

Исследование процессов сжигания природного газа с использованием методов математического моделирования

Конарева Н.В. (ЭНМ-09м)*

Донецкий национальный технический университет

Задача сокращения расхода энергоносителей на получение тепловой и электрической энергии стоит весьма остро для каждого предприятия в любой отрасли промышленности и сельского хозяйства. Проблемой является повышение экономичными способами температуры в факелах и одновременное увеличение светимости продуктов горения, рациональное сжигание природного газа. Один из важных вопросов – интенсификация процесса горения – решается различными путями, но наиболее перспективен метод воздействия электрического поля на пламя. Достаточно эффективным направлением исследований по совершенствованию тепловых агрегатов и процессов горения в них следует считать применения методов математического моделирования.

Основанное на физических законах, описывающих процессы аэродинамики и теплообмена, моделирование дополняет традиционные, часто эмпирические, методы расчета происходящих процессов. Совместное использование математического моделирования, физического эксперимента и натуральных испытаний дает возможность получить наиболее полную и достоверную информацию об объекте исследования. При моделировании топочных процессов основное внимание необходимо уделять либо аэродинамическим и теплообменным процессам с рассмотрением упрощенной кинетики, либо рассмотрению подробного механизма кинетики процесса горения.

Анализ экспериментальных и математических методик исследования горения природного газа применительно к высокотемпературным процессам при различных условиях его сжигания позволил установить следующее.

В продольном сечении как свободно горящий, так и закрытый факел, могут иметь вид криволинейной трапеции, которая ограничена непрерывной кривой $y = f(x)$. Объем такого факела при круглом выходном сечении горелочного сопла можно рассматривать как объем тела, образованного вращением трапеции вокруг оси Ox . Поперечными сечениями будут круги с радиусами, равными модулю ординаты y вращающейся кривой. Следовательно, формулы площади сечения $\pi \cdot y^2 = \pi \cdot [f(x)]^2$ и объема тела вращения

$$V_{\phi} = \pi \cdot \int_0^{l_{\phi}} [f(x)]^2 \cdot dx = \pi \cdot \int_0^{l_{\phi}} y^2 \cdot dx \quad (1)$$

можно использовать при расчетах, но при этом должны быть известны функции $y = f(x)$ применительно к факелу.

Упрощенно указанные типы факелов можно представить в виде усеченного прямого конуса, расширяющегося от сопла горелки на угол раскрытия фа-

* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Гридин С.В.

кела φ_n и распространяющегося по осевой линии сопла на длину факела l_ϕ , а зону воспламенения - в виде круглого прямого конуса с основанием, равным диаметру канала горелочного сопла в выходном сечении d_0 , и высотой, равной длине зоны воспламенения газовой среды l_b . Исходя из геометрических построений зон факела с учетом приближенного подобия формы факелов, для расчета их основных параметров рекомендуется использовать следующие формулы:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot l_\phi}{3} \cdot \left[0,75 + 1,5 \cdot \frac{l_\phi}{d_0} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_n}{2} + \left(\frac{l_\phi}{d_0} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_n}{2} \right)^2 \right], \quad (2)$$

$$V_\epsilon = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot l_\phi}{12}, \quad (3)$$

$$F_\phi = \frac{\pi \cdot l_\phi}{\cos \frac{\varphi_n}{2}} \left(d_0 + l_\phi \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_n}{2} \right), \quad (4)$$

$$F_\epsilon = 0,5 \cdot \pi \cdot d_0 \cdot (0,25 \cdot d_0^2 + l_\epsilon^2)^{0,5}, \quad (5)$$

$$Q_{zc} = Q_n^p \cdot w_c \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d_0^2, \quad (6)$$

$$H_{\phi z} = \frac{Q_{zc}}{11 \cdot (V_\phi - V_\epsilon)}, \quad (7)$$

$$u_\epsilon = \frac{1}{F_\epsilon} \cdot w_c \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d_0^2, \quad (8)$$

$$u_c = \frac{1}{F_\phi} \cdot w_c \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d_0^2, \quad (9)$$

где V_ϕ - общий объём факела (с ядром), м³; V_ϵ - объём ядра факела, м³; $(V_\phi - V_\epsilon)$ - объём горячей части факела, м³; F_ϕ - площадь боковой поверхности факела (образуемой по углу раскрытия факела), м²; F_ϵ - площадь боковой поверхности ядра факела (площадь поверхности воспламенения газовой смеси в факеле), м²; Q_{zc} - тепловая нагрузка факела, Дж/с; $H_{\phi z}$ - тепловое напряжение объёма горячей части факела, Дж/(м³·с); u_ϵ - сравнительная скорость воспламенения газовой смеси в факеле, м/с; u_c - сравнительная скорость сгорания газов в факеле, м/с.

Вместе с тем, в настоящее время еще не существует достоверного математического аппарата, описывающего причины и условия возникновения различных конфигураций пламени при организации процесса горения в котельных установках с использованием дополнительного электрофизического воздействия. Все это вызывает необходимость проведения дальнейших исследований в данной области.