

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ФАКЕЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНОВКАХ ГОРЕЛОК НА СТЕНАХ ТОПОЧНЫХ КАМЕР КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

К.В. Осинцев

Рассмотрена модель топочного устройства с твердым шлакоудалением и различными схемами настенной компоновки горелок, используемая для оценки тепловых характеристик факела. Предложена методика пользования моделью.

Ключевые слова: котел, горелка, модель, методика.

Для проведения оценочных предварительных тепловых расчетов и обработки результатов исследований факельных процессов с использованием авторской модели [1] топочного устройства разработаны следующие методические рекомендации.

1. В тепловых расчетах используют средние значения температуры факела на выходе из зоны активного горения и в выходном окне топки $T_{а.г}''^{cp}$ и $T_{т}''^{cp}$ и степени выгорания топлива в тех же сечениях $a_{а.г}''$ и $a_{т}''$. Для оценки работоспособности топочных и пароперегревательных поверхностей нагрева определяют максимальные локальные значения $T_{ф0}^{max}$ и $T_{т}^{max}$.

2. Параметр $T''_{а.г.ср}$ определяется как средневзвешенный на двух участках факельного воспламенения и горения при уравновешенном теплоотводе.

Для фронтальной компоновки горелок:

$$T''_{а.г.ср} = \frac{T_{воспл}^{ср} l_{\phi} + T_{\phi 0} (C_{т} - l_{\phi})}{C_{т}}; \quad (4)$$

Для исследованной топки котла БКЗ-210-140Ф при сжигании угольной пыли и природного газа в вихревых и прямоточных горелках смешительного типа с $l_{\phi} \leq 0.5$ м параметр $T''_{а.г.ср} \approx 0.995 T_{\phi 0}$. Для топки того же котла с многофункциональными горелочными устройствами, размещаемыми на фронтальной стене с $l_{\phi} = 1.5 - 2.5$ м параметр $T''_{а.г.ср} \approx (0.94 - 0.97) T_{\phi 0}$.

Для встречной компоновки горелок:

$$T''_{а.г.ср} = \frac{T_{воспл}^{ср} 2l_{\phi} + T_{\phi 0} (C_{т} - 2l_{\phi})}{C_{т}}, \quad (5)$$

$$T''_{а.г.ср} = \frac{T_{воспл}^{ср} 2l_{\phi} + T_{\phi 0} (A_{т} - 2l_{\phi})}{A_{т}}. \quad (6)$$

Для топки котла БКЗ-210-140Ф при сжигании угольной пыли и газа в горелках смешительного типа, размещаемых встречно на боковых стенах $T''_{а.г.ср} \approx (0.990 - 0.995) T_{\phi 0}$; при использовании многофункциональных горелок $T''_{а.г.ср} \approx (0.91 - 0.96) T_{\phi 0}$.

Для тангенциальной компоновки горелок в общем случае:

$$T''_{а.г.ср} = \frac{T_{воспл}^{ср} (F_{т} - F_{\phi}) + T_{\phi 0} F_{\phi}}{F_{т}}. \quad (7)$$

При использовании авторских схем ввода реагентов с боковых стен сохраняется аналоговая запись $T''_{а.г.ср}$ по формуле (6) с заменой параметра l_{ϕ} на $l'_{\phi} \approx 0.5 l_{\phi}$; при $l_{\phi} \approx 2.5 - 4.5$ м значения параметра $T''_{а.г.ср} \approx (0.95 - 0.97) T_{\phi 0}$.

3. Анализ эффективности экранных поверхностей нагрева проводится с учетом поправки на неравномерность распределения температуры в поперечных сечениях топки:

$$T_{\phi 0}^{\max} = k_1 T_{\phi 0}, \quad (8)$$

где k_1 – коэффициент неравномерности, определяется по результатам термогазодинамических продувок, в частности для исследованного типа топки.

4. Средняя температура факела на выходе из зоны охлаждения (или на выходе из топки) $T''_{т.ср}$ определяется согласно методических рекомендаций.

5. Анализ работы пароперегревателя со стороны набегающего факела на загрязняемость проводится с учетом поправки на неравномерность распределения температуры по ширине и высоте выходного окна топки:

$$T_{\text{т}}''^{\text{max}} = k_2 k_3 T_{\text{т}}''^{\text{cp}}, \quad (9)$$

где k_2 – коэффициент неравномерности по ширине топки и выходного окна, k_3 – коэффициент неравномерности по высоте выходного окна. Для исследованного типа топок с фронтальной и встречной (котлы типа П-57, ПК-39) компоновками горелок используют максимальное $k_2 \approx 1.05$ и табулированные значения k_3 . Для других типов топочных камер и схем компоновки горелок и газоходов в отсутствии опытных данных $k_2 \approx 1.0$.

6. Коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 могут быть использованы в расчетах тепловосприятия экранов и пароперегревателя. В отсутствии иных опытных данных оценку максимальных удельных тепловосприятий радиационных настенных экранов и ширмовых пароперегревателей в выходном окне топочной камеры производят согласно рекомендаций.

7. В расчетах теплообмена в качестве степени выгорания топлива в выходном окне зоны активного горения следует принимать параметр $a_{\text{ф}}''$ в конце участка горения с условно постоянной температурой факела $T_{\text{ф0}}$. В оценочных расчетах в отсутствии опытных данных $a_{\text{ф}}'' \approx a_{\text{а.г}}''^{\text{н}}$, $a_{\text{т}}'' \approx a_{\text{т}}''^{\text{н}}$, выбираются согласно нормативной и методической документации [2]. Во всех вариантах ввода газоздушных реагентов в топку степень выгорания природного газа $a_{\text{т}}'' \approx 1.0$.

8. При проведении исследований в отсутствии прямых замеров радиационных потоков теплоты оценку коэффициента эффективности экранов $\Psi_{\text{с}}^{\text{а.г}} = \varphi_1(T_{\text{а.г}}''^{\text{cp}})$ в зоне активного горения и $\Psi_{\text{с}}^{\text{охл}} = \varphi_2(T_{\text{т}}^{\text{cp}})$ в зоне охлаждения можно производить расчетом, ориентируясь на опытные значения средней температуры $T_{\text{а.г}}''^{\text{cp}} = f(T_{\text{ф0}})$ и $T_{\text{т}}^{\text{cp}} = \varphi_3(T_{\text{а.г}}''^{\text{cp}}, T_{\text{т}}''^{\text{cp}})$ соответственно согласно рекомендациям [2].

9. В отсутствии опытных данных оценку параметра $T_{\text{ф0}}$ можно произвести с использованием стационарной модели теплового равновесия Я.Б. Зельдовича и Д.А. Франк-Каменецкого для элементарного линейного участка воспламенения газового пламени с границами $l - (l + dl)$:

$$dq_{\text{т}} = dq_{\text{в}}(T) + dq_{\text{н}}, \quad (10)$$

где $dq_{\text{т}}$ – тепловой поток в направлении поступления реагентной смеси, кВт, образующийся при наличии продольного температурного градиента $(T_{\text{ф0}} - T_0)$, К; $dq_{\text{в}}(T)$ – тепловыделение, кВт, генерирующее продольный температурный градиент $(T_{\text{ф0}} - T_0)$, К; $dq_{\text{н}}$ – теплота, необходимая для на-

грева смеси, кВт. Решение задачи по отысканию, в частности, температурного градиента $(T_{\text{ф0}} - T_0)$ или максимальной температуры факела $T_{\text{ф0}}$, при этом серьезно упрощается. Составляя баланс теплоты для участка факела с границами $l - (l + dl)$, необходимо учитывать реальные условия зажигания реагентной смеси и вносить поправки на дополнительные тепловые потери и теплоотвод:

$$dq_{\text{т}} = dq_{\text{в}}(T) + dq_{\text{доп}} - dq_{\text{экp}} - dq_{\text{п}} - dq_{\text{гр}}, \quad (11)$$

где $dq_{\text{доп}}$ – приток теплоты с подсветочным топливом, кВт; $dq_{\text{экp}}$ – отвод теплоты к экранам, кВт; $dq_{\text{п}}$ – затраты теплоты на нагрев непрореагировавшей части топлива и воздуха, кВт; $dq_{\text{гр}}$ – потери теплоты факела на нагрев газов рециркуляции, кВт.

После раскрытия и интегрирования всех членов уравнение (11) можно представить в удобной для инженерных расчетов форме [1]:

$$\lambda \frac{T_{\text{ф0}} - T_0}{l_{\text{ф}}} F_{\text{ф}} = a_{\text{ф}} Q_{\text{н}}^{\text{п}} B_{\text{п}} + Q_{\text{н доп}}^{\text{п}} B_{\text{п доп}} - \sigma a_{\text{т}} T_{\text{ф0}}^4 \sum_{i=1}^{i=n} (\Psi_i F_i)_{\text{а.г}} - c_{\text{гр}} (T_{\text{ф0}} - T_0) \cdot (1 - a_{\text{ф}}) B_{\text{п}} - c_{\text{рв}} (T_{\text{ф0}} - T_0) \rho_0 \nu_0 \left[(1 - a_{\text{ф}}) + (\alpha - 1) \right] B_{\text{п}} - c_{\text{гр}} (T_{\text{ф0}} - T_0) \rho_{\text{г}} \nu_{\text{г}} r B_{\text{п}}, \quad (12)$$

где λ – условный коэффициент теплопроводности, кВт/(м·К), в проводимых исследованиях принимались опытные значения $\lambda \approx 1$ кВт/(м·К); T_0 – температура начальная, усредненная вдоль плоскости амбразур и поверхности экранов, в отсутствии опытных данных ориентировочно по приведенной выше таблице; $T_{\text{ф0}}$ – средняя температура факела смеси всех компонент в конце зоны воспламенения и условно постоянная на втором участке зоны активного горения, К; для топки с фронтальной компоновкой горелок $F_{\text{ф}} = H_{\text{а.г}} \cdot A_{\text{т}}$, м²; для топки со встречной компоновкой горелок $F_{\text{ф}} = H_{\text{а.г}} \cdot C_{\text{т}}$, м², где $H_{\text{а.г}}$ – высота зоны активного горения, м; $A_{\text{т}}$ – ширина камеры сгорания, м; $C_{\text{т}}$ – глубина камеры сгорания, м; $a_{\text{ф}}$ – интегральная степень выгорания топлива; $B_{\text{п}}$ и $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ – расход и теплота сгорания топлива на рабочую массу, кг/с и кДж/кг соответственно; $B_{\text{п доп}}$ и $Q_{\text{н доп}}^{\text{п}}$ – расход и теплота сгорания подсветочного топлива на рабочую массу, кг/с и кДж/кг; $\sigma = 5.7 \cdot 10^{-11}$ кВт/(м²·К⁴) – универсальная постоянная Стефана-Больцмана; $a_{\text{т}}$ – степень черноты факела, принимается согласно [2]; $\sum_{i=1}^{i=n} (\Psi_i F_i)_{\text{а.г}}$ – комплекс эффективной поверхности тепловосприятия зоны активного горения по нормативной методике теплового расчета, м²; член уравнения $c_{\text{гр}} (T_{\text{ф0}} - T_0) \cdot (1 - a_{\text{ф}}) B_{\text{п}}$ соответствует количеству теплоты, кВт, отбираемой из факела на нагрев непрореагировавшей части топлива $(1 - a_{\text{ф}}) B_{\text{п}}$, кг/с, член

уравнения $c_{\text{рв}}(T_{\text{ф0}} - T_0)\rho_0\nu_0\left[(1 - a_{\text{ф}}) + (\alpha - 1)\right]B_{\text{р}}$ – количество теплоты, кВт, отбираемой из факела на нагрев непрореагировавшей и избыточной части воздуха $\rho_0\nu_0\left[(1 - a_{\text{ф}}) + (\alpha - 1)\right]B_{\text{р}}$, кг/с; $c_{\text{рг}}(T_{\text{ф0}} - T_0)\rho_{\text{г}}\nu_{\text{г}}rB_{\text{р}}$ – количество теплоты, кВт, отбираемой из факела на нагрев газов рециркуляции в количестве $\rho_{\text{г}}\nu_{\text{г}}rB_{\text{р}}$, кг/с; $c_{\text{рг}}$, $c_{\text{рв}}$, $c_{\text{рг}}$ – теплоемкость топливного остатка, воздуха и газов рециркуляции при средней температуре на участке воспламенения $T_{\text{воспл}}^{\text{ср}}$ по (2), кДж/(кг·К); ν_0 , $\nu_{\text{г}}$ – объемы воздуха и продуктов сгорания, отнесенные к нормальным условиям и 1 кг топлива, $\text{нм}^3/\text{кг}$; ρ_0 , $\rho_{\text{г}}$ – плотность воздуха и продуктов сгорания при средней температуре на участке воспламенения $T_{\text{воспл}}^{\text{ср}}$ по (2), $\text{кг}/\text{нм}^3$.

Библиографический список

1. Управление тепловой структурой факела в топках котлов БКЗ-210-140Ф с одноярусной фронтальной компоновкой многофункциональных горелок при сжигании разнородного топлива / В.В. Осинцев, М.П. Сухарев, Е.В. Торопов, К.В. Осинцев // Теплоэнергетика. – 2005. – № 9. – С. 14–23.
2. Осинцев, К.В. Учет неоднородности и нестабильности тепловой структуры топчного факела при использовании многофункциональных горелок / К.В. Осинцев, В.В. Осинцев // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 66–70.