

УДК 633.552

Л.А. Ничкова; Л.В. Квасова; Э.Е. Стрежекуров, канд. техн. наук, доцент

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ОБЪЕКТА ОТ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ ПРИ ДОЗОВОМ НОРМИРОВАНИИ

Решение энергетической задачи инфракрасного (ИК)-излучения сводится к тепловому облучению в рабочих условиях при наличии нескольких источников. Оценка воздействия теплового излучения на организм человека производится с учетом интенсивности теплового облучения, уникального свойства человека – терморегуляции и степени его защиты.

Аварийность и производственный травматизм в Украине находится на высоком уровне среди всех стран мира. Это приводит к невосполнимым жертвам и препятствует внешним инвестициям в экономику. По этой причине состоялось внеочередное заседание Национального совета безопасности жизнедеятельности, на котором рассматривались вопросы совершенствования государственной политики по снижению производственного и бытового травматизма. На внеочередном заседании 17.10.2002 г. Национального совета определены пути эффективного выполнения Национальной программы охраны труда и региональных программ. В качестве базового вредного фактора принято инфракрасное (ИК)-излучение, как наиболее распространенное в производственных условиях и во внешней среде. В [1,2] поставлена задача исследования влияния ИК-излучения на биологические объекты и выполнены экспериментальные исследования формализации энергетической задачи. Базой формализации данной задачи являются известные теплофизические законы, нашедшие отражение в работах [3]. Однако в большинстве этих работ недостаточно отражены вопросы распространения ИК-излучения от нескольких источников, энергии облучения человека в производственных условиях с учетом степени его защищенности, а также определение дозовых значений энергии теплового облучения.

В связи с тем, что терморadiационная напряженность характеризуется неравномерностью в пространстве, ее оценку необходимо проводить раздельно для каждой значимой точки. Каждая чувствительная часть поверхности тела (орган) человека осуществляет лучистый теплообмен с поверхностями окружающих предметов. Величина облученности участка тела зависит от его ориентации в пространстве относительно источника теплового излучения, имеет векторный характер и многозначна в каждой значимой точке пространства.

Поле лучистой энергии следует характеризовать величиной энергетической освещенности, т.е. потоком теплового излучения, падающим на единицу облучаемой площади. Приводятся частные случаи выражений, по которым рассчитывается интенсивность облучения объекта E от нагретой поверхности с учетом защиты тела (органов) человека различными материалами.

$$E = 5,7 \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - A \right] \varepsilon_{\text{пр}} \varphi \cos \alpha, \quad \text{Вт/м}^2 \quad ; \quad (1)$$

$$E = 0,008 \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - A \right] \varepsilon_{\text{пр}} \varphi \cos \alpha, \quad \text{ккал/см}^2 \cdot \text{мин} \quad , \quad (2)$$

где T – температура источника; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты тел (источника и человека); α – угол между излучаемой поверхностью и объектом; φ – угловой коэффициент (коэффициент облученности поверхности тел); A – показатель защиты человека ($A=85$ – для кожи человека и хлопчатобумажной ткани; $A=110$ – для сукна; $A=90$ по Ключину при температуре облучаемой поверхности равной 37°C , степени черноты обоих поверхностей $\varepsilon_{1,2}=1$ при расстоянии L , равном величине стороне a квадрата излучающей поверхности).

Предлагается более универсальная формула, учитывающая степень защиты человека от энергии облучения

$$E_{об} = 4,96 \xi_p \left[\varepsilon_{из} - \left(\frac{T_{из}}{100} \right)^4 F_{из} \left(\frac{T_{из.об}}{100} \right)^4 \varepsilon_{об} F_{об} \right] \cos \alpha, \quad (3)$$

где ξ_p – коэффициент рассеяния энергии по каналу ее передачи; $\varepsilon_{из}$ – коэффициент черноты излучающей поверхности, $\varepsilon_{об}$ – коэффициент черноты облучающей поверхности; $T_{из}$ – температура поверхности излучения; $T_{об}$ – температура поверхности облучения.

Выражение (3) можно записать в более компактной форме

$$E_{об} = 4,96 \xi_p \varepsilon_{\text{пр}} \left[\left(\frac{T_{из}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{из.об}}{100} \right)^4 \right] F_{из} \varphi \cos \alpha. \quad (4)$$

Вторая часть разности $\left(\frac{T_{из}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{из.об}}{100} \right)^4$ выражения (3) учитывает степень защиты (изоляции) человека или его органов от потока облучающей энергии. По ней можно вычислить комплекс A при известных значениях коэффициентов черноты $\varepsilon_{об}$ защитных материалов и облучаемых поверхностей $F_{об}$. Если неизвестны эти и другие значения формул (3) (4), то их следует определить экспериментально.

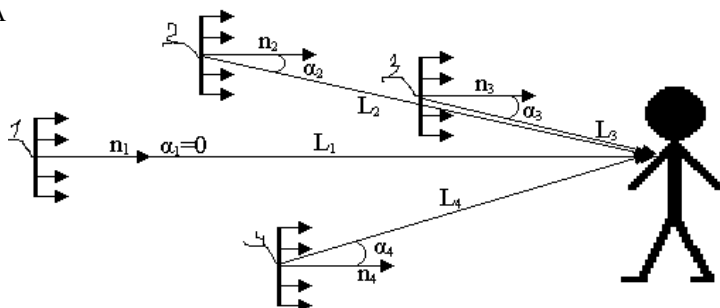
При оценке энергии облучения начальные значения температуры $T_{из}$ и $T_{об}$ принимаются из условия, что источником излучения является ближайший к объекту облучения, если даже он принят в качестве защитного средства от первоначального источника ИК-излучения. В качестве поверхности излучения принимается поверхность этого защитного средства. Защитным средством могут быть как специальные устройства, так и технологическое оборудование, находящееся на пути распространения ИК-излучения от источника до облучаемого объекта.

Для защиты от теплового облучения используются: тепловая изоляция, охлаждение теплоизлучающих поверхностей, экранирование тепловых излучений. Решение теплофизических задач по данным видам защиты [4] позволяют определить температуру поверхности излучения первоначального источника либо защитного устройства, находящегося на пути распространения лучей от источника к облучаемому объекту.

В производственных условиях могут быть случаи, когда на объект облучения воздействует одновременно несколько источников ИК-излучения. По отношению к объекту облучения они могут находиться на разных расстояниях L_i и под разными углами смещения α_i с линии (главного вектора n), перпендикулярной к центру поверхности облучения (рисунок 1).

Основная схема расположения источников излучения принимается в

А



Б

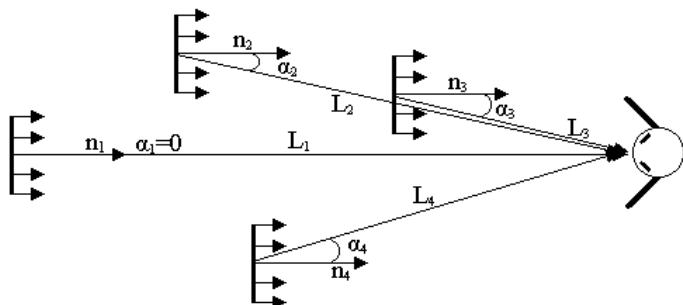


Рисунок 1 – Схема облучения объекта от нескольких источников: А – в профиль; Б – в плане; 1,2,3 – первоначальные источники ИК-излучения; 4 – технологическое оборудование (защитное устройство)

Основная схема расположения источников излучения принимается в плане, т.е. на высоте рабочей поверхности. Если источники ИК-излучения располагаются на разных высотах по отношению к рабочей поверхности (облучаемой поверхности объекта), то вычерчиваются схемы в соответствующих проекциях и по ним определяются углы α_i . Если один и тот же источник смещен по направлению к центру облучаемой поверхности, по горизонтали и по вертикали, то принимаются наименьшее расстояние L_i и наименьший угол смещения α_i .

Общую энергию облучения объекта (поверхности) от нескольких источников N следует определять путем суммирования энергий облучения каждого источника, рассчитанных по формулам (3), (4). При этом начальная температура поверхности (органа) облучения человека $T_{об}$ принимается постоянной 36,6°C. Расчетные выражения энергии облучения объекта от нескольких источников с учетом (3) и (4) имеют вид:

$$E_{\Sigma об} = \sum_{i=1}^N 4,96 \xi_{pi} \left[\varepsilon_{u3i} \left(\frac{T_{u3i}}{100} \right)^4 F_{u3i} - \left(\frac{T_{об}}{100} \right)^4 \varepsilon_{об} F_{об} \right] \cos \alpha_i, \quad (5)$$

$$E_{\Sigma o\delta} = \sum_{i=1}^N 4,96 \xi_{p_i \varepsilon_{np_i}} \left[\left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \right] F_{u3_i \Phi_i} \cos \alpha_i, \quad (6)$$

Если известна функция энергетического параметра, то выражения полной (дозовой) энергии во времени можно представить как сумму интегралов энергий единичных источников. В этом случае выражение энергии дозы-фактора в зависимости от интенсивности и времени облучения τ единственным источником имеют следующий вид:

$$D_{F_i} = \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} 4,96 \xi_{p_i} \left[\varepsilon_{u3_i} \left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 F_{u3_i} - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \varepsilon_{o\delta} F_{o\delta} \right] \cos \alpha_i \tau d\tau, \quad (7)$$

$$D_{F_i} = \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} 4,96 \xi_{p_i \varepsilon_{np_i}} \left[\left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \right] F_{u3_i \Phi_i} \cos \alpha_i \tau d\tau \quad (8)$$

Полученный результат позволяет перейти к среднему значению дозы-фактора:

$$\begin{aligned} D_{F_{cpi}} &= \frac{1}{\tau_n - \tau_1} \left\{ 4,96 \xi_{p_i} \left[\varepsilon_{u3_i} \left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 F_{u3_i} - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \varepsilon_{o\delta} F_{o\delta} \right] \cos \alpha_i \right\} \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} \tau d\tau = \\ &= 2,48 \tau_n \left\{ \xi_{p_i} \left[\varepsilon_{u3_i} \left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \varepsilon_{o\delta} F_{o\delta} \right] \cos \alpha_i \right\}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} D_{F_{cpi}} &= \frac{1}{\tau_n - \tau_1} \left\{ 4,96 \xi_{p_i \varepsilon_{u3_i}} \left[\left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \right] F_{u3_i \Phi_i} \cos \alpha_i \right\} \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} \tau d\tau = \\ &= 2,48 \tau_n \left\{ \xi_{p_i \varepsilon_{np_i}} \left[\left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \right] F_{u3_i \Phi_i} \cos \alpha_i \right\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Полная энергия дозы-фактора с учетом всех источников облучения объекта, в одно и то же время, с учетом выражений (7)-(10) описывается выражениями вида:

$$D_{F_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^N \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} 4,96 \xi_{p_i} \left[\varepsilon_{u3_i} \left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 F_{u3_i} - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \varepsilon_{o\delta} F_{o\delta} \right] \cos \alpha_i \tau d\tau, \quad (11)$$

$$D_{F_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^N \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} 4,96 \xi_{p_i \varepsilon_{np_i}} \left[\left(\frac{T_{u3_i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o\delta}}{100} \right)^4 \right] F_{u3_i \Phi_i} \cos \alpha_i \tau d\tau, \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 D_{F_{\Sigma cpi}} &= \sum_{i=1}^N \frac{1}{\tau_n - \tau_1} \left\{ 4,96 \xi_{pi} \left[\varepsilon_{u3i} \left(\frac{T_{u3i}}{100} \right)^4 F_{u3i} - \left(\frac{T_{o6}}{100} \right)^4 \varepsilon_{o6} F_{o6} \right] \cos \alpha_i \right\} \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} \tau d\tau = \\
 &= 2,48 \tau_n \left\{ \xi_{pi} \left[\varepsilon_{u3i} \left(\frac{T_{u3i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o6}}{100} \right)^4 \varepsilon_{o6} F_{o6} \right] \cos \alpha_i \right\}, \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{F_{\Sigma cpi}} &= \frac{1}{\tau_n - \tau_1} \left\{ 4,96 \xi_{pi} \varepsilon_{u3i} \left[\left(\frac{T_{u3i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o6}}{100} \right)^4 \right] F_{u3i} \Phi_i \cos \alpha_i \right\} \int_{\tau_1=0}^{\tau_n \rightarrow \infty} \tau d\tau = \\
 &= 2,48 \tau_n \left\{ \xi_{pi} \varepsilon_{u3i} \left[\left(\frac{T_{u3i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o6}}{100} \right)^4 \right] F_{u3i} \Phi_i \cos \alpha_i \right\}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Формулу (14) можно записать и в более компактной форме:

$$\begin{aligned}
 D_{F_{\Sigma}} &= \sum_{i=1}^N D_{F_i}, \\
 D_{F_{\Sigma cp}} &= \sum_{i=1}^N D_{F_{cpi}}.
 \end{aligned}$$

Здесь N – количество источников излучения, одновременно действующих на объект.

Выводы. Приведенные математические выражения позволяют получать количественные оценки доз теплового облучения человека в конкретных производственных и внешних условиях при различной степени его направленности и любом количестве источников ИК-излучения. Нормирование доз ИК-облучения людей является задачей дальнейших исследований с привлечением специалистов в области медицины, биологии и санитарной гигиены.

Библиографический список

1. Ничкова Л.А. Постановка энергетической задачи по воздействию инфракрасного излучения на биологические объекты с целью дозового нормирования / Л.А. Ничкова, А.Г. Лукьянчук, В.Г. Каширцев / Вестн. СевГТУ. Сер. Автоматизация производств. процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2002. — Вып. 36. — С. 207–212.
2. Ничкова Л.А. Энергетическая оценка потока инфракрасного излучения незащищенного объекта при дозовом нормировании / Л.А. Ничкова, А.Г. Лукьянчук, Л.В. Квасова // Вестн. СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2002. — Вып. 39. — С. 77–82.
3. Вейник Г.А. Термодинамика / Г.А. Вейник. — Минск: Высш. шк, 1982. — 320 с.
4. Борисов Ю. Инфракрасное излучение / Ю. Борисов. — М.: Энергия, 1976. — 55 с.

Поступила в редакцию 01.04.2003 г.