

результаты применения метода магистральной оптимизации для решения задач оптимального нагрева металла.

Несмотря на то что результаты, изложенные в работе [2], касаются преимущественно разработки оптимальных температурных режимов работы печи, нельзя оставлять без внимания и ряд других факторов, способных оказать существенное влияние на ход исследуемого процесса [6].

В заключение следует отметить: многолетний практический опыт исследований по разработке и внедрению рациональных режимов работы металлургических агрегатов показывает, что повышение общей экономической эффективности производства осуществимо лишь при комплексном подходе путем оптимизации теплотехнологий обработки металла, использования современных конструкций нагревательных устройств и автоматизации тепловых процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экономико-математические методы и модели / Н. И. Холод, А. В. Кузнецов, Я. Н. Жихар и др. – Мн.: БГЭУ, 2000. – 412 с.
2. Решение задач управления нагревом металла на основе метода магистральной асимптотической оптимизации / В. И. Тимошпольский, С. М. Козлов, В. Б. Ковалевский и др. // *Литье и металлургия*. – 2000. – № 4. – С.103 – 108.
3. Разработка рациональной теплотехнологии нагрева кордовой стали в проходной печи стана 850 РУП «БМЗ» / В. В. Филиппов, В. И. Тимошпольский, В. А. Тищенко и др. // *Изв. вузов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика*. – 2001. – № 2. – С. 80 – 86.
4. Разработка высокоэффективных режимов термической обработки кордовой стали в печах патентирования / В. И. Тимошпольский, В. В. Филиппов, А. Н. Савенок и др. // *Изв. вузов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика*. – 2001. – № 4. – С. 61 – 67.
5. Основные методы оптимизации режимов нагрева металла / С. М. Козлов, В. И. Тимошпольский, В. Б. Ковалевский и др. // *Литье и металлургия*. – 2000. – № 3. – С. 68 – 71.
6. Влияние различных факторов на процесс окисления сталей при нагреве в пламенных печах / С. М. Козлов, В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова и др. // *Литье и металлургия*. – 2001. – № 2. – С. 127 – 129.

УДК 621.74: 628.517

А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, д-р техн. наук,
Т. А. ТАВГЕНЬ (БНТУ)

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ИНФРАКРАСНОГО (ТЕПЛОВОГО) ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТАЮЩИХ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Один из основных параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов – интенсивность инфракрасного (теплового) излучения.

Проведенные исследования параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов различных отраслей промышленности показали, что фак-

тические значения интенсивного теплового излучения в большинстве случаев превышают допустимые величины (табл. 1). Поэтому на стадии проектирования или реконструкции литейных цехов необходимо оценивать возможные величины интенсивности теплового облучения. При определении расчетного уравнения оценки интенсивности теплового облучения рабочих мест литейных цехов исходили из того, что на работающих воздействуют тепловые потоки от нескольких источников инфракрасного излучения. Таким образом, при воздействии нескольких источников в любой точке B рассматриваемой поверхности (рис. 1) возникает облученность от каждого источника в отдельности, которая, согласно [1, 2], равна

$$E_i = \frac{E_{\text{изл } i} \cos \varphi_i}{\pi r_i^2}, \quad (1)$$

где r_i – расстояние от i -го источника, м; $E_{\text{изл } i}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) определяется уравнением

$$E_{\text{изл } i} = \varepsilon_i C_0 \left(\frac{T_{\text{изл } i}}{100} \right)^4; \quad (2)$$

ε_i – степень черноты поверхности i -го источника излучения; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный $5,67 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $T_{\text{изл } i}$ – температура i -го источника излучения, К. В формуле (2) нами не учтена составляющая $\left(\frac{T_0}{100} \right)^4$, так как температура облучаемой поверхности тела человека ($T_0 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$) значительно меньше температуры источников излучения теплоты.

Из рис. 1, a определяем:

$$\cos \varphi_i = \frac{R_i}{\sqrt{R_i^2 + b_i^2}}; \quad r_i = \sqrt{R_i^2 + b_i^2}, \quad (3)$$

где R_i – расстояние от i -го источника излучения до поверхности облучения, м; b_i – расстояние по горизонтали от вертикальной оси источника излучения до рассматриваемой точки, м.

В случае, если источник расположен на некоторой высоте Z_i от рабочей поверхности, расстояние до него будет определяться согласно рис. 1, b .

Учитывая, что интенсивность излучения зависит от площади излучающей поверхности, вводим в уравнение также величину F_i .

Тогда с учетом (2) и (3) и изложенного выше уравнение (1) по определению интенсивности теплового облучения рабочего места от одного источника излучения примет следующий вид:

Таблица 1

Интенсивность инфракрасного (теплого) облучения на рабочих местах литейщиков

Участок цеха, рабочее место, оборудование	Интенсивность, Вт/м ²
<i>Плавильно-заливочный участок</i>	
Сушка ковшей на стенде	350 – 1050
Электродуговая печь:	
у пульта	70 – 350
при чистке летки	1400 – 2100
подготовка ванны к загрузке шихты (правка печи)	7000 – 7700
при загрузке шихты	1050 – 1500
у печи при плавке	350 – 700
загрузка флюса	4200 – 5600
наполнение ковша металлом	3000 – 4500
Заливка форм металлом	3500 – 5600
Стенд разливочный	4200 – 6300
Слив остатков металла в шлаковни	3500 – 4500
Вагранка:	
у летки	1050 – 1800
у летки при выпуске металла	2100 – 3500
наполнение раздаточного ковша металлом	2800 – 4200
счистка шлака из ковша	4200 – 5600
Печь индукционная:	
загрузка шихты	1400 – 2100
наполнение ковша металлом	700 – 1050
снятие шлака	4900 – 5600
у пульта печи	350 – 1050
<i>Стержневой участок</i>	
Сушило вертикальное:	
при загрузке стержней	210 – 420
при выгрузке стержней	650 – 1200
Съем и передача высушенных стержней	140 – 280
Автомат стержневой (по нагреваемой оснастке):	
от стержневого ящика	210 – 490
от извлекаемых стержней	280 – 910
Сушило проходное для подсушки окрашенных стержней	280 – 490
<i>Выбивной участок</i>	
Решетка выбивная	210 – 350
Извлечение отливок из опок	1400 – 2100
Навеска отливок на навесной конвейер	2100 – 3500
<i>Термообрубной участок</i>	
Печь обжига:	
при загрузке отливок в печь	1050 – 2800
при выгрузке отливок из печи	350 – 700
<i>Шихтовый двор</i>	
Сушило барабанное	280 – 1050

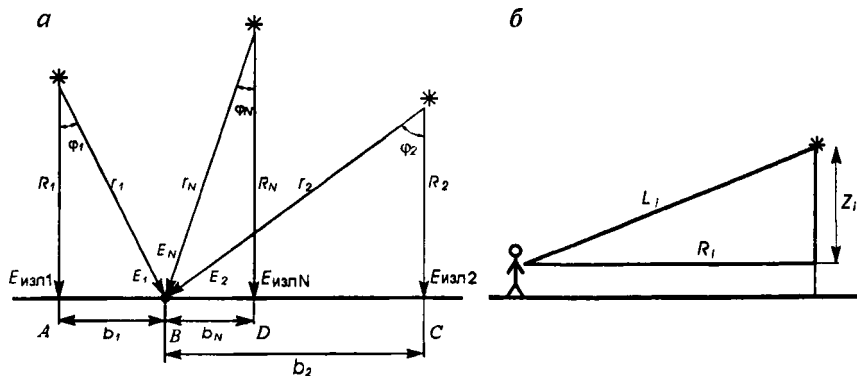


Рис. 1. Схема расчета интенсивности теплового облучения от нескольких источников излучения:
а – при расположении на уровне рабочей поверхности; *б* – при расположении на высоте от рабочей поверхности

$$E_i = \frac{E_{\text{изл } i} \cos \varphi_i F_i}{\pi r_i^2} = \frac{\varepsilon_i C_0 \left(\frac{T_{\text{изл } i}}{100} \right)^4 \frac{R_i}{\sqrt{R_i^2 + b_i^2}} F_i}{\pi \sqrt{R_i^2 + b_i^2}} = \frac{\varepsilon_i C_0 R_i F_i \left(\frac{T_{\text{изл } i}}{100} \right)^4}{\pi \sqrt{R_i^2 + b_i^2}} \quad (4)$$

А так как интенсивность теплового облучения в точке *B* определяется суммой тепловых потоков от нескольких источников $E_B = E_1 + E_2 + \dots + E_n$, с учетом уравнения (4) получим

$$E = 1,8 \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i R_i F_i \left(\frac{T_{\text{изл } i}}{100} \right)^4}{(R_i^2 + b_i^2)^{3/2}} \quad (5)$$

Величина этой суммарной интенсивности теплового облучения замеряется приборами на рабочих местах литейщиков.

Уравнение (5) было использовано при разработке программы расчета интенсивности теплового облучения рабочих мест литейных цехов с применением ЭВМ [4]. На рис. 2 приведена расчетная схема для любого участка цеха, имеющего источники теплового излучения. Задавая в исходных данных программы величину шага по длине и ширине помещения, в результате расчета получаем величину облученности в точках по всему участку.

На основании рассчитанных значений интенсивности теплового облучения в программе предусмотрены распечатка данных расчета в виде таблицы и построение карты распределения интенсивности теплового облучения по рассматриваемому помещению, что позволяет наглядно оценить тепловой режим участка цеха в сравнении с нормативными величинами.

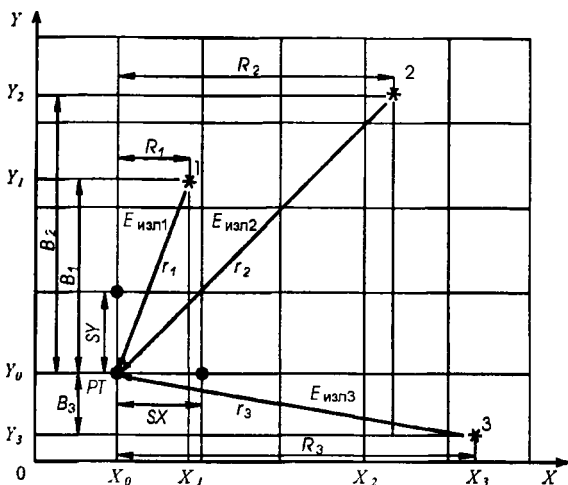


Рис. 2. Схема расчета интенсивности теплового облучения на рабочих местах с использованием ЭВМ:

* – источники теплового излучения; PT – расчетная точка; r_1, r_2, r_3 – расстояние от источников тепла до расчетной точки; $X_1, X_2, X_3, Y_1, Y_2, Y_3$ – координаты источников тепла; X_0, Y_0 – координаты начальной расчетной точки; SX, SY – величина шага по оси X и оси Y ; $E_{изл1}, E_{изл2}, E_{изл3}$ – интенсивность излучения источников тепла

Согласно нормам, интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, открытое пламя) не должна превышать 140 Вт/м^2 при облучении не более 25 % поверхности тела и обязательном использовании средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз. Кроме сравнения расчетных значений с этой величиной программой проводится классификация интенсивности теплового облучения по времени, в течение которого организм человека может переносить тепловую радиацию. Степень переносимости человеком тепловой радиации указана в табл. 2 [3].

В качестве примера на рис. 3 приведена карта распределения интенсивности теплового излучения по участку литейного цеха, полученная в результате расчета. При этом расчет проводился для участка одного из литейных цехов, выбранных в качестве объектов для исследований, где на рабочих местах уже измерялась интенсивность тепловых потоков, чтобы сопоставить теоретические и экспериментальные данные. Сравнение полученных результатов показало их хорошую сочетаемость, а значит, и возможность объективной оценки интенсивности теплового облучения рабочих мест участков литейных цехов с использованием разработанной программы расчета.

Были также выполнены расчеты по разработанной программе для построения номограммы по определению интенсивности теплового облуче-

Степень переносимости человеком тепловой радиации

Интенсивность тепловой радиации, Вт/м ²	Переносимость (время)
560	Неопределенно долго
840	До 6 мин
1400	2,5 – 5 мин
2100	40 – 60 с
2800	30 – 40 с
3500	10 – 30 с
7000	5 – 11 с
8750	3 – 8 с
10 500	3 – 7 с
14 000	1 – 5 с

ния работающих в зависимости от расстояния до источника теплоты и его температуры (рис. 4), которую можно использовать при определении интенсивности теплового облучения для конкретного рабочего места без выполнения расчетов.

Таким образом, предложенная методика оценки интенсивности инфракрасного (теплового) облучения литейщиков может быть использована проектировщиками литейных цехов на стадии проекта новых или реконструируемых производств.

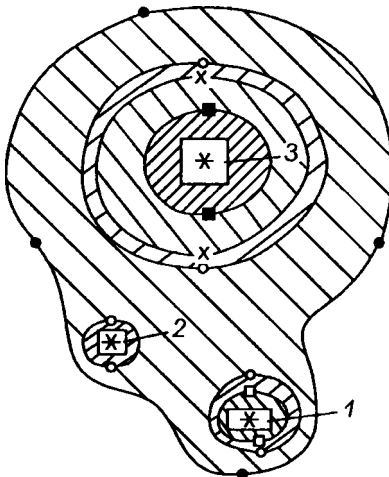


Рис. 3. Карта распределения интенсивности теплового облучения по участку литейного цеха:

* – источники теплового излучения;
 1 – электродуговая печь; 2 – печь для плавки алюминия; 3 – заливка кокилей бронзой;

—•— 141 – 560 Вт/м²;

—•— 561 – 840;

—x— 841 – 1400;

—□— 1401 – 2100;

—■— 2101 – 2800 Вт/м²

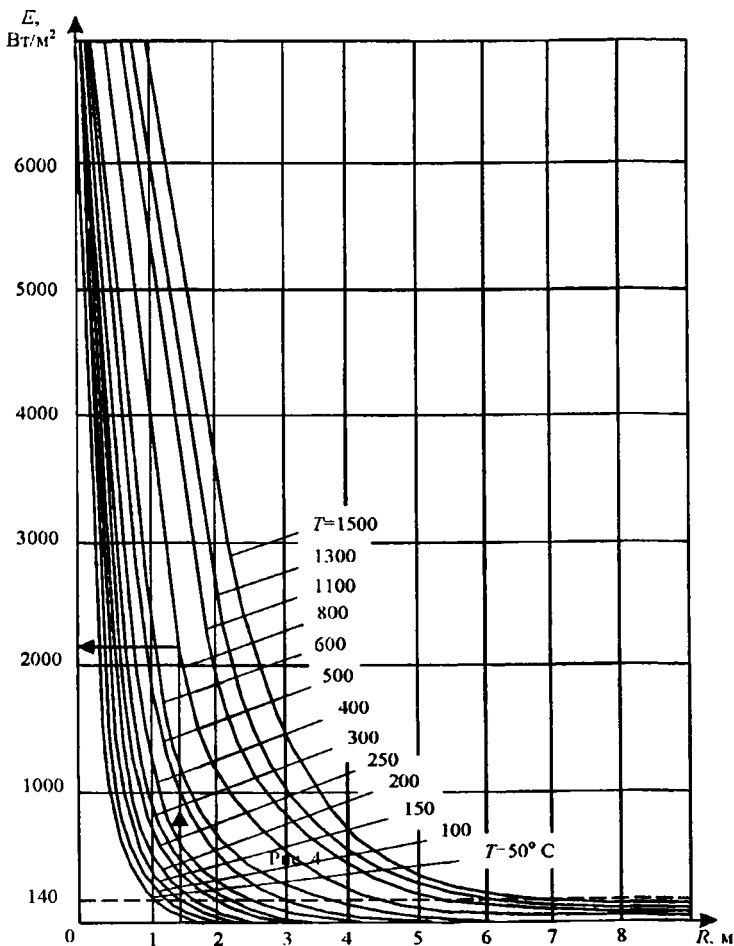


Рис. 4. Номограмма по определению интенсивности теплового облучения рабочих мест в зависимости от расстояния до источника тепла (R , м) и его температуры (T , °C)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабалов А. Ф.* Расчет равномерности потоков облучения методом эппор // Сб. науч. тр. НИИОТ ВЦСПС, – М., 1961. – № 4. – С. 47 – 52.
2. *Бабалов А. Ф.* Промышленная теплозащита в металлургии. – М.: Металлургия, 1971. – 359 с.
3. *Глушков Л. А.* Защита от перегревов в горячих цехах металлургических заводов. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 216 с.
4. *Лазаренков А. М., Хорева С. А.* Комплексное исследование параметров микроклимата литейных цехов // Литье и металлургия: Информ. бюл. – 1997. – № 7-9. – С. 13 – 19.