	370	0,97
Силиманитовый			Сталь нержавеющая		
кирпич	1500	0,29	после прокатки	700	0,45
Алюминий шерохо-			Сталь хромоникеле-		
ватый	26	0,057	вая	500	0,35
Алюминий окислен-			Хромоникель	1035	0,76
ный	600	0,19	Чугунное литье	750	0,90
Железо литое необ-			Чугун окисленный	250	0,95
работанное	1100	0,9	Асбестовый картон	24	0,96
Латунь прокатанная	22	0,06	Кварц плавленный		
Латунь			шероховатый	22	0,93
окисленная	400	0,60	Алюминиевая крас-		
Медь			ка, нагретая до 325°C	300	0,35
окисленная	600	0,55			

Т а б л и ц а ПЗ

Коэффициент α при нагреве материалов с различной степенью черноты поверхности (при $P_{\text{пот}}/P = 0,25$)

Тип нагревателя	Степень черноты				
	$\varepsilon = 0,8$ (сталь окислен- ная)	$\varepsilon = 0,7$ (медь окислен- ная)	$\varepsilon = 0,6$ (латунь)	$\varepsilon = 0,45$ (сталь неокис- ленная)	$\varepsilon = 0,3$ (алюми- ний)
Ленточный зигзагообразный	0,46	0,47	0,48	0,51	0,54
Плоский ленточный зигзагооб- разный	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
Проволочные спирали откры- тые и на трубах	0,465	0,47	0,475	0,49	0,505
Ленточный зигзаг в пазу	0,44	0,45	0,46	0,495	0,535
Проволочная спираль в пазу	0,31	0,315	0,325	0,34	0,355
Ленточный зигзаг на керамиче- ской полочке	0,41	0,425	0,435	0,47	0,50
Проволочная спираль на кера- мической полочке	0,33	0,40	0,41	0,44	0,47

Т а б л и ц а П4

Относительная мощность стен печи $P_{\text{ст.отн}}$

Тип нагревателя	$P_{\text{ст.отн}}$
Ленточный зигзагообразный	0,90 - 0,95
Плоский ленточный зигзагообразный	0,95 - 1,0
Проволочный спиральный	0,90 - 0,95
Ленточный зигзаг в пазу	0,70 - 0,75
Проволочная спираль в пазу	0,75 - 0,80
Ленточный зигзаг на полочке	0,60 - 0,65
Проволочная спираль на полочке	0,65 - 0,70
Проволочная спираль на трубке	0,95 - 1,0

Т а б л и ц а П5

Максимальные и оптимальные длины и поверхности
ленточного нагревателя, размещенные на 1 м² футеровки

Сечение, мм ²	$e/b = 2,0$		$e/b = 9,0$		Сече- ние, мм ²	$e/b = 2,0$		$e/b = 9,0$	
	$l_{\text{опт}}, \text{ м}$	$F_{\text{опт}}, \text{ м}^2$	$l_{\text{мах}}, \text{ м}$	$F_{\text{мах}}, \text{ м}^2$		$l_{\text{опт}}, \text{ м}$	$F_{\text{опт}}, \text{ м}^2$	$l_{\text{мах}}, \text{ м}$	$F_{\text{мах}}, \text{ м}^2$
2x10	38	0,915	84	2,02	2,2x30	12,5	0,805	25*	1,61**
1,5x15	25	0,825	55,5	1,83	2,5x30	12,5	0,813	25*	1,62**
2x15	25	0,860	55,5	1,89	3,0x30	12,5	0,825	25*	1,68**
2,2x20	19	0,845	42	1,87	2,2x30	10,5	0,802	19*	1,45**
2,5x20	19	0,855	42	1,89	2,5x36	10,5	0,808	19*	1,46**
3,0x20	19	0,875	42	1,93	3,0x36	10,5	0,820	19*	1,48**
2,2x25	15	0,815	33,5	1,82	2,2x40	9,5	0,802	21	1,77
2,5x25	15	0,825	33,5	1,85	2,5x40	9,5	0,807	21	1,78
3,0x25	15	0,840	33,5	1,88	3,0x40	9,5	0,818	21	1,80

* - $e/b = 1,0$; ** - $e/b = 1,1$

Т а б л и ц а П6

Максимальные и оптимальные длины и поверхности
проволочного нагревателя, размещенные на 1 м² футеровки

Диаметр, мм	Зигзагообразный нагреватель								Спиральный нагреватель			
	на ребристых плитках при шаге ребер				на крючках при <i>e/b</i>				на полочках при <i>t/b</i>			
	12,5 мм		17 мм		2,75 мм		3,5 мм		2		4	
	<i>l</i> _{max} , М	<i>F</i> _{max} , М ²	<i>l</i> _{опт} , М	<i>F</i> _{опт} , М ²	<i>l</i> _{max} , М	<i>F</i> _{max} , М ²	<i>l</i> _{опт} , М	<i>F</i> _{опт} , М ²	<i>l</i> _{max} , М	<i>F</i> _{max} , М ²	<i>l</i> _{опт} , М	<i>F</i> _{опт} , М ²
4	70	0,88	50	0,625	-	-	-	-	20	2,46	100	1,23
4,5	70	0,99	50	0,703	-	-	-	-	0	2,46	90	1,23
5	70	1,1	50	0,780	-	-	-	-	18	2,46	85	1,23
5,6	-	-	50	0,875	-	-	-	-	0	2,46	70	1,23
6,3	-	-	50	0,985	-	-	38	0,745	16	2,46	62,5	1,23
7	-	-	-	-	43	0,950	34	0,745	0	2,46	57,5	1,23
8	-	-	-	-	38	0,950	30	0,745	14	2,46	50	1,23
9	-	-	-	-	34	0,950	27	0,745	0	-	-	-
10	-	-	-	-	30	0,950	24	0,745	12	-	-	-
11	-	-	-	-	27	0,950	21	0,745	5	-	-	-
12	-	-	-	-	25	0,950	20	0,745	11	-	-	-
13	-	-	-	-	23	0,950	18	0,745	5	-	-	-
14	-	-	-	-	21	0,950	17	0,745	10	-	-	-
15	-	-	-	-	20	0,950	16	0,745	0	-	-	-
16	-	-	-	-	19	0,950	15	0,745	-	-	-	-
17	-	-	-	-	18	0,950	14	0,745	-	-	-	-
18	-	-	-	-	17	0,950	13,5	0,745	-	-	-	-
19	-	-	-	-	16	0,950	12,5	0,745	-	-	-	-
20	-	-	-	-	15	0,950	12,0	0,745	-	-	-	-

Т а б л и ц а П7

Основные характеристики карборундовых нагревателей

Наз- наче- ние	Тип нагревателя	Размеры				Площадь поверх- ности ра- бочей части Sраб х10 ⁴ , м ²	Полное сопро- тивление в нагрее- том со- стоянии, Ом
		длина рабо- чей части, м	об- щая дли- на, м	диа- метр рабо- чей части, мм	диа- метр вы- во- дов, мм		
Про- мыш- лен- ные	КНС-25/406	0,30	0,406	25	-	236	0,77-1,75
	КНС-25/440	0,30	1,12	25	25	236	1,1-1,55
	КНС-25/540	0,40	1,22	25	25	314	1,2-1,8
	КНС-25/711	0,56	0,711	32	-	564	1,1-2,8
	КМВ-25/640	0,40	0,64	25	-	314	1,1-2,0
Лабо- ратор- ные	КНМ-8х100х270	0,10	0,27	8	14	25,1	1,0-2,0
	КНМ-8х150х270	0,15	0,27	8	14	37,8	1,5-3,0
	КНМ-8х150х320	0,15	0,32	8	14	37,8	1,5-3,0
	КНМ-8х150х450	0,15	0,42	8	14	37,8	1,5-3,0
	КНМ-8х180х300	0,18	0,30	8	14	45,2	1,8-3,6
	КНМ-8х180х350	1,18	0,35	8	14	45,2	1,8-3,6
	КНМ-8х180х400	1,18	0,40	8	14	45,2	1,8-3,6
	КНМ-8х180х480	1,18	0,48	8	14	45,2	1,8-3,6
	КНМ-8х200х500	0,20	0,50	8	14	50,2	2,0-4,0
	КНМ-8х250х450	0,25	0,45	8	14	62,8	2,5-5,0
	КНМ-12х250х750	0,25	0,75	12	18	94,2	1,5-3,0
	КНМ-14х300х250	0,30	0,80	14	23	132	1,75-3,5
	КНЛ-12/280	0,20	0,28	12	-	75,4	4,4-9,0
	КНЛ-12/320	0,23	0,32	12	-	86,5	4,5-9,0
	КНЛ-16/320	0,23	0,32	16	-	115	4,5-9,0
	ТН-55/40х200х75	0,20	0,35	55/40	55	327	1,0-2,8

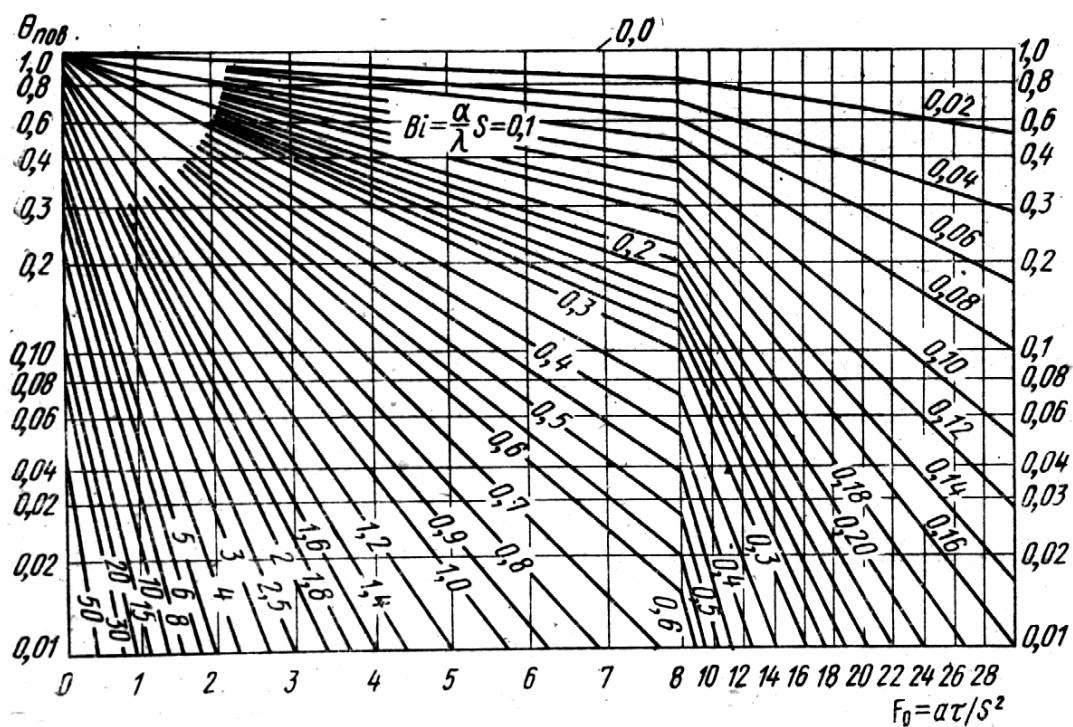


Рис. П1. Номограмма для расчета нагрева или охлаждения поверхности

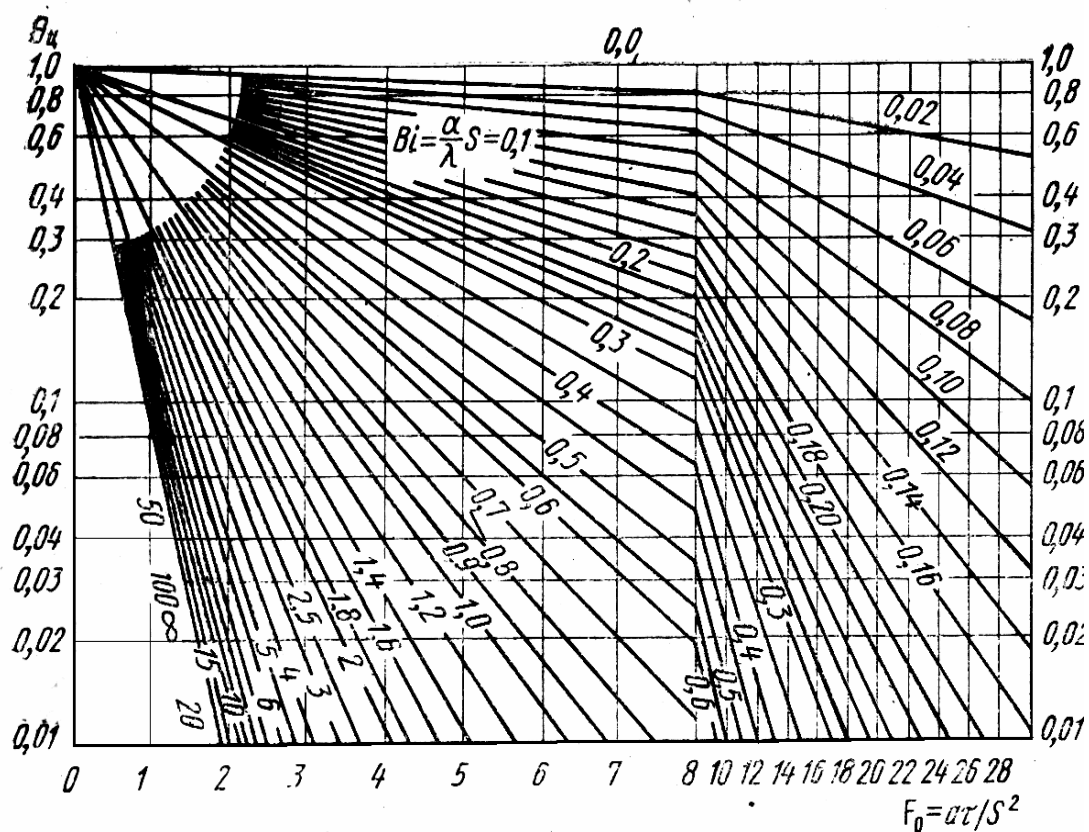


Рис. П2. Номограмма для расчета нагрева или охлаждения центров
слитков

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Metallurgical heat engineering / Under the editorship of V.A. Krivandin: In 2 vols. - M.: Metallurgy, 1986.
2. Metallurgical heat engineering / Under the editorship of M.A. Glinkova: In 2 vols. - M.: Metallurgy, 1974.
3. Krivandin V.A., Filimonov Yu.P. Theory of construction and calculations of metallurgical furnaces: In 2 vols. - M.: Metallurgy, 1986.
4. Krivandin V.A., Markov B.A. Metallurgical furnaces. - M.: Metallurgy, 1977. - 464 p.
5. Dolotov G.P., Kondakov E.A. Furnaces and dryers of foundry production. - M.: Machine Building, 1984. - 232 p.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Determination of geometric dimensions of the furnace.	3
2. Thermal calculation of the furnace.	6
3. Calculation of heaters.	8
3.1. Calculation of metal heaters.	10
3.2. Calculation of carbide heaters.	12
Appendix.	13
Bibliographic list.	20

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ»

Составитель
ШАРШИН Владимир Николаевич

Ответственный за выпуск - зав.кафедрой профессор В.А.Кечин
Редактор А.П.Володина
Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 28.04.02.
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л.0,93 . Уч.-изд.л. 1,18. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.