

СВЯЗЬ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ С АЭРО-ТЕРМОХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ТОПКЕ

Е.Е. Торопов

г. Челябинск, ЮУрГУ

Рассматриваются положения, позволяющие формализовать систему воздействий на процесс сжигания топлива по анализу продуктов сгорания и повысить эффективность использования топлива в тепловых агрегатах.

Управление эффективностью сжигания органического топлива в тепловых агрегатах обычно основано на анализе продуктов сгорания по содержанию монооксида углерода и избыточного кислорода. Однако при определении истинных причин появления как CO, так и неиспользованного в процессе сжигания топлива O₂, возникают различные варианты объяснения с привлечением того или иного механизма протекания топочных процессов. Неоднозначность диагностических выводов при анализе эффективности сжигания топлива связана со сложностью взаимосвязанных процессов в топочном объеме, так как рациональная организация процесса горения предполагает воздействие на аэродинамику, термохимию, теплообмен, перемешивание, воспламенение и выгорание топливных компонентов смеси. При этом, безусловно, должна быть обеспечена устойчивость работы топливосжигающих устройств относительно нестационарных процессов колебательного и апериодического характера, что связано с появлением режима пульсирующего горения или с перемещением корневых участков факела относительно плоскости ввода компонентов горения.

Разработка полной математической модели аэро-термохимических процессов (АТХ) при горении топлива – достаточно сложная задача, поэтому при расчете топков и тепловых агрегатов обычно идут по пути создания нормативных методик, в среднем удовлетворительно описывающих АТХ-процессы, с использованием модельных представлений и экспериментальных данных. При диагностике АТХ-процессов на работающих агрегатах могут оказаться полезными простые модельные соотношения, базирующиеся на теории горения топлива и теории подобия тепловых процессов [1].

В условиях полного адиабатного сгорания газовоздушной смеси температура t_a зависит от теплоты сгорания топлива Q_H^P и полной теплоемкости смеси, отнесенной к единице топлива $C_t = V_{\alpha} c_t$,

$$t_a = \mu_0 Q_H^P / C_t + t_{cm}, \quad (1)$$

максимум t_a достигается при полном тепловыделении от исходного содержания топлива; для промежуточного состояния, когда остаточное содержание горючего равно μ ,

$$t_a = (\mu_0 - \mu) Q_H^P / c_t + t_{cm}, \quad (2)$$

откуда можно получить

$$\frac{t_a - t_{cm}}{t_a - t_{cm} - \mu_0} = \frac{\mu}{\mu_0}; \quad (3)$$

при обозначении безразмерного температурного потенциала в пламени $\Theta = (t_a - t_{cm}) / (t_a - t_{cm} - \mu_0)$ и безразмерного потенциала горючего газа $M = \mu / \mu_0$

$$\Theta = M. \quad (4)$$

При выводе (1) принималось допущение, что объемное количество движущихся газов для исходной смеси, горящих газов и продуктов сгорания одинаково: $V_{cm} \cong V_{cm \rightarrow pc} \cong V_{pc}$, что также принималось для их теплоемкости c_t .

Справедливость допущения о неизменности объемного расхода газов в процессе горения, можно оценить, сравнив количество полученных в результате горения продуктов сгорания с количеством исходной смеси.

Количество продуктов сгорания определяется зависимостью

$$V_{pc} = \left[(l_1 Q_H^P - \Delta L) \alpha + \Delta S Q_H^P \right] B,$$

где $\Delta S = S_1 / Q_H^P - S_2$; Q_H^P – теплота сгорания топлива в МДж/м³; α – коэффициент расхода воздуха; l_1 , ΔL , S_1 , S_2 – табличные данные для конкретного вида топлива. Количество исходной смеси $V_{cm} = \left[(l_1 Q_H^P - \Delta L) \alpha + 1 \right] B$; взяв отношение

V_{pc} / V_{cm} и сократив расход топлива B , получим зависимость для оценки изменения объема газов при горении для нормальных условий:

$$V_{pc} / V_{cm} = 1 + (\Delta S Q_H^P - 1) / \left[(l_1 Q_H^P - \Delta L) \alpha + 1 \right].$$

Расчет по вышеприведенным соотношениям дает для доменного газа с $Q_H^P = 3,56$ МДж/м³ $V_{pc} / V_{cm} = -0,074$, для коксового газа с $Q_H^P = 16,75$ МДж/м³ (-0,098), для природного газа с $Q_H^P = 35,8$ МДж/м³ (± 0). Эти результаты можно легко объяснить химическими реакциями при гомогенном горении газовых смесей: при сгорании CO и H₂ из исходных трех молей компонентов горения в продукты сгорания переходят только два моля CO₂ и

H_2O , при сжигании CH_4 из исходных трех молей получаются три моля газообразных продуктов сгорания, то есть, количество газообразных компонентов не изменяется. Основной горючей составляющей доменного газа является CO , коксового – H_2 , природного – CH_4 .

Таким образом, можно заключить, что отклонение поля концентраций от температурного поля по причине изменения объемных расходов будет составлять для доменного газа – 7,4 %, для коксового – 9,8 % и для природного газа ± 0 %; для смесей этих газов отклонения полей концентраций можно определить по правилу аддитивности.

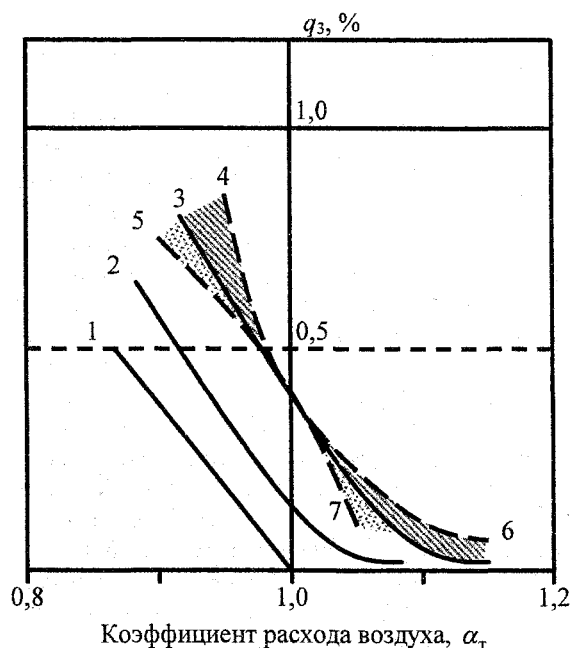
Распределение потенциала горючего газа $\mu = \mu_0 M = f(x)$ по продольной оси камеры сгорания x задается аэродинамическими принципами организации факельного процесса, в соответствии с этим достигается распределение температурного потенциала Θ ; фактическая температура в потоке газов будет зависеть от интенсивности отвода теплоты к стенам и тепловоспринимающим поверхностям агрегата, что можно выразить коэффициентом понижения потенциала $\alpha(x)$

$$\Theta = \alpha(x) \cdot M. \quad (5)$$

При задании различной интенсивности тепловыделения $\mu(x)$ и интенсивности охлаждения потока газов $\alpha(x)$ необходимо рассчитать координату сечения, где температура станет ниже температуры воспламенения $t < t_{вос}$; если в этом сечении $\mu(x) > 0$, то в камере сгорания создаются условия для химической неполноты горения. В этом случае в продуктах сгорания могут появляться CO и неизрасходованный O_2 . Следует отметить, что, строго говоря, понятие температуры $t_{вос}$ относится к самовоспламенению неподвижной топливовоздушной смеси в емкости постоянного объема, но и для движущегося диффузионного факела это понятие дает возможность определить некоторые границы процесса. Аналогично определяются и другие условия химического недожога; эти варианты изображены на рисунке, где для различных условий сжигания изображены потери от химической неполноты сгорания q_3 , %, в зависимости от коэффициентов расхода воздуха α_T , подаваемого в топку.

Последовательно на рисунке показаны: кривая 1, соответствующая идеальным условиям сжигания стехиометрической смеси горючего газа с воздухом; кривая 2 – для реальных процессов достаточно высокой степени организации процесса АТХ; кривая 3 соответствует неудовлетворительным условиям организации процесса АТХ. Отклонение кривой 3 вверх, на место кривой 4, свиде-

тельствует об ухудшении условий смешения газа с воздухом при $\alpha_T < 1,0$; отклонения же вниз, на место кривой 5, свидетельствует об интенсификации процесса в этой области. Аналогично объясняется перемещение кривой 3 на позиции 6 и 7 при $\alpha_T > 1,0$. В соответствии с этим выводами принимаются решения о совершенствовании процессов АТХ в области кривых 4 и 6 с помощью изменения интенсивности закручивания потоков, изменения сечений, подачи острого дутья и т.д. [2].



Зависимость потерь с химическим недожогом q_3 от коэффициента расхода воздуха α_T

Изложенные выше положения позволяют разграничить данные по составу продуктов сгорания по возможным причинам неудовлетворительной организации процесса горения и формализовать систему воздействий на процесс сжигания топлива по анализу продуктов сгорания, что позволяет повысить эффективность использования топлива в тепловых агрегатах.

Литература

1. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987.
2. Торопов Е.Е., Панферов В.И. Диагностические особенности анализа процессов горения// В кн.: Создание и внедрение корпоративных информационных систем на промышленных предприятиях Российской Федерации. – Магнитогорск, 2005. – С. 208–210.

Торопов Евгений Евгеньевич – окончил Южно-Уральский государственный университет в 2004 г., аспирант кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция», ЮУрГУ.