

ев, Ю.К. Диденко, В.С. Карачевцев и др. — Теплоэнергетика, 1976, № 6, с. 23—26. 3. Ахмедов Р.Б. Дутьевые газогорелочные устройства. — М., 1970, с. 263. 4. Шагалова С.Л., Шницер И.Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. — Л., 1976, с. 172.

УДК 621.187.3

Г.И.Жихар, Н.Б.Карницкий

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА

В работе [1] предложен метод расчета температуры по наружному периметру трубы, покрытой равномерным слоем золы, с учетом ряда отраженных потоков. Используя этот метод, при помощи ЭВМ можно определить среднюю температуру поверхности загрязненной трубы, а по ней — собственное излучение. Однако этот метод сложен.

В работе [2] сделана попытка упростить метод расчета, но это резко уменьшает точность полученных результатов.

В настоящей работе предлагается достаточно простой и точный способ определения температуры экранных труб, загрязненных равномерным слоем золы.

Температура загрязненной стенки в произвольной точке окружности трубы определяется по формуле [2]

$$T_3 = T_0 + (q_{\text{пад}} \varphi_{\Sigma} a - 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot T_3^4 \varphi_{\Sigma}) \epsilon, \text{ К}, \quad (1)$$

где T_0 — температура жидкости в экранных трубах, К; $q_{\text{пад}}$ — тепловой поток, падающий на плоскую поверхность, параллельную осям труб, кВт/м²; ϵ — коэффициент загрязнения, м² К/Вт.

Выражение в скобках представляет собой удельное тепловосприятие трубы на участке ds , определяемое угловым коэффициентом φ_{Σ} , который рассчитывается по методу, изложенному в [2]. Первый член этого выражения — собственное излучение трубы.

Выражение (1) записано в предположении, что тепловое сопротивление считается равномерным по периметру трубы, поверхность загрязняющего слоя принимается серой, растечка тепла по окружности не принимается во внимание. При вычислении собственного излучения от экранных труб учитывается только один отраженный поток тепла — от обмуровки. При этом принимается одинаковый угловой коэффициент от всех участков обмуровки на факел. Последнее условие обычно соблюдается в котлах с обмуровкой, опирающейся на каркас. В современных парогенераторах обмуровка ближе прилегает к трубам, но при этом шаги экранных труб настолько ма-

лы, что доля тепла, приходящегося на обмуровку, невелика и неточность учета ее мало скажется на конечных результатах.

Сделав математическое преобразование, приведем уравнение (1) к виду

$$T_3^4 + T_3 b - c = 0. \quad (2)$$

Здесь

$$b = \frac{1}{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot a \cdot \varphi \Sigma \epsilon}; \quad (3)$$

$$c = \frac{q_{\text{пад}} \varphi \Sigma a \cdot \epsilon + T_0}{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot a \cdot \varphi \Sigma \epsilon}. \quad (4)$$

Решая уравнение (2), отбросив два мнимых и один отрицательный ко-

рень, получим при $D = -\frac{b^4}{256} + \frac{c^3}{27} > 0$

$$T_3 = -0,5\sqrt{2x} + \sqrt{\frac{b}{2\sqrt{2x}}} - 0,5x, \quad (5)$$

где

$$x = \sqrt[3]{\frac{b^2}{16} + \sqrt{\frac{b^4}{256} + \frac{c^3}{27}}} + \sqrt[3]{\frac{b^2}{16} - \sqrt{\frac{b^4}{16} + \frac{c^3}{27}}}. \quad (6)$$

Для примера рассчитано распределение температур по полуокружности загрязненной золой трубы при $T_0 = 573$ К с термическим сопротивлением $\epsilon = R = 0,0086 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$, $a = 0,9$ и $q_{\text{пад}} = 348,9 \text{ кВт/м}$ при разных $\frac{s}{d}$.

Результаты расчета представлены на рис. 1. Кривые 2, 4, 6 на этом рисунке заимствованы из работы [3] и рассчитаны на ЭВМ при тех же исходных данных, что и кривые 1, 3, 5, но с учетом влияния вторых и третьих отраженных тепловых потоков. Как видно из рис. 1, кривые, рассчитанные по методике [1, 3] и по формуле (5), практически совпадают на дуге окружности от 0 до $\frac{\pi}{2}$ и только от $\frac{\pi}{2}$ до π наблюдается небольшое расхождение.

Средняя температура загрязненной стенки определялась по формуле

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} T_i \quad (7)$$

где T_i — температура в i -ой точке на окружности трубы.

Средняя температура загрязненной стенки трубы при $\frac{s}{d} = 1,1$ по кривой 1 без учета вторых и третьих отраженных потоков составляет 979 К, а по кривой 2 — 1013 К.

Расхождение между средней температурой загрязненной стенки составляет 34 К. При $\frac{s}{d} = 1,75$ средняя температура T_3 по методике [1, 3] составляет 1246 К, а по формуле (5) – 1245 К, а при $\frac{s}{d} = 2,5$ соответственно – 1332 К и 1334 К, т.е. погрешность составляет 1–2 К.

Как видно из рис. 1, с увеличением $\frac{s}{d}$ при одинаковых условиях кривые лучше согласуются и погрешность резко уменьшается.

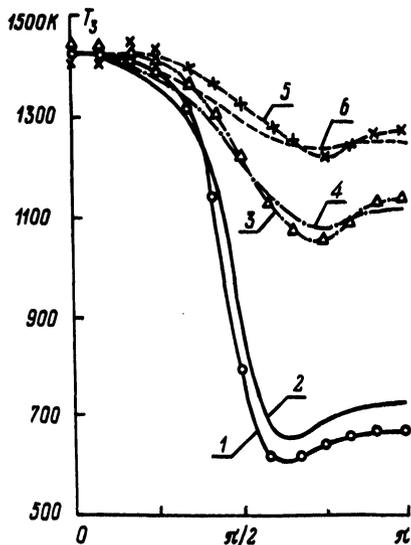


Рис. 1. Распределение температур по полуокружности загрязненной трубы в зависимости от $\frac{s}{d}$ ($q_{\text{пад}} = 348,9 \text{ кВт/м}^2$):
1, 3, 5 – соответственно $\frac{s}{d} = 1,1; 1,75;$
2, 5 по предлагаемой методике; 2, 4, 6 – соответственно $\frac{s}{d} = 1,1; 1,75; 2,5$ по методике [1,3].

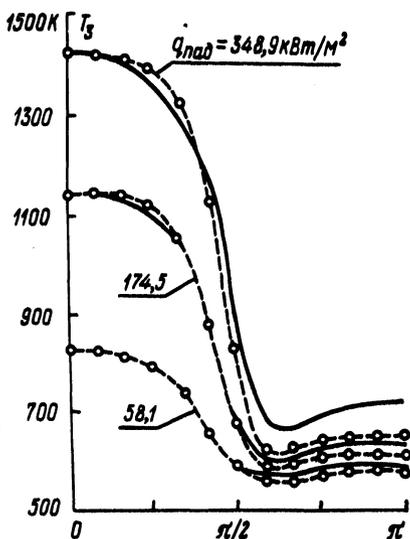


Рис. 2. Распределение температур по полуокружности загрязненной трубы в зависимости от $q_{\text{пад}} = (\frac{s}{d} = 1,1)$:
сплошная линия – методика [1, 3];
2 – штриховая – предлагаемая методика.

На рис. 2 представлены расчетные кривые распределения температур по полуокружности загрязненной золой трубы при $\frac{s}{d} = 1,1$ и разных тепловых потоках. Как видно из рис. 2, кривые, рассчитанные по методике [1, 3] и по формуле (5), хорошо согласуются и средняя температура T_3 по методике [1, 3] при $q_{\text{пад}} = 348,9 \text{ кВт/м}^2$ составляет 1013 К, а по формуле (5) – 979 К, т.е. расхождение равно 34 К, а при $q_{\text{пад}} = 174,5 \text{ кВт/м}^2$ средняя температура соответственно равна 840 К и 828 К, т.е. расхождение сос-

тавляет 12 К. При тепловом потоке $q_{\text{пад}} = 58,1 \text{ кВт/м}^2$ средняя температура загрязненной стенки трубы T_3 , рассчитанная по методике [1, 3] и по формуле (5), сближается и соответственно составляет 678 К и 674 К, т.е. расхождение равно 4 К. Сравнивая рассчитанные кривые при $\frac{s}{d} = 1,1$ и разных тепловых потоках видно, что с уменьшением тепловых потоков кривые лучше согласуются и расхождение резко уменьшается. Отсюда следует, что расчет температуры загрязненной стенки без учета вторых и третьих отраженных потоков не приводит к существенной погрешности, но при этом очень сильно упрощает расчеты и позволяет определить T_3 без использования ЭВМ, для которых необходимо составлять алгоритм.

В работе [2] было предложено для расчета T_3 уравнение (1) заменить уравнением

$$T_3 = T_0 + \epsilon \alpha q_{\text{л}}, \quad (8)$$

где α — коэффициент, определяемый по графикам, которые построены для определенных условий; $q_{\text{л}}$ — воспринимаемый тепловой поток, отнесенный к единице эффективной лучевоспринимающей поверхности.

Как видно из формулы (8) для нахождения T_3 необходимо определить $q_{\text{л}}$ экспериментально или по формуле

$$q_{\text{л}} = q_{\text{пад}} a_{\text{эф}} - q_{\text{соб}}. \quad (9)$$

При определении $q_{\text{л}}$ по (9) необходимо найти $q_{\text{соб}}$ из выражения [2]

$$q_{\text{соб}} = \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot a \cdot \pi}{\epsilon \cdot \frac{s}{d}} \int_0^4 T_3^4 \varphi \Sigma \, d\alpha. \quad (10)$$

Следовательно, для определения $q_{\text{соб}}$ уже необходимо знать T_3 , которое можно приблизительно заимствовать из табл. 1 работы [2]. Если при расчете условия будут отличны от тех, для которых приведены значения T_3 , то это приводит к существенной погрешности.

Для примера рассчитана средняя температура T_3 по формуле (5) и по приближенной зависимости (8) при следующих условиях: $q_{\text{пад}} = 348,9 \text{ кВт/м}^2$; $\epsilon = R = 0,0043 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $T_0 = 600 \text{ К}$; $\frac{s}{d} = 1,1$; $a = 0,75$.

Средняя температура по формуле (5) при данных условиях составила 870 К, а по приближенной зависимости (8) соответственно 1146 К. Погрешность составляет 276 К. Эта погрешность будет еще большей, если при определении $q_{\text{соб}}$ взять T_3 и α при условиях отличных, хотя и близких от тех условий, при которых T_3 и α приводятся в работе [2].

Следовательно, попытка в работе [2] уравнение (1) заменить упрощенной зависимостью (8), хотя немного и упростила расчеты, но снизила точность полученных результатов. Предлагаемая зависимость (5) для опреде-

ления температуры загрязненной стенки трубы, хотя и получена без учета влияния вторых и третьих отраженных тепловых потоков, позволяет с достаточной точностью и очень просто рассчитывать для любых условий температуру загрязненной стенки, а по ней собственное излучение. Сравнение результатов расчета, полученных по предлагаемому методу и по методу [1, 3], с учетом вторых и третьих отраженных тепловых потоков показало хорошую сходимость.

Л и т е р а т у р а

1. Г е л л е р З.И., К о в а л ь с к и й Е.В. О расчете коэффициента тепловой эффективности и загрязнении экранов. — Теплоэнергетика, 1966, № 3.
2. К а р а с и н а Э.С. К вопросу об учете загрязнения радиационных поверхностей нагрева. — Теплоэнергетика, 1968, № 6.
3. G e l l e r Z.I. and K o w a l ' s k y E.V. On temperature distribution over the external surface of Schreen tubes. — International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 9, 1964.

УДК 662.931 (088.8)

В.С.Северянин

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛОЕВОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Пульсирующее горение, как известно, реализуется при факельном сжигании. В разработке [1,2] показано, что такой автоколебательный процесс можно организовать и при слоевом сжигании. Явление пульсирующего горения — это модификация эффекта Рийке, который заключается в возбуждении звука нагретой докрасна сеткой, расположенной внутри вертикальной трубы на 1/4 высоты ее снизу. Частота колебаний газа (первая гармоника) в трубе определяется соотношением

$$f = \frac{c}{2L},$$

где c — скорость звука в трубе; L — ее длина. Амплитуда колебаний давления обусловлена геометрией и величиной переменного теплового потока от сетки к воздуху. В исследуемом процессе сетка заменена слоем горящего кускового твердого топлива, а сочетание слоевого горения с продольными колебаниями газа и есть слоевое пульсирующее горение.

Задача настоящих исследований заключалась в выявлении возможностей существования пульсационных режимов при конструктивных изменениях и режимных воздействиях с целью отработки топочного устройства.

Исследования проводились на трубах-топках диаметром 0,07; 0,1; 0,13; 0,35 м и длиной 1,7; 2,0; 3,0; 3,7 м. Колосниковые решетки изготавливались на листовой стали со сверлениями 0,004 — 0,008 м и в виде спирали из стальной проволоки. Трубы, как правило, устанавливались вертикально.