

О РАСЧЕТЕ КИНЕТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ВЫГОРАНИЯ

Е. А. КОНЬКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры котлостроения и котельных установок)

Горящий пылевоздушный поток, движущийся в цилиндрической трубе радиуса R , ограничим следующими условиями:

1) поток одномерный, ламинарный ($Re \ll 2000$);

2) движение потока равномерное ($T = \text{const}$);

3) скорость движения частиц по отношению к потоку равна нулю.

При таких условиях пылеугольный факел можно считать однородной системой и применять к нему метод комплексного исследования выгорания [1]. Кроме того, будем считать топливные частицы сферическими, а их выгорание происходящим по внешней геометрической поверхности.

Дифференциальное уравнение выгорания рассматриваемого потока

$$\frac{dG_T}{dx} = M \alpha c s, \quad (1)$$

где G_T — расход невыгоревшего топлива в сечении камеры горения (на единицу площади поперечного сечения камеры);

M — стехиометрический коэффициент;

c — концентрация кислорода в рассматриваемом сечении;

α — видимая константа скорости реакции;

s — реакционная поверхность в единице объема твердой фазы.

Очевидно, что при постоянном по длине реакционной трубки коэффициенте избытка воздуха, равном единице, количество невыгоревшего топлива пропорционально количеству неизрасходованного окислителя, т. е.

$$G_T = \omega c M, \quad (2)$$

где ω — скорость потока.

Подставляя значение G_T из (2) в (1), получим

$$\omega \frac{dc}{dx} = \alpha c s. \quad (3)$$

Интегрируя уравнение (3) при начальном условии

$$x = 0; c = c_0, \quad (4)$$

после потенцирования получим

$$c = c_0 \exp - \int_0^x \frac{\alpha s}{\omega} dx, \quad (5)$$

где c_0 — концентрация окислителя на входе в реакционную трубку
Величина

$$z = \int_0^x \frac{\alpha s}{\omega} dx \quad (6)$$

в общем случае есть функция большого числа переменных (кинетических, режимных и т. п.), вследствие чего интеграл (6) не берется в квадратурах.

Однако если принять для каждого из узких пределов выгорания

$$\alpha = \bar{\alpha} = \text{const}, \quad (7)$$

$$s = \bar{s} = \text{const},$$

где $\bar{\alpha}$ и \bar{s} — средние значения α и s — на рассматриваемом участке, то можно провести зональное интегрирование

$$z = \sum_{i=1}^n \int \frac{\bar{\alpha}_i s_i}{\omega} dx = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{\alpha}_i s_i}{\omega} (x_i - x_{i-1}). \quad (8)$$

Таким образом,

$$c_x = \frac{c}{c_0} = \exp - \sum_{i=1}^n \frac{\bar{\alpha}_i s_i}{\omega} (x_i - x_{i-1}). \quad (9)$$

В выражениях (7) — (9) и последующих i означает номер сечения в конце исследуемых участков выгорания, которых всего n .

Согласно α_i — формулы [2] при $\beta = 1$

$$\Omega = (1 - c_x), \quad (10)$$

где Ω — степень выгорания факела,
 β — коэффициент избытка воздуха.

Из (9) и (10) получаем для i -го участка выгорания

$$\ln(1 - \Omega_i) = \bar{\alpha}_i \bar{s}_i \tau_i = \alpha_{0i} \exp - \frac{E_i}{RT} \bar{s}_i \tau_i, \quad (11)$$

где $\tau_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{\omega}$ — время пребывания частиц на i -ом участке;

$(1 - \Omega_i) = 1 - \frac{c_{i-1} - c_i}{c_{i-1}}$ — степень недожога факела на этом участке.

Логарифмируя повторно уравнение (11), получаем окончательное выражение для определения кинетических констант для i -го участка

$$\ln \left[\frac{-(\ln 1 - \Omega_i)}{\bar{s}_i \tau_i} \right] = \ln \bar{\alpha}_{0i} - \frac{E_i}{RT}, \quad (12)$$

легко решаемое обычным графическим способом [3].

Приемом, аналогичным рассмотренному, можно получить расчетные соотношения и для случая $\beta \neq 1$. Нетрудно, например, показать, что в этом случае выражение для концентрации окислителя в произвольном

сечении реактора по сравнению с уравнением (5) видоизменяется следующим образом

$$c = \frac{c_0}{\beta} \exp - \int_0^x \frac{\alpha s \beta}{\omega} dx + \frac{c_0}{\beta} (\beta - 1). \quad (5')$$

Основное усложнение методики в данном случае связано с тем, что при этом коэффициент избытка воздуха является переменным по длине реакционной трубки. Это накладывает дополнительное условие на интегрируемость выражения (6)

$$\beta_i = \bar{\beta}_i = \text{const} \quad (7')$$

и практически связано с затруднениями при оценке величины Ω^i для различных участков.

Величина реакционной поверхности, входящая в уравнение (12), легко оценивается только в случае использования в качестве критерия реакционной способности коэффициента реакционного газообмена, так как в этом случае она условно принимается равной внешней геометрической поверхности частиц. При этом среднее значение величины реакционной поверхности на каждом из выжигательных участков можно находить линейной интерполяцией ее начального и конечного значений для соответствующего участка, так как зависимость поверхности от степени выгорания имеет вид полукубической параболы

$$s_z = s_0 \sqrt[3]{(1 - \Omega)^2}, \quad (13)$$

достаточно точно аппроксимируемой линейной зависимостью вплоть до весьма глубоких степеней выгорания (рис. 1).

Величина S_0 рассчитывается по начальному размеру частиц.

Выводы

1. Рассматривается методика расчета кинетических констант по данным исследования одномерного изотермического факела на различных стадиях выгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Канторович. Основы теории горения и газификации твердого топлива. Изд. АН СССР, М., 1958.
2. А. Б. Резняков. Горение пылеугольного факела как полидисперсной системы. Алма-Ата, 1958.
3. Г. М. Панченков и В. П. Лебедев. Химическая кинетика и катализ. Изд. МГУ, 1961.

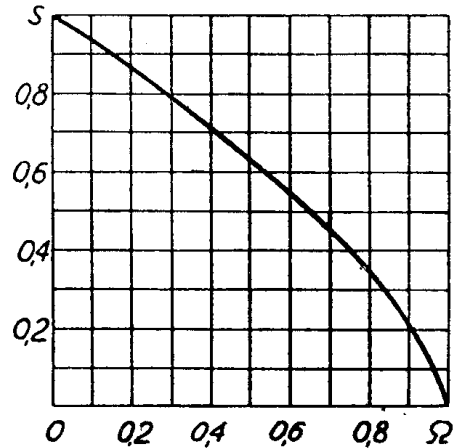


Рис. 1. Зависимость внешней поверхности топливных частиц от степени выгорания $\left(s = \frac{s_r}{s_0} = \sqrt[3]{(1 - \Omega)^2} \right)$