

УДК 679. 597

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТОКА ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НЕЗАЩИЩЕННОГО ОБЪЕКТА ПРИ ДОЗОВОМ НОРМИРОВАНИИ

Ничкова Л.А., Лукьянчук А.Г., Квасова Л.В.

Дано описание прохождения потока энергии инфракрасного ИК-облучения по воздушной среде на производстве. Особое внимание уделяется вопросу рассеяния энергии излучения на пути от излучателя к объекту. Интенсивность рассеяния потока энергии зависит от качественного состояния воздушной среды и расстояния.

Рассеяние лучистой энергии в промышленной атмосфере может происходить в результате молекулярного поглощения, молекулярного рассеяния и рассеяния взвешенными инородными частицами.

Для оценки рассеяния энергии излучения при прохождении электромагнитной волны через вещество можно воспользоваться законом Бургера-Ламберта-Бэра. При условии параллельности пучка ИК-лучей, однородности канала передачи энергии и узком диапазоне частот используемого излучателя этот закон можно записать в виде

$$\Phi_{об} = \Phi_{из} \cdot e^{-\alpha c L}, \quad (1)$$

где $\Phi_{об}$ – поток облучения объекта; $\Phi_{из}$ – поток излучения источника; α – константа зависящая от свойств вещества; c – константа поглощаемого (рассеиваемого) компонента; L – длина канала передачи энергии излучения.

В свою очередь (1) можно записать в виде

$$\Phi_{об} = \Phi_{из} \cdot \xi_P, \quad (2)$$

где ξ_P – общий коэффициент рассеяния энергии в канале L .

Выражение этого коэффициента можно представить в виде

$$\xi_P = \xi_{мл} \cdot \xi_{мр} \cdot \xi_{Pr}, \quad (3)$$

где $\xi_{мл}$ – коэффициент молекулярного поглощения; $\xi_{мр}$ – коэффициент молекулярного рассеяния; ξ_{Pr} – коэффициент рассеяния инородными частицами.

Можно предположить, что в промышленной атмосфере с нормированной загрязненностью при небольших расстояниях передачи энергии излучения (несколько метров) молекулярное поглощение незначительно. Но на ряде объектов в атмосфере имеются значительные концентрации углекислого газа, паров воды, кислот, паров углеводородных соединений и других веществ, которые значительно поглощают инфракрасные лучи. Для этих условий с учетом (1) и (2) можно записать

$$\xi_{мл} = e^{-\alpha_n C_n L}, \quad (4)$$

α_n – константа молекулярного поглощения, зависящая от свойств поглощаемого вещества и длины волны ИК-излучения; C_n – концентрация поглощающего компонента в канале передачи энергии.

Аналогичным образом на основании экспоненциального закона

рассеяния лучей можно записать выражение коэффициента

молекулярного рассеяния

$$\xi_{mp} = e^{-\alpha_p C_p L}, \quad (5)$$

где α_p – константа молекулярного рассеяния; C_p – концентрация рассеивающего вещества в канале передачи энергии.

Рассеяние энергии излучения инородными частицами (пылью) также зависит от состояния атмосферы. Этот вид рассеяния энергии ИК-излучения в производственных условиях наиболее существенен по сравнению с первыми двумя, так как технологические процессы зачастую сопровождаются пылеобразованием. Пыль во взвешенном состоянии с воздухом образует аэрозоль.

Теория рассеяния крупными частицами, обладающими свойствами диэлектриков, которыми преимущественно являются аэрозоли, разработана академиком В.В. Шулейкиным [1]. Им предложена зависимость $\Phi \sim \frac{1}{\lambda^p}$ рассеяния потока лучистой энергии Φ от размеров частиц аэрозолей, в которой показатель p снижается с увеличением размера частиц и при их диаметрах, равных 1...1,5 мкм принимает нулевое значение. В этом случае величина рассеянной лучистой энергии не зависит от длины волны излучения. Можно предположить, что данный закон будет справедлив для промышленной атмосферы, содержащей в себе пыль во взвешенном состоянии. В общем случае для описания ослабления лучистого потока можно использовать также экспоненциальный закон распределения по каналу передачи энергии

$$\xi_{pr} = e^{-\alpha_r C_r L}, \quad (6)$$

где α_r – константа, рассеяния излучения аэрозолями, зависящая от длины волны и размера частиц; C_r – концентрация частиц в атмосфере канала передачи энергии.

С учетом (4)...(6) общее выражение коэффициента рассеяния лучистой энергии в атмосфере можно представить в виде

$$\xi_{pL} = e^{-L(\alpha_n C_n + \alpha_p C_p + \alpha_r C_r)}. \quad (7)$$

Однако аналитическое определение значений показателей α_i и C_i для промышленной атмосферы практически невозможно. Имеются также большие трудности при экспериментальном определении значений этих

показателей. Задача несколько упрощается, если в эксперименте определяется суммарный коэффициент ξ_{pL} , а не его отдельные составляющие.

Экспериментальные исследования по определению ξ_{pL} в реальной промышленной атмосфере впервые были выполнены В.В. Севриковым. В качестве источников ИК-излучения использовались реальные горения (пламя) различных веществ, наиболее часто встречаемых в производственных условиях. При этом экспериментальные данные аппроксимированы экспоненциальными зависимостями, согласно выражению (7), а не параболическими, как это сделано ранее в [2], т.е. аппроксимирующее выражение коэффициента рассеяния энергии излучения имеют вид:

$$\xi_p = A \cdot e^{-BL}. \quad (8)$$

Исследование рассеяния энергии излучений, и в частности ИК-

излучения, в каналах ее передачи и, особенно, в промышленной

атмосфере, является весьма актуальным как в теоретическом так и

практическом отношении. Эта задача заслуживает самостоятельного

исследования

Если теоретически или экспериментально проведена оценка степени рассеяния энергии ИК-излучения от излучателя до облучаемого объекта (расстояние L), то выражение энергии облучения незащищенного объекта (человека) с учетом (1) и (3), принимают вид

$$E_{об} = 4,96 \epsilon_n \beta e^{-L} \left(\frac{T_n}{100} \right)^4 F_n, \quad (9)$$

где ϵ_n – приведенная степень черноты; T_n – абсолютная температура источника излучения, К; F_n – поверхность излучения.

При этом выражение (9) необходимо уточнить с учетом пространственного расположения поверхности облучения объекта к направлению потока излучения, т.е. учесть угол α (рисунок 1). Тогда выражение (9) принимает вид:

$$E_{об} = 4,96 \epsilon_n \xi_p \left(\frac{T_n}{100} \right)^4 F \cos \alpha. \quad (10)$$

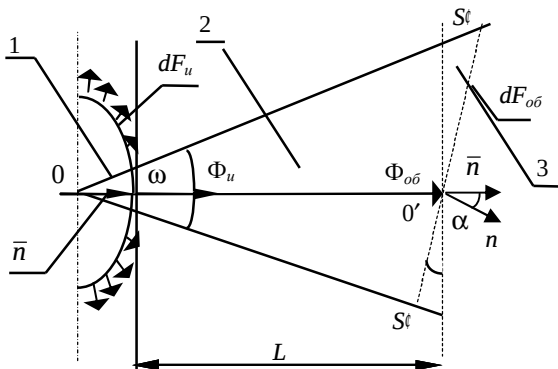


Рисунок 1 - Схема распространения лучистой энергии от единичного источника к облучаемому объекту:

Возникает необходимость обсуждения параметра F . При параллельности потока ИК-лучей и площади излучения $F_{из}$, равной или большей площади облучения объекта $F_{об}$, что чаще всего имеет место на практике, следует принимать $F = F_{об}$. Если же площадь излучения меньше площади облучаемого органа (человека), то можно принять $F = F_n$, так как

предельное (допустимое) значение энергии облучения является удельным по облучаемой площади (кал/см²), объему (кал/см³) или массе (кал/кг). Если пользоваться аналогией решения физических задач теплообмена между двумя поверхностями $F_{из}$ и $F_{об}$, то выражение (10) можно записать в более компактной форме

$$E_{об} = 4,96 \zeta_{\varphi} \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_{из}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{об}}{100} \right)^4 \right] F_{из} \varphi \cos \alpha, \quad (11)$$

где ε_{np} – приведенная степень черноты тел; φ – угловой коэффициент облученности поверхности тел.

Поскольку точного решения задачи теплообмена между серыми телами нет, то в расчетах используется понятие приведенной степени черноты ε_{np} , с помощью которой учитывают особенности поглощения лучистой энергии серыми телами и отраженные потоки.

В [3] имеются выражения для частных случаев определения ε_{np} . В случае теплообмена между двумя параллельными бесконечными поверхностями, что можно считать допустимым приближением к решению нашей задачи, ε_{np} имеет вид:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{из}} - \frac{1}{\varepsilon_{об}} \right) - 1}.$$

В уравнении (11) содержится выражение

$$F_{из} \varphi = F_{из.об}, \quad (12)$$

где $F_{из.об}$ – расчетная поверхность теплообмена между излучающей поверхностью $F_{из}$ и поверхностью облучения $F_{об}$. Эта поверхность

определяется с помощью углового коэффициента ϕ , который показывает какая часть лучистого потока излучателя попадает на облучаемую поверхность. Коэффициент ϕ при решении теплотехнических задач рассчитывается по соответствующим формулам или его значение находится графически [3]. Например, для двух бесконечных параллельных поверхностей (полос) одинаковой ширины a , расположенных друг против друга на расстоянии L .

$$\phi_{из.об} = \phi_{об.из} = \sqrt{1 + \left(\frac{L}{a}\right)^2} - \frac{L}{a},$$

$$F_{из.об} = \sqrt{(a^2 + L^2)} - L,$$

где поверхность $F_{из.об}$ отнесена к 1 м длины полос.

Температуры поверхности излучения $T_{из}$ и поверхности облучения $T_{об}$ при использовании формул (11) и (12) должны быть известны. Они либо рассчитываются по существующим методикам или определяются экспериментально в реальных условиях.

Анализ экспериментальных данных по инфракрасному излучению пламени различных горючих веществ в промышленной атмосфере, оцениваемому по величине выходного сигнала болометрического датчика $U_{вых}$ (В), показал, что наибольшей энергией излучения вблизи пламени площадью 25 см² обладают резина техническая и древесина. Аппроксимация имеющихся экспериментальных данных, полученных в конкретных производственных условиях, с помощью выражения (8), позволяет получить с использованием программного пакета MAPL следующие значения коэффициентов для резины технической $U_{вых} = 2,24 \cdot e^{-0,07L}$, для древесины $U_{вых} = 3,78 \cdot e^{-0,98L}$. Графические зависимости изображены на рисунке 2. Анализ этих зависимостей показывает, что мощность излучения на расстоянии 10 м от пламени снижается примерно в 2...2,5 раза. В этом случае значение коэффициента рассеяния энергии уменьшается примерно на 60% и $\xi_p = 0,4$.

Предложенный подход на наш взгляд, позволит решить задачу

контроля ИК-излучения – вредного фактора на производстве. Он

расширяет возможности применения новых методик оценки и

нормирования вредных факторов, разработанных в последние годы

медиками-гигиенистами.

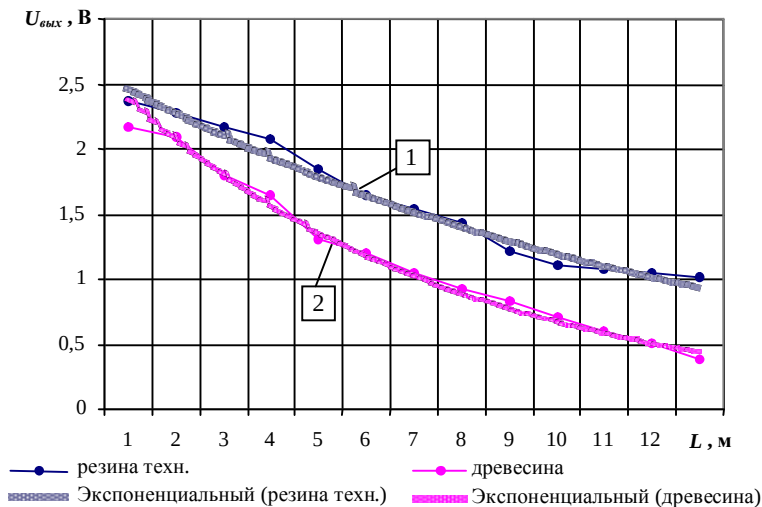


Рисунок 2 - Графики изменения излучающей способности пламени в производственных условиях: 1 - резина техническая, 2 - древесина

Библиографический список

1. Шулейкин В.В. Физика моря. Ч. 6. Оптика моря / В.В. Шулейкин. — М: Изд-во АН СССР, 1953. — 234 с.
2. Защитные устройства: Справ. пособие / Под ред. Б.М. Злобинского — М: Металлургия, 1971. — 202 с.
3. Ициксон Б.С. Инфракрасные газовые излучатели / Б.С. Ициксон, Ю.Л. Денисов. — М: Наука, 1969. — 280 с.

Поступила в редакцию 12.12.2001 г.