

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СФЕРЫ ЕДИНИЧНОГО РАДИУСА ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ОТ ПОЖАРОВ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТА

А.Е. Басманов, Университет гражданской защиты Украины

Расчет теплового потока от горящего нефтепродукта необходим руководителю тушения пожара для принятия оперативного решения о необходимости защиты соседних объектов предприятия от теплового воздействия пожара. Основная сложность при этом состоит в том, что расчет теплового потока требует знания излучающей поверхности. В случае горения разлива произвольной формы аналитическое описание поверхности пламени является особенно сложным.

Плотность теплового потока через элементарную площадку dS_1 от поверхности S_2 определяется законом Стефана-Больцмана:

$$\frac{dq}{dt} = c_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2 \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) \varphi_{12}, \quad (1)$$

где $c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$; T_1, T_2 – температуры поверхностей dS_1 и S_2 ; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – степени их черноты; φ_{12} – локальный коэффициент взаимного облучения:

$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi_{S_2}} \iint \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{r^2} dS_2, \quad (2)$$

где φ_1, φ_2 – углы между векторами \vec{n}_1, \vec{r} и \vec{n}_2, \vec{r} соответственно; \vec{n}_1, \vec{n}_2 – нормальные вектора к поверхностям dS_1 и S_2 ; интеграл берется только по тем точкам поверхности S_2 , в которых нормальные вектора \vec{n}_1, \vec{n}_2 к поверхностям образуют острый угол с вектором \vec{r} , соединяющим эти точки.

Величина $\cos \varphi_2 dS_2 / r^2$, стоящая под интегралом в (2), является проекцией элементарной площадки dS_2 на поверхность единичной сферы с центром на площадке dS_1 (рис. 1) [1]. Это позволяет свести вычисление локального коэффициента φ_{12} к интегрированию по области G , являющейся проекцией S_2 на поверхность сферы единичного радиуса: $\varphi_{12} = \frac{1}{\pi_G} \iint \cos \varphi_1 dG$,

или в сферических координатах: $\varphi_{12} = \frac{1}{\pi_F} \iint \cos \varphi_1 |\sin \theta| d\varphi d\theta$, где F – проекция

области S_2 на поверхность единичной полусферы. Пусть нормальный вектор $\vec{n}_1 = (\cos \varphi_0 \sin \theta_0, \sin \varphi_0 \sin \theta_0, \cos \theta_0)$.

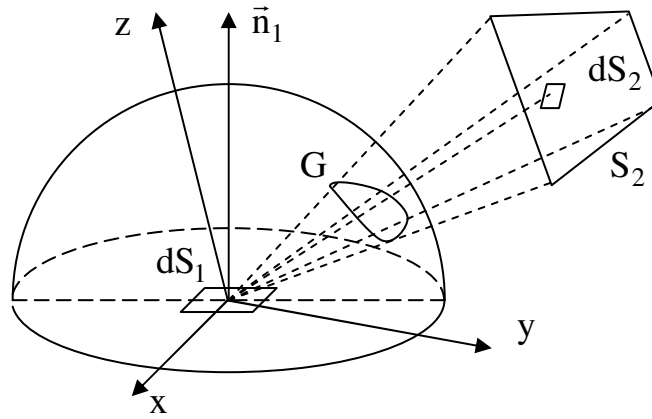


Рис. 1. Проекция области S_2 на поверхность единичной сферы с центром в dS_1

Введем функцию $\Delta_S(\varphi, \theta)$, принимающую значение 1 в случае, если полупрямая, выходящая из площадки dS_1 и определяемая направляющим вектором $(\cos \varphi \sin \theta, \sin \varphi \sin \theta, \cos \theta)$, пересекает поверхность S , и принимающую значение 0 в противном случае. Тогда

$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{\max(0, \theta_0 - \pi/2)}^{\min(\pi, \theta_0 + \pi/2)} \sin \theta \int_{t_1}^{t_2} (\sin \theta \sin \theta_0 \cos t + \cos \theta \cos \theta_0) \Delta_{S_2}(t + \varphi_0, \theta) dt d\theta, \quad (3)$$

$$t_1 = \begin{cases} -\arccos(-\operatorname{ctg} \theta \operatorname{ctg} \theta_0), & -1 < -\operatorname{ctg} \theta \operatorname{ctg} \theta_0 < 1, \\ -\pi, & \operatorname{ctg} \theta \operatorname{ctg} \theta_0 \leq -1, \end{cases},$$

$$t_2 = \begin{cases} \arccos(-\operatorname{ctg} \theta \operatorname{ctg} \theta_0), & -1 < -\operatorname{ctg} \theta \operatorname{ctg} \theta_0 < 1, \\ \pi, & \operatorname{ctg} \theta \operatorname{ctg} \theta_0 \leq -1, \end{cases} \quad 0 < \theta_0 < \pi.$$

Если же $\theta_0 = 0$ или $\theta_0 = \pi$, т.е. $\vec{n} = (0, 0, 1)$ или $\vec{n} = (0, 0, -1)$, то

$$\varphi_{12} = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/2} \sin 2\theta d\theta \int_0^{2\pi} \Delta_{S_2}(t, \theta) dt, & \theta_0 = 0, \\ \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} \sin 2\theta d\theta \int_0^{2\pi} \Delta_{S_2}(t, \theta) dt, & \theta_0 = \pi. \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, соотношения (1), (3), (4) позволяют вычислить плотность теплового потока от факела над разливом нефтепродукта через произвольную элементарную площадку.

Литература

1. Попов В.М., Куценко Л.М., Семенова-Кулиш В.В. Метод оцінки теплового потоку, що випромінюється еліпсоїдом як факелом полум'я. – Харків: ХІПБ МВС України, 2000. – 114 с.