

Беликов А. С., д.т.н., проф., Рагимов С. Ю., инж., Кравчук А. М., инж.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, радиационное излучение, энергетическая освещенность.

Актуальность. На сегодняшний день в Украине более 3 млн. человек работают в условиях, не удовлетворяющих требований санитарно-технических норм, которые приводят к массовым профессиональным заболеваниям. Оценка негативного влияния инфракрасного излучения на работающих и защита от него является одной из важнейших задач охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования, проводящиеся в различных научно-исследовательских институтах, в частности, в Киевском институте гигиены труда и профзаболеваний, предлагают использовать различные методические основы для определения интенсивности излучения. В предложенной методике имеется целый ряд недостатков, кроме того существует довольно высокая погрешность определения терморadiационной напряженности участков производства.

Цель работы. Усовершенствование зависимостей математического моделирования для расширения энергетических диапазонов исследований и получения результатов с допустимой погрешностью.

Материал и результаты исследований. Источниками инфракрасного излучения являются значительная часть производственных процессов, поверхности оборудования и т.д.

Исследования показали, что не менее 60% всей потерянной теплоты от энергетических установок распространяется путем инфракрасного излучения. Потоки теплового излучения рабочего пространства характеризуются энергетической освещенностью, которая зависит от расстояния до теплового источника.

Рядом авторов [1-2] для определения интенсивности излучения какого либо тела E , Вт/м². от нагретой поверхности через отверстие в оборудовании предложено использовать следующие зависимости:

$$\text{При } r \geq F \quad E = \frac{0,91^F \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{доп}}{100} \right)^4 \right]}{r^2} \quad (1)$$

$$\text{При } r \leq F \quad E = \frac{0,91 \sqrt{F \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{доп}}{100} \right)^4 \right]}}{r^2} \quad (2)$$

где F – площадь излучаемой поверхности, м²;

T – температура излучаемой поверхности, К;

$T_{доп}$ – допустимая температура на облучаемой поверхности, К;

r – расстояние до источника излучения, м.

При этом для исследования энергии теплового излучения используют актинометры, радиометры и инфракрасные фильтры для выделения участков спектра (ИКС - 10, ИКС - 12, ИКС - 14).

Как показала практика, предложенная методика имеет ряд недостатков, а главное высокая погрешность определения терморadiационной напряженности на рабочих местах.

Для решения задачи по энергетической освещенности (облученности) используют формулу.

$$E_0 = L \int_{\Omega} \cos \phi d\Omega \quad (3)$$

где E_0 - интенсивность энергетического освещения, Вт/м²

L - яркость излучаемой поверхности, Кнд/м²

Ω - телесный угол, под которым видна излучающая поверхность,

Характер изменения интенсивности теплового излучения источников от расстояния до рабочего места подчиняется квадратичной зависимости и совпадает с кривыми, полученными при физическом световом моделировании. Рассмотрим эти зависимости в плане математического моделирования, что по нашему мнению позволит расширить энергетические диапазоны исследования и получить результаты с большим квантованием по расстоянию и по пределам интенсивности теплового излучения. Рассмотрим процесс излучения энергии от объекта к поглощаемой площадке облучаемого объекта. Телесный угол измеряется площадью, определяемой телесным углом по сфере единичного радиуса с центром и вершиной (рис.1).

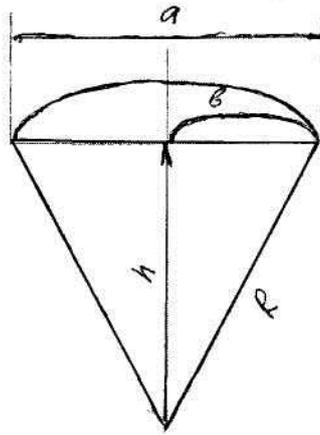


Рис.1 Схема расчета энергетической освещенности элементарной площадки.

При этом, с увеличением угла зрения, определяемого отношением сторон с линейными размерами a , b , h , R , телесный угол сохраняется, даже при бесконечном уменьшении элементарных площадок излучаемой поверхности.

$$R = \sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}} \quad (4)$$

Если $R=1$, то линейные размеры изменяются при том же телесном угле, тогда получим:

$$b = \frac{\frac{a}{2}}{\sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}}} = \frac{a}{\sqrt{4h^2 + a^2}} \quad (5)$$

Если примем $\frac{a}{2}/b = \frac{R}{1}$; $b = \frac{a}{2}/R$;

То все размеры элементарной единичной сферы вписываются в уравнение единичной сферы.

$$S = \iint \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2} dx dy \quad (6)$$

где $f = z = \sqrt{1 + x^2 - y^2}$ - уравнение единой части сферы.

Размещение осей (рис.2) на элементарной площадке и координат представляет полярную область, в которую проектируется кусок сферы.

Переходя к полярным координатам элементарной площадки после ее интегрирования и проведя соответствующее преобразование мы получим следующее выражение

$$s = 8 \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\phi \int_0^{b/\cos\phi} \frac{\rho d\rho}{\sqrt{1-\rho^2}} = -8 \int_0^{\pi/4} \sqrt{1-\rho^2} \quad d\phi = -8 \int_0^{\pi/4} \sqrt{\cos^2\phi - b^2} \frac{d\rho}{\cos\phi} + 2\pi \quad (7)$$

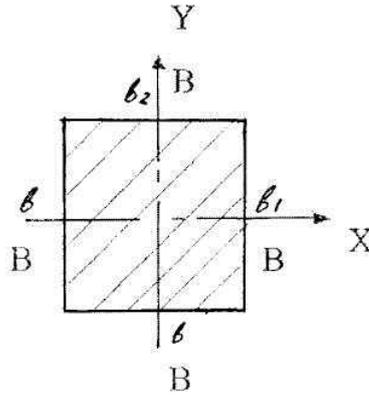


Рис.2. Полярные коэффициенты элементарной площадки.

После преобразования мы уже можем записать формулы определения E_0 в следующем виде:

$$E_0 = 4ha * (4h^2 + a^2)^{-1} * \text{arctg}(a * (4h^2 + a^2)^{-\frac{1}{2}}) \quad (8)$$

где a — сторона квадрата, м;

h — расстояние от центра излучающей поверхности до освещаемой (облучаемой точки), м.

Согласно предварительным условиям постановки задачи, мы знаем расстояние до источника излучения h : энергетическая освещенность (облученность) E_0 и размер источника. Исходя из положения взаимосвязи тепловых величин яркость источника L может быть определена из данного выражения, а значение $4L$, представим как какую-то безотносительную величину A и зададим ее как характеристику источника в широких границах заданного предела существования.

В ряде научных работ не учитывались различные формы источников, а также суммарное воздействие теплового излучения от нескольких источников [3-4].

Источники могут быть прямоугольными, вытянутыми с соотношением сторон 1:4 и более. Также часто отверстия (окна) печей могут быть круглыми, овальными и квадратными. Исходные формулы в таких случаях отличаются.

Рассмотрим основополагающие формулы излучающего тела. Также рассмотрим пример суммарного облучения от нескольких источников принимаем 2, хотя возможно и большее количество.

Если же источник будет другим по форме, прямоугольником или кругом, то формулы несколько изменятся.

1) освещенность точки, находящейся на расстоянии h от одной из вершин светящегося прямоугольника:

$$E = \frac{L}{2} \left(\frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \text{arctg} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \text{arctg} \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) \quad (9)$$

a, b – размеры прямоугольника

Если имеем квадрат, то получается формула используемая в ваших работах

$$E = 4L \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \quad (10)$$

Если круглый диск, то

$$E = \frac{\pi L a^2}{h^2 + a^2} \quad (11)$$

Освещенность от круглого диска радиуса a на диске радиуса a' , находящегося на расстоянии h :

$$\Phi_{1-2} = \frac{\pi^2 L}{2} \left[(h^2 + a^2 + a'^2) - \sqrt{(h^2 + a^2 + a'^2)^2 - 4a^2 a'^2} \right] \quad (12)$$

Эта формула следует из общей формулы

$$\Phi_{1-2} = \iint_{AA'} \frac{L \cos \theta' \cos \theta}{l^2} dA dA' \quad (13)$$

Данная общая формула это левая часть интегрального уравнения полученного при рассмотрении обратной задачи радиационного излучения, состоящей в отыскании температурного распределения на поверхности по известному полю полусферической плотности падающего излучения на них. Из закона сохранения энергии получено интегральное уравнение первого рода.

Рассмотрим общее положение системы источника излучения и облучаемого объекта.

Пусть имеется некоторая произвольная замкнутая система серых диффузно излучающих тел, разделенных прозрачной средой (рис. 3-4). Одна из постановок обратной задачи в этом случае заключается в отыскании температурного распределения на поверхностях тел $T(M)$ по известному полю полусферической плотности падающего излучения $E_{\Pi}(M)$ на них. На основании закона сохранения энергии эта задача в стационарном случае сводится к решению интегрального уравнения первого рода

$$\int_F E_{\text{эф}}(N) \frac{\cos \theta_M \cos \theta_N}{\pi r_{MN}^2} dF_N = E_{\Pi}(M) \quad (14)$$

относительно полусферической плотности эффективного излучения $E_{\text{эф}}$ с последующим расчетом поля температуры $T(M)$ по формуле

$$T(M) = \left\{ \frac{1}{\varepsilon \sigma} [E_{\text{эф}} - 1(1 - A)E_{\Pi}] \right\}^{1/4} \quad (15)$$

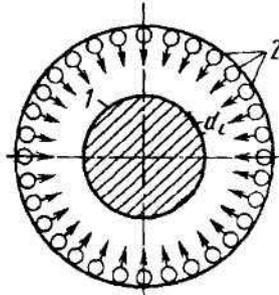


Рис. 3. Инфракрасный имитатор:
1 – испытываемый образец; 2 – излучатели.

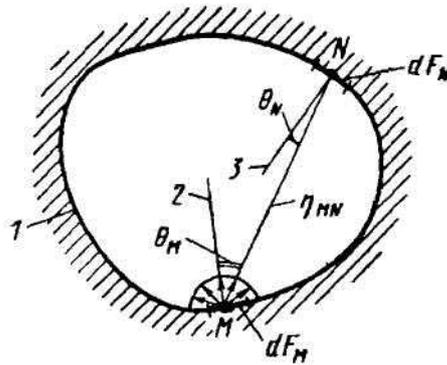


Рис. 4. Замкнутая система тел:
1 – диффузно излучающая поверхность F; 2, 3 – нормали к поверхностям в точках M и N соответственно.

Здесь под падающим излучением $E_{\text{п}}$ понимается сумма поглощенного и отраженного поверхностью излучений. Эффективное излучение, исходящее с поверхности серого тела, представляет собой сумму собственного и отраженного излучений.

Задачи подобного типа возникают при определении режимов работы радиационных нагревательных устройств в экспериментальных стендах и различных технологических процессах.

Сформулированные обратные задачи радиационного теплообмена это стационарные и линейные задачи, в которых лучеобменивающиеся тела считаются непрозрачными.

Преобразовав формулу (14) получим выражение вида:

$$E_{\text{эф}}(M) = \iint_F E_{\text{эф}}(N) \frac{\cos \theta_M \cos \theta_N}{\pi r_{MN}^2} dF_N \quad (16)$$

Рассмотрим систему дискретно излучающих источников (для примера два источника) с одинаковой интенсивностью излучения. Пусть также присутствует два облучаемых объекта. Тогда на основе зонального метода составления уравнения теплового баланса, характеризующего равенство тепловых потоков, воспринимаемых каждым элементом в условиях облученности и заданных тепловых потоков q_1, q_2 (рис.5).

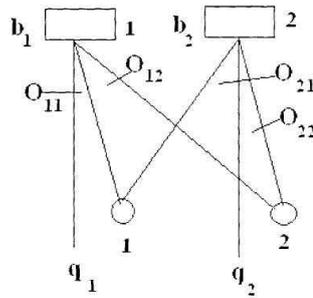


Рис.5. Система дискретно излучающих источников.

Приходим к системе линейных уравнений

$$\begin{cases} J_1 A_{11} \cos \theta_{11} + J_2 A_{12} \cos \theta_{12} = \frac{1}{\pi} q_1 \\ J_1 A_{21} \cos \theta_{21} + J_2 A_{22} \cos \theta_{22} = \frac{1}{\pi} q_2 \end{cases} \quad (17)$$

A_{ij} - поглощательная способность i -того элемента по отношению к j -тому излучателю;

θ_{ij} - угол направления от j -того излучателя на i -тый облучаемый элемент;

J_k - искомая интенсивность K излучателя с номером.

Эта задача решается достаточно просто так как является линейной системой уравнений

Так в случае двух источников излучения и двух объектов облучения имеем

$$J_1 = \frac{1}{\pi} \frac{q_2 A_{11} \cos \theta_{11} - q_1 A_{21} \cos \theta_{21}}{A_{11} A_{22} \cos \theta_{11} \cos \theta_{22} - A_{12} A_{21} \cos \theta_{12} \cos \theta_{21}} \quad (18)$$

$$J_2 = \frac{1}{\pi} \frac{q_1 A_{22} \cos \theta_{22} - q_2 A_{12} \cos \theta_{12}}{A_{11} A_{22} \cos \theta_{11} \cos \theta_{22} - A_{12} A_{21} \cos \theta_{12} \cos \theta_{21}} \quad (19)$$

Общая система уравнений для n облучаемых элементов и m облучателей примет вид:

$$\pi \sum_{j=1}^m J_j A_{ij} \cos \theta_{ij} = q_i, \quad i = 1, n \quad (20)$$

Выводы. Используя суперпозицию энергии излучения, можно определять по этим моделям уровень энергии излучения в любой точке свободного поля, что упрощает моделирование энергетической освещенности с учетом расположения рабочих мест от источников излучения и их количества.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Геращенко О. А. Царенко Н. В., Сажина С. А., Грабовский В. В. Измерения лучистой составляющей в диапазоне спектра 1-8 мкм. Вестник Киевского политехнического института. Серийного приборостроения, 1977, – Вып.7, – С.40-42.

2. Методические рекомендации по применению теплозащитных средств в горячих цехах металлургической промышленности. К.: – Минздрав УССР. – 1983, – 33с.

3. **Крикунов Г. Н., Беликов А. С., Шлыков Н. Ю., Кияница А. О.** Снижение пожароопасности объектов в проектных решениях.- Сб.научн.тр. “Экономика, менеджмент, маркетинг, управление проектами, организация”.- Дн-ск: Наука и образование,– 2003.– Вып.№3.– С.89-92

4. **Беликов А. С. КияницаА. А., Шлыков Н. Ю. Рабич Е. В.** Нормирование и оценка теплового излучения на рабочих местах.- Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. Научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСиА, – 2005. – Вып. 33. – С. 99-109.

УДК 614.89:669

К вопросу теоретических исследований интенсивности энергетической освещенности термических участков производства / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, А. М. Кравчук // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «ПДАБА», 2010. – № __. – С. –. – рис.5 Бібліогр.: (4 назв).

Рассматривается усовершенствование зависимостей математического моделирования для расширения энергетических диапазонов исследований. Представлен характер изменения теплового излучения источников от расстояния до рабочего места. Учтены различные формы источников, а также суммарное действие теплового излучения от нескольких источников.

Ключевые слова: *инфракрасное излучение, радиационное излучение, энергетическая освещенность.*

До питання теоретичних досліджень інтенсивності енергетичної освітленості термічних ділянок виробництва / Бєліков А. С., Рагімов С. Ю., Кравчук А. М. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «ПДАБА», 2010. – № __. – С. –. – рис.5 Бібліогр.: (4 назв).

Розглядаються удосконалення залежностей математичного моделювання для розширення енергетичних діапазонів досліджень. Представлено характер зміни теплового випромінювання джерел від відстані до робочого місця. Враховано різні форми джерел, а також сумарна дія теплового випромінювання від декількох джерел.

Ключові слова: *інфрачервоне випромінювання, радіаційне випромінювання, енергетична освітленість.*

To the question of theoretical researches of intensity of power luminosity of thermal areas of production / A. S. Belikov, S. U. Ragimov, A. M. Kravchuk // Visnyk Pridneprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture. - Dnepropetrovsk: PGASA. – 2010. -- № __ – P. – . - Fig. 5. – Bibliogr.: (4 names).

The improvement of dependences of mathematical design for expansion of power ranges of researches is examined. Character of change of thermal radiation of sources from distance to the workplace is represented. Different forms of sources, and also total action of thermal radiation, from a few sources are taken into account.

Keywords: *infra-red radiation, radiation radiation, power luminosity.*