

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛУЧИСТОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ «ТЕПЛОИСТОЧНИК-УКРЫТИЕ»

*Петраш В.Д.*

В статье изложена методика расчета результирующего теплового потока, учитывающая конструктивные особенности укрытий для интенсивного охлаждения горячих поверхностей теплоисточников в разрабатываемых системах теплоэнергосбережения

Теплоэнергетическая эффективность разрабатываемых укрытий теплоисточников с интенсивным охлаждением поверхности для последующего использования утилизируемой теплоты во многом определяется величиной теплостоков через поверхность кожуха укрытия в окружающую среду.

Схема процесса лучистого теплообмена на внутренней поверхности теплоукрытия, а также между смежными поверхностями в системе «теплоисточник-укрытие» представлена на рис. 1.

Из общего лучистого потока,  $q_{\text{пад}}$ , поступающего с поверхности теплоисточника, согласно принятой схемы распределения излучения [1,2,3], часть его,  $q_{\text{погл}}$ , поглощается поверхностью укрытия. Остальная часть,  $q_{\text{отр}}$ , отражается с собственным,  $q_{\text{соб}}$ , излучением, образуя совместный поток эффективного,  $q_{\text{эф}}$ , излучения.

Результирующий тепловой поток,  $q$ , для серых тел представляет разность потоков поглощенного и собственного излучения, поэтому его зависимость можно представить в виде

$$q_p = q_{\text{погл}} - q_{\text{соб}} = \varepsilon q_{\text{пад}} - \varepsilon q_0, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  - интегральный коэффициент теплового излучения облучаемого тела;

$q$  - плотность излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup>.

Результирующее излучение представляет так же разность противонаправленных потоков поступающего и эффективного излучения:

$$q_p = q_{\text{пад}} - q_{\text{эф}}. \quad (2)$$

На основании равенств (1) и (2) определяется зависимость для эффективного излучения серого тела

$$q_{\text{эф}} = q_0 + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) \cdot q_p. \quad (3)$$

При обширном многообразии геометрических конфигураций укрываемых теплоисточников представляется целесообразным установить влияние расчетно-конструктивных параметров на особенности лучистого теплообмена для наиболее характерных цилиндрических форм в замкнутой системе «теплоисточник - укрытие», рис.1. Теплоисточник и кожух с цилиндрическими поверхностями разделены лучепрозрачной средой, характеризующиеся параметрами на их поверхностях соответственно  $A_2, \epsilon_2, \varphi_{2-1}; A_1, T_1, \epsilon_1, \varphi_{1-2}, D_1$ .

Результирующее излучение на поверхность укрытия  $A_1$  представляет собой

$$Q_{p1} = Q_{\text{пад}} - Q_{\text{эф1}} \quad (4)$$

Для стационарных условий замкнутой системы с учетом свойств взаимности результирующие потоки излучения теплоисточника и укрытия равны по абсолютному значению и противоположны по знаку, т.е.  $Q_{p1} = -Q_{p2}$ . Поэтому выражение (4) приобретает вид

$$Q_{p1} = (q_{02} A_2 \varphi_{2-1} - q_{01} A_1 \varphi_{1-2}) / \left[ 1 + \varphi_{1-2} \left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \varphi_{2-1} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

Плотность излучения для поверхностей теплоисточника и укрытия по закону Стефана-Больцмана с учетом коэффициента излучения абсолютно черного тела можно представить в виде

$$q_{01} = y_0 T_1^4; \quad q_{02} = y_0 T_2^4 \quad (6)$$

где  $\sigma_0$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела, равен  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Подставив эти выражения в уравнение (5) с учетом свойств взаимности в рассматриваемой системе, после преобразований зависимость для определения результирующего потока излучения приобретает окончательный вид

$$Q_{p1} = y_{\text{пр}} A_1 (T_2^4 - T_1^4) \quad (7)$$

Принимая во внимание зависимость приведенного коэффициента излучения  $\sigma_{\text{пр}} = \sigma_0 \epsilon_{\text{пр}}$ , приведенная степень черноты представляется зависимостью

$$\epsilon_{\text{пр}} = 1 / \left[ \left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \frac{1}{\varphi_{1-2}} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

Практическое определение  $\varepsilon_{np}$  по этой зависимости осложняется нахождением коэффициента облученности  $j_{1-2}$ , поэтому с учетом свойств взаимности после замены соотношения поверхностей укрытия и теплоисточника через их диаметры, а также учитывая что теплоисточник с выпуклой поверхностью  $A_2$  находится внутри укрытия, и вся энергия его излучения поступает на поверхность  $A_1$ , т.е.  $j_{2-1} = 1$ , поэтому вышеприведенная зависимость упрощается до окончательного вида

$$\varepsilon_{np} = 1 / \left[ \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{D_1}{D_2 \varepsilon_2} - 1 \right] \quad (9)$$

Для оценки влияния конструктивных параметров на эффективность процесса лучистого теплообмена анализируемой системы в качестве примера по уравнению (9) была принята степень черноты для окисленной стали на поверхности теплоисточника  $\varepsilon_2 = 0,8$ , а для изготовления укрытия с внутренней поверхностью рассмотрены варианты окисленной стали,

цинкованного железа и полированного алюминия соответственно  $\varepsilon_1 = 0,8$ ; 0,23 и 0,05.

На рис.2. представлены графики, построенные по уравнению (9) для вышеуказанных условий и реального соотношения диаметров поверхностей укрытия и теплоисточника.

### Выводы

1. На эффективность лучистого теплообмена соотношение диаметров поверхностей рассматриваемой системы может быть значимым только для укрытий с высоким значением степени черноты его внутренней поверхности. Вместе с тем укрытия с низким значением степени черноты независимо от соотношения диаметров укрытия и теплоисточников позволяют многократно снизить результирующий лучистый поток на него.

2. Изменение зазора между укрытием и теплоисточником относительно рациональной его величины по теплогидравлическим условиям может рассматриваться как конструктивный вариант малозначимого снижения лучистого потока, прежде всего для укрытий с высоким значением степени черноты его внутренней поверхности. Отметим, что этот вариант также связан с повышенной материалоемкостью укрытия. Кроме того снижение воздействия лучистого потока на поверхность укрытия а также последующего его перехода в трансформируемом виде в окружающую среду, можно достичь при соответствующем устройстве укрытий с улучшенными

отражательными свойствами внутренней поверхности.

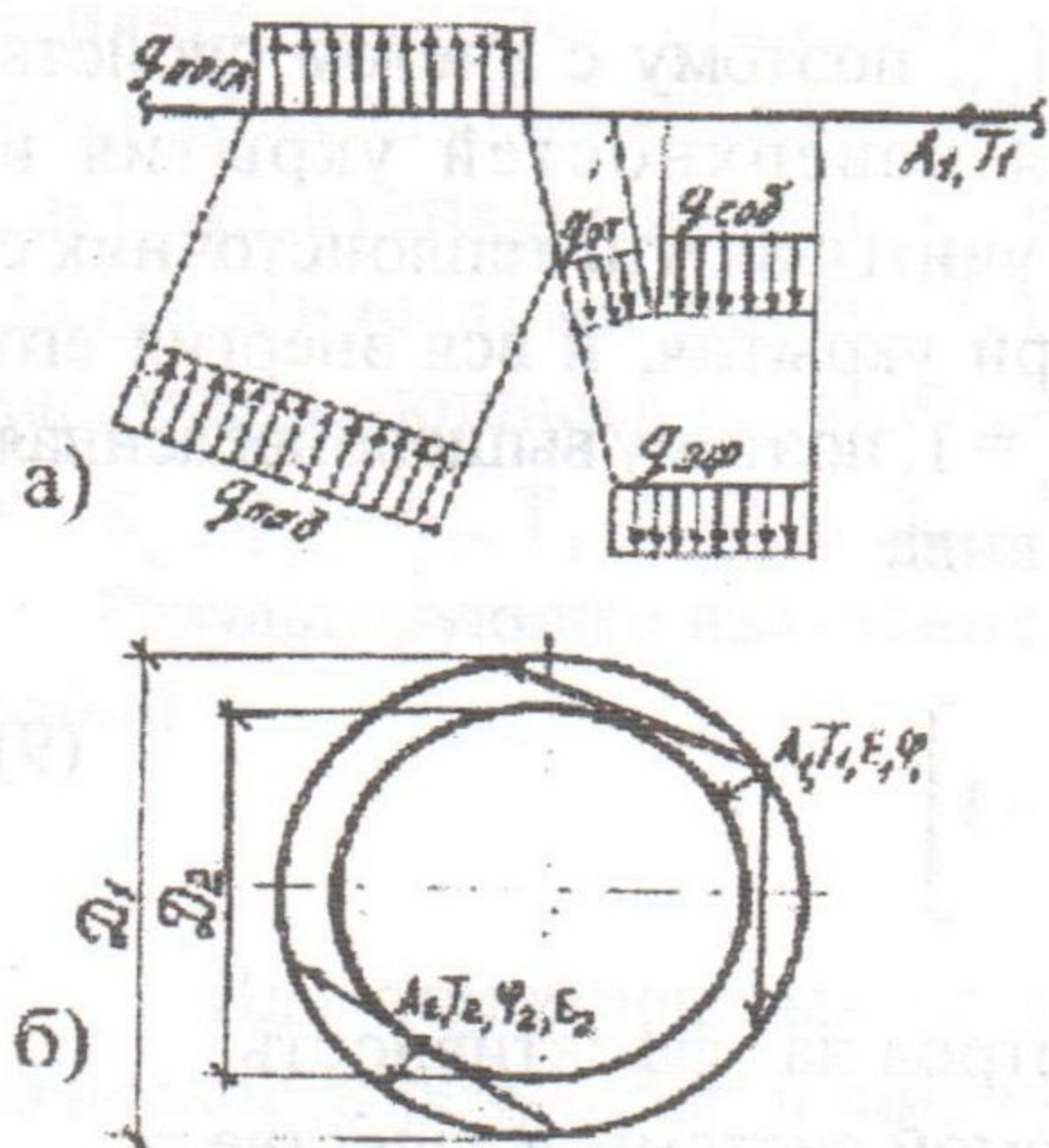


Рис1. Схема лучистого теплообмена в системе «теплоисточник-укрытие»:  
 а) распределение лучистых потоков на поверхности укрытия;  
 б) взаиморасположение поверхностей и их характеристики

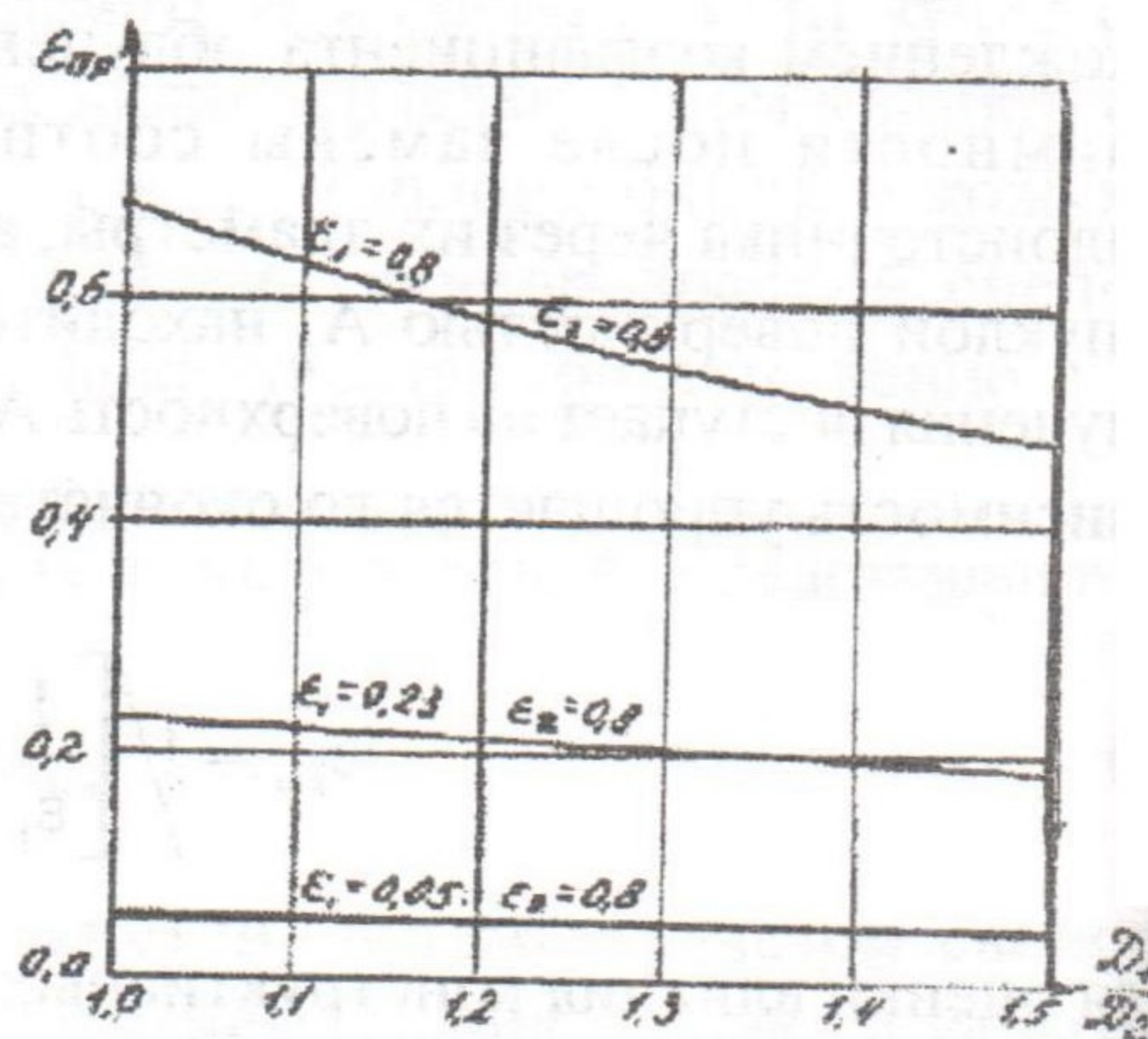


Рис2. Зависимость приведенной степени черноты от соотношения диаметров поверхностей укрытия и теплоисточника

### Литература

- 1.Блох А.Г. Основы теплообмена излучением. М.: Госэнэргоиздат. 1962
- 2.Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. Л.: Энергия 1971
- 3.Русин С.П., Пелецкий В.Э. Тепловое излучение полостей М.: Энергоатомиздат 1987