



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-123-129>
УДК 621.74:658.382

Поступила 13.04.2022
Received 13.04.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ФАКТОРА УСЛОВИЙ ТРУДА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, И. А. ИВАНОВ, М. А. САДОХА, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: cadoxa@rambler.ru

Дана характеристика инфракрасных излучений, их воздействие на организм человека. Приведены результаты исследования и расчетов интенсивности инфракрасного (теплового) излучения на работающих в литейных цехах. Обоснована необходимость соблюдения правил охраны труда, разработки комплекса санитарно-технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий по оптимизации условий труда, предупреждению профессиональных заболеваний. Определены меры профилактики неблагоприятного влияния инфракрасного излучения на работающих в литейных цехах.

Ключевые слова. *Интенсивность инфракрасного излучения, литейный цех, условия труда, рабочее место, характер производства, температура воздуха.*

Для цитирования. *Лазаренков, А. М. Исследование теплового фактора условий труда в литейном производстве / А. М. Лазаренков, И. А. Иванов, М. А. Садоха // Литье и металлургия. 2022. № 2. С. 123–129. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-123-129>.*

RESEARCH OF THE THERMAL FACTOR OF WORKING CONDITIONS IN THE FOUNDRY PRODUCTION

A. M. LAZARENKOV, I. A. IVANOV, M. A. SADOOKHA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: cadoxa@rambler.ru

The characteristic of infrared radiation, their effect on the human body is provided. The outcomes of the study and calculations of the intensity of infrared (thermal) radiation on workers in foundries are presented. The necessity of compliance with the necessary rules of labor protection, the development of a complex of sanitary, hygienic, therapeutic, and preventive measures to optimize working conditions, the prevention of occupational illnesses is proved. Measures to prevent the unfavorable effects of infrared radiation on workers in foundries have been determined.

Keywords. *Infrared radiation intensity, foundry, working conditions, workplace, the nature of production, air temperature.*

For citation. *Lazarenkov A. M., Ivanov I. A., Sadokha M. A. Research of the thermal factor of working conditions in the foundry production. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 2, pp. 123–129. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-123-129>.*

Одним из параметров производственной среды, определяющих условия труда на рабочих местах литейных цехов, является интенсивность инфракрасного (теплового) излучения, которая оказывает непосредственное и специфическое воздействие на организм работающих. Инфракрасное излучение имеет место при многих технологических процессах литейного производства (изготовление стержней по нагреваемой оснастке, сушка форм, сушка заливочных ковшей, плавка и заливка металла, выбивка отливок из форм, кокилей и т. п.).

В зависимости от длины волны изменяется проникающая способность инфракрасного излучения, наибольшую имеет коротковолновое инфракрасное излучение (0,76–1,4 мкм), которое способно проникать в ткани человеческого тела на глубину в несколько сантиметров. Инфракрасные лучи длинноволнового диапазона задерживаются в поверхностных слоях кожи. Биологический эффект тепловой энергии, ее воздействие на организм человека проявляется только при поглощении тканями организма падающей на них энергии. Количество энергии и возможный тепловой эффект определяются интенсивностью потока, спектром излучения, величиной облучаемой поверхности и временем облучения, углом падения, используемых средств защиты, одежды и т. д. Чем выше температура источника, тем короче длина волны и глубже может проникать в ткани организма инфракрасное излучение. При воздействии на работающих повышенных уровней излучений в организме человека происходит интенсивное теплонакопление, обильное

потоотделение. Интенсивное потоотделение (до 6–10 л за смену) при работе в условиях воздействия высокой температуры воздуха приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов (С, В₁, В₂). У работника учащается сердцебиение, повышается максимальное и понижается минимальное артериальное давление, появляются головная боль, слабость, возникает опасность теплового удара и др. Инфракрасные лучи, оказывая тепловой эффект на глаза, могут вызвать ряд патологических изменений: конъюнктивиты, помутнение хрусталика глаза и др. Длительное воздействие (10–20 лет) коротковолновой инфракрасной радиации большой интенсивности на глаза может вызвать поражение хрусталика – «инфракрасная катаракта» у плавильщиков и заливщиков металла.

Проведенные нами ранее исследования условий труда на рабочих местах литейных цехов различных отраслей промышленности показали, что фактические значения интенсивности инфракрасного (теплого) излучения (E) в большинстве случаев превышают допустимые величины [1–3] при выполнении различных технологических процессов. Исходя из этого, необходимо на стадии проектирования или реконструкции литейных цехов оценивать возможные величины E . При определении уравнения для расчета интенсивности теплового излучения E на рабочих местах литейных цехов исходили из положения, что на работающих могут воздействовать тепловые потоки от нескольких источников инфракрасного излучения. Таким образом, при воздействии нескольких источников $E = E_1 + E_2 + \dots + E_n$ в любой точке B рассматриваемой поверхности (рис. 1) возникает облученность от каждого источника в отдельности, которая, согласно [4–7], 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 до рабочего места, м; φ_i – угол между направлением луча теплового потока в точку B и нормалью к облучаемой поверхности; $E_{\text{изл}i}$ – интенсивность излучения от i -го источника, Вт/м²:

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

где ε_i – степень черноты поверхности i -го источника излучения; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,67 Вт/м²; $T_{\text{изл}i}$ – температура i -го источника излучения, К.

В формуле (2) не учтена составляющая $\left(\frac{T_0}{100} \right)^4$, так как температура облучаемой поверхности человека ($T_0 = 37$ °С) значительно меньше температуры источников излучения тепла.

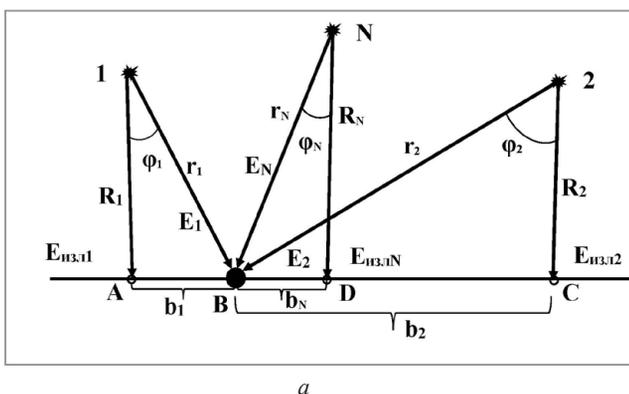
Из рис. 1, *a* определяем

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

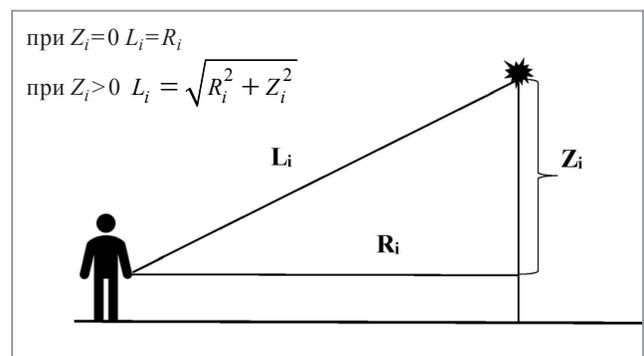
где R_i – расстояние от i -го источника излучения до поверхности облучения, м; b_i – расстояние по горизонтали от вертикальной оси источника излучения до рассматриваемой точки, м.

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

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



a



б

Рис. 1. Схема расчета интенсивности теплового облучения от нескольких источников излучения

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

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

Так как интенсивность теплового облучения в точке B определяется суммой тепловых потоков от нескольких источников $E_B = E_1 + E_2 + \dots + E_n$, то с учетом уравнения (4) получаем:

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

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

Уравнение (5) было использовано при разработке программы расчета интенсивности теплового облучения рабочих мест литейных цехов с применением ЭВМ. 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, получаем величину облученности в точках по всему участку.

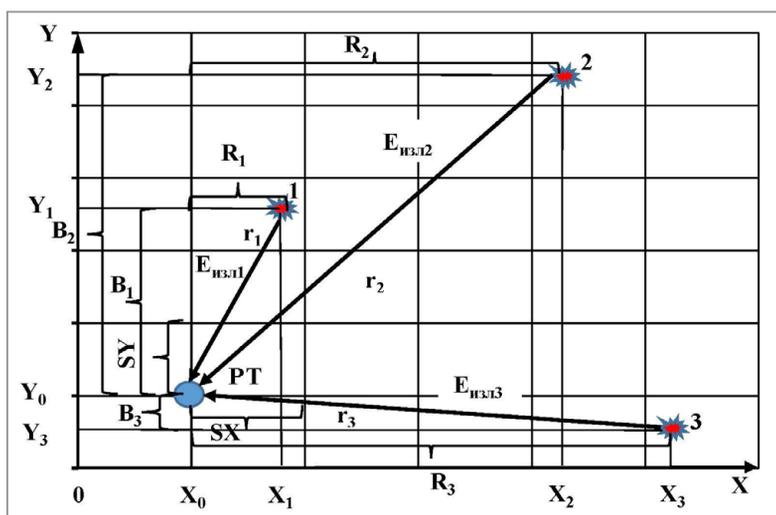


Рис. 2. Схема расчета интенсивности теплового облучения на рабочих местах с использованием ЭВМ:

* – источники теплового излучения; ПТ – 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 ; $E_{\text{изл}1}, E_{\text{изл}2}, E_{\text{изл}3}$ – интенсивность излучения источников тепла

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

Величина расчетной суммарной интенсивности теплового облучения будет больше, чем измеряемая приборами на рабочих местах литейщиков, так как рабочие места на участках литейных цехов расположены не изолированно от других. Это свидетельствует о том, что тепловые потоки от источников инфракрасного излучения встречают на своем пути различное оборудование, конструкции и т.п., приводя к снижению их интенсивности.

Также были выполнены расчеты по разработанной программе для построения номограммы по определению интенсивности теплового облучения работающих в зависимости от расстояния до источника тепла и его температуры (рис. 3), которую можно использовать при определении интенсивности теплового облучения для конкретного рабочего места без выполнения расчетов.

Интенсивность теплового облучения от открытых источников (нагретый металл, открытое пламя и т.д.) не должна превышать 140 Вт/м^2 . При этом облучению не должно подвергаться более 25%

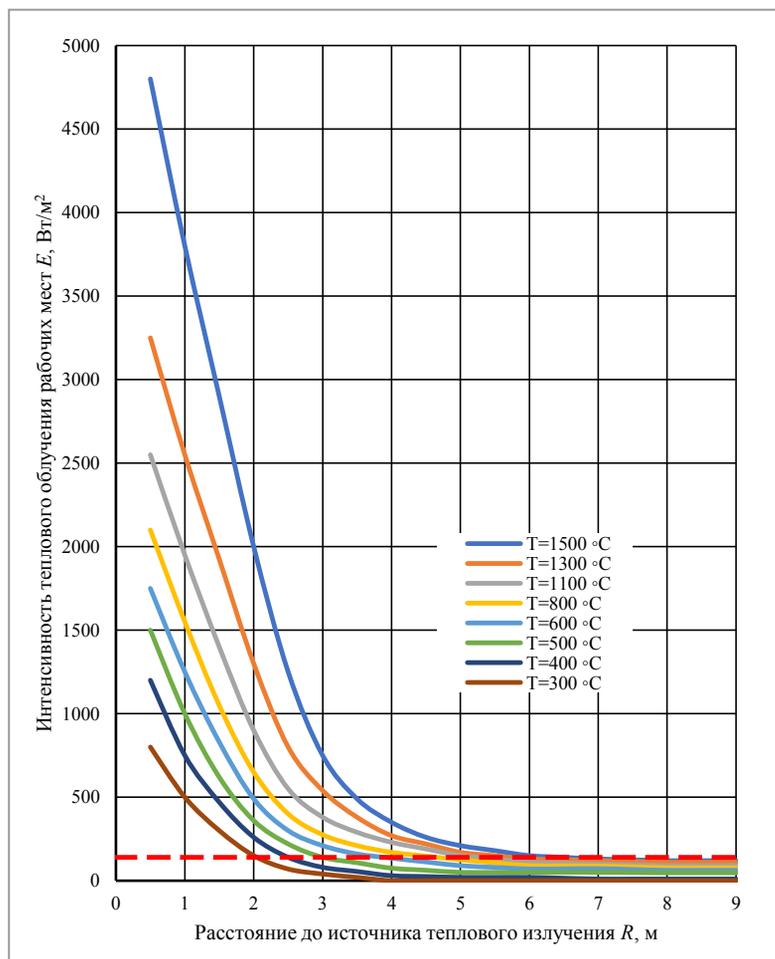


Рис. 3. Номограмма по определению интенсивности теплового облучения рабочих мест в зависимости от расстояния до источника теплового излучения (R , м) и его температуры (T , °C)

поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты. Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не должна превышать +45 °C.

Анализ результатов распределения интенсивности теплового излучения по участкам литейных цехов позволил выявить некоторые особенности распределения тепловых потоков в зависимости от характера производства.

Так, в литейных цехах массового производства тепловые зоны у рабочих мест имеют практически постоянные размеры. Причем длительному воздействию значительных тепловых потоков подвергаются практически все работающие в плавильно-заливочных отделениях. На других участках литейных цехов массового производства тепловое воздействие разной интенсивности отмечается только на отдельных рабочих местах (выбивальщики залитых форм, стерженщики у машин с нагреваемой оснасткой, рабочие у эпронконвейеров). Значительные тепловые потоки от залитых форм не попадают на рабочие места, так как они находятся в охладительном кожухе в течение всего времени остывания отливок. Данная тепловая обстановка на участках сохраняется в течение двух-трех смен работы литейных цехов массового производства.

Особенностями литейных цехов серийного производства является то, что на участках этих цехов концентрируется большое число технологических процессов получения отливок (в сырых песчаноглинистых формах, в кокили, цветное литье, литье под давлением и т. д.). Разный уровень, как правило меньший, механизации и автоматизации технологических процессов в этих литейных цехах приводит к тому, что тепловому воздействию подвергается большее число работающих. Работа цехов проводится в параллельном или ступенчатом режиме. Причем при ступенчатом режиме работы цеха воздействию тепла будут подвергаться в основном плавильщики и заливщики.

В цехах кокильного литья мелкосерийного производства тепловому воздействию также подвергаются в основном плавильщики и особенно заливщики, которые составляют большую часть работающих. При этом следует отметить, что заливщики подвергаются тепловому облучению при наполнении ковша

Таблица 1. Интенсивность инфракрасного (теплого) облучения на рабочих местах литейщиков (усредненные значения)

Участок цеха, рабочее место, оборудование	Интенсивность облучения, Вт/м ²
Плавильно-заливочный участок	
Сушка ковшей на стенде	650–950
Электродуговая печь:	
у пульта	190–470
при чистке летки	1350–2300
при загрузке шихты	1050–1500
у печи при плавке	880–1350
загрузка флюса	3200–5700
наполнение ковша металлом	3900–4500
заливка форм металлом	4150–6700
Вагранка:	
у летки	870–1250
у летки при выпуске металла	2800–3700
наполнение раздаточного ковша металлом	3400–4600
счистка шлака из ковша	4500–6200
Печь индукционная (плавка чугуна):	
загрузка шихты	1300–2300
наполнение ковша металлом	1080–1950
снятие шлака	3950–5100
у пульта печи	380–850
Печь индукционная (плавка алюминиевых сплавов):	
работа у печи при плавке	420–730
снятие шлака	790–1080
наполнение ковша металлом	880–1560
заливка металла в кокили	1460–2380
Печь газопламенная (плавка бронзы):	
загрузка шихты	620–910
наполнение ковша металлом	1750–2350
снятие шлака	1850–2860
заливка форм металлом	1730–2860
Стержневой участок	
Автомат стержневой (по нагреваемой оснастке):	
от стержневого ящика	260–470
от извлекаемых стержней	310–7610
Выбивной участок	
Извлечение отливок из опок (выбивная решетка)	870–1560
Навеска отливок на навесной конвейер	1260–1870

жидким металлом, транспортировке его, заливке кокилей, выбивке отливок, окраске кокилей, а также от извлеченных остывающих отливок. Интенсивность теплового потока при этих операциях изменяется в пределах 850–5400 Вт/м². Если в цехах с другими характерами производства воздействие тепла на работающих происходит циклично, то в данном цехе постоянно, изменяется только величина интенсивности теплового облучения, что приводит к значительному влиянию на организм человека.

Для оценки влияния теплового излучения на температуру воздуха участков литейных цехов было получено уравнение

$$\Delta t = m Q / C \rho V K n, \quad (6)$$

где Δt – повышение температуры воздуха на рабочих местах в течение 1 ч, °С; m – коэффициент, учитывающий долю тепла, расходуемого на нагрев оборудования, металлоконструкций, внешних ограждений; Q – количество выделяемого в помещение тепла от оборудования, жидкого металла и т.п.; C – массовая теплоемкость воздуха, равная 2,8 Вт/(кг·град); ρ – плотность воздуха, равная 1,2 кг/м³; V – объем помещения участка, м³; K – кратность воздухообмена (приточный воздух); n – коэффициент, учитывающий расход тепла на нагревание инфильтрационного воздуха.

Результаты расчетов по определению влияния выделяемого на отдельных участках литейных цехов тепла на повышение температуры воздуха рабочих зон с использованием уравнения (6) и результаты проведенных исследований микроклимата на рабочих местах этих участков приведены в табл. 2.

Сравнение теоретических и экспериментальных данных показывает достаточно хорошую их сочетаемость, что позволяет сделать вывод о возможности прогнозирования температурных режимов на рабочих местах литейных цехов на стадии проектирования или реконструкции их и возможности внесения коррективы в случае необходимости в предусматриваемые средства защиты или системы приточно-вытяжной вентиляции.

Также были проведены расчеты по определению влияния выделяемого на участках тепла на повышение температуры воздуха рабочих зон литейных цехов. Результаты расчетов, проведенных с использованием полученного нами уравнения, приведены в табл. 3, анализ которых показывает, что в литейных цехах наибольшее повышение температуры воздуха отмечается на плавно-заливочных участках.

Так, в цехах с массовым характером производства, несмотря на значительно большие тепловыделения, отмечаются наименьшие значения Δt , что объясняется большими величинами объема помещения и кратности воздухообмена (более 10).

Близкая картина наблюдается и в цехах серийного производства, где заливка форм в основном происходит на конвейере. В цехах серийного производства, где заливка и остывание форм в основном крупных происходит на плацу, Δt возрастает до 1,2 раза.

Особенно напряженная ситуация имеет место в литейном цехе мелкосерийного производства, где на большинстве участков заливка осуществляется в металлические кокилы. Здесь же происходит и остывание извлеченных отливок, что приводит к возрастанию Δt до 1,6 раза.

Сравнение изменений температуры воздуха на рабочих местах участков литейных цехов, полученных расчетным путем и определенных экспериментально, показало, что фактически повышение температуры воздуха на участках происходит на меньшие величины, чем определенные расчетным путем. Это объясняется тем, что при расчетах трудно учесть дополнительный объем приточного более холодного воздуха, который поступает от открытых (практически постоянно) въездных ворот, светоаэрационных фонарей. Также в цеха ввозится значительная масса материалов и т.п., на нагрев которых расходуется тепло. Кроме того, большинство участков литейных цехов непосредственно связаны между собой проемами, через которые происходит воздухообмен и частичное выравнивание температур.

Т а б л и ц а 2. Изменение температуры воздуха рабочих зон на участках литейных цехов

Участок цеха	Объем помещения V , м ³	Кратность воздухообмена K	Изменение температуры воздуха Δt , °С/ч	
			расчетное	экспериментальное
Стержневой	31200	5,9	0,54	0,49
Плавно-заливочный	35800	19,0	1,64	1,52
Литья гильз	16600	7,7	1,26	1,16
Цветного литья	2250	3,8	1,03	0,94

Т а б л и ц а 3. Изменение температуры воздуха рабочих зон на участках литейных цехов

Участок цеха	Объем помещения, тыс. м ³	Изменение температуры воздуха Δt , °С/ч
Цехи массового производства		
Плавно-заливочный	50–100	1,2–1,7
Стержневой	25–60	0,3–0,6
Формовочный	30–80	0,2–0,4
Термообрубочный	40–70	0,9–1,2
Выбивной	10–20	0,4–0,8
Цехи серийного производства		
Плавно-заливочный	30–60	1,4–1,8
Стержневой	15–40	0,4–0,7
Формовочный	20–50	0,2–0,4
Выбивной	10–20	0,5–1,0
Термообрубочный	25–40	0,6–0,8
Цехи мелкосерийного производства		
Плавно-заливочный	20–40	1,5–1,9
Стержневой	15–25	0,3–0,5
Формовочный	15–35	0,2–0,35
Выбивной	10–20	0,5–0,9
Термообрубочный	15–25	0,4–0,7
Кокильный	15–30	1,4–2,1

Большие значения Δt относятся к помещениям меньшего объема участков литейных цехов.

Однако следует отметить, что расхождения в значениях температур, полученных экспериментально и расчетным путем, составляют максимально 15–20% (не более 0,6–0,8 °С в течение смены) и позволяют говорить о возможности объективной оценки температурного режима участков литейных цехов на стадии проектирования или реконструкции их.

При выполнении расчетов по определению изменения температуры на участках литейных цехов использовали значения кратности воздухообмена, имеющие место в действительности. Полученные выше результаты показали, что, как правило, в цехах значения кратности воздухообмена имеют небольшие величины и системы приточной вентиляции не выполняют возлагаемые на них задачи по поддержанию параметров микроклимата на рабочих местах.

Таким образом, инфракрасное излучение является значимым фактором условий труда, поскольку при многих технологических процессах литейного производства его параметры превышают санитарные нормы. Это предопределяет необходимость систематического контроля за состоянием данного фактора, соблюдением необходимых правил охраны труда, разработки комплекса санитарно-технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий по оптимизации условий труда, предупреждению заболеваний, оздоровлению работников, занятых во вредных, опасных и тяжелых условиях труда. К мерам по профилактике неблагоприятного влияния инфракрасного излучения на работающих можно отнести следующие:

- внедрение современных технологических процессов с использованием механизации, автоматизации и дистанционного управления;
- укрытие источников излучения с использованием отражающих или поглощающих экранов;
- использование средств индивидуальной защиты органов зрения, кожных покровов;
- применение воздушного душирования рабочих мест с соблюдением параметров температуры и скорости движения воздуха в зависимости от интенсивности инфракрасного излучения;
- обеспечение работающих газированной подсоленной водой;
- оборудование специальных мест для отдыха с оптимальными параметрами микроклимата;
- регламентированные перерывы при выполнении работ с повышенными интенсивностями теплового излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаренков, А. М. Комплексное исследование параметров микроклимата литейных цехов / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева // Информационный бюллетень. Литье и металлургия. 1997. № 7, 8, 9. С. 13–19.
2. Лазаренков, А. М. Оценка условий труда литейщиков по инфракрасному (тепловому) излучению / А. М. Лазаренков, С. М. Хорева // Литье и металлургия. 2010. № 3 (57). С. 144–146.
3. Лазаренков, А. М. Влияние параметров микроклимата на работающих в литейных цехах / А. М. Лазаренков, С. М. Хорева // Литье и металлургия. 2012. № 3 (67). С. 82–84.
4. Бабалов, А. Ф. Расчет равномерности потоков облучения методом эпюр // Сб. науч. тр. М.: НИИОТ ВЦСПС, 1961. С. 47–52.
5. Бабалов, А. Ф. Промышленная теплозащита в металлургии. М.: Металлургия, 1971.
6. Лазаренков, А. М. Охрана труда на предприятиях металлургического производства: Учеб. пособ. Минск: УП «Технопринт», 2002. 264 с.
7. Глушков Л. А. Защита от перегревов в горячих цехах металлургических заводов. М.: Металлургиздат, 1963.

REFERENCES

1. Lazarenkov A. M., Horeva S. A. Kompleksnoe issledovanie parametrov mikroklimate litejnyh cehov [Comprehensive study of the parameters of the microclimate of foundries]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 1997, no. 7, 8, 9, pp. 13–19.
2. Lazarenkov A. M., Horeva S. A. Ocenka uslovij truda litejshhikov po infrakrasnomu (teplovomu) izlucheniju [Evaluation of working conditions of foundry workers by infrared (thermal) radiation]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 3 (57), pp. 144–146.
3. Lazarenkov A. M., Horeva S. A. Vlijanie parametrov mikroklimate na rabotajushhij v litejnyh cehah [Influence of microclimate parameters on workers in foundries]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 3 (67), pp. 82–84.
4. Babalov A. F. *Raschet ravnomernosti potokov oblucheniya metodom jepjur* [Calculation of the uniformity of irradiation fluxes by the method of diagrams]. Moscow, NIOT VCSPS Publ., 1961, pp. 47–52.
5. Babalov A. F. *Promyshlennaja teplozashhita v metallurgii* [Industrial thermal protection in metallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971.
6. Lazarenkov A. M. *Ohrana truda na predpriyatijah metallurgicheskogo proizvodstva* [Labor protection at the enterprises of metallurgical production]. Minsk, UP «Tehnoprint» Publ., 2002, 264 p.
7. Glushkov L. A. *Zashhita ot peregrevvov v gorjachih cehah metallurgicheskijh zavodov* [Overheating protection in hot shops of metallurgical plants]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1963.