

Рис. 3. Зависимость амплитуды пульсаций перемещения газа от относительной площади зеркала горения

Потери в слое изменяются за счет увеличения или уменьшения количества, диаметра и длины трубок горелки, при этом происходит уменьшение или увеличение площади зеркала горения. При изменении площади зеркала горения изменяется амплитуда пульсаций смещения газа, которая в основном зависит от изменения амплитудного значения давления. На основе зависимостей количества воздуха, поступающего для горения, и расхода топлива с учетом результатов анализа изменения амплитуды пульсаций перемещения газа получено выражение для нахождения оптимальных геометрических размеров горелки в данном топочном устройстве.

УДК 662.613.5.002.631

Горбачева М.Г.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОКИСЛОВ АЗОТА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССАХ

Окислы (оксиды) азота являются одним из вредных компонентов атмосферного воздуха. Предельно допустимая концентрация (ПДК) этих соединений составляет 0.25 мг/м³, что существенно ниже других опасных загрязнителей воздуха (СО, Н₂S и т.д.) [1]. Поэтому совершенство топочных процессов, которые являются основным поставщиком окислов азота в атмосферу, оцениваются величиной выброса их из топочных устройств.

Пульсирующее горение – один из видов нестационарных топочных процессов, позволяет снизить выход NO_x в ряде случаев на порядок [2]. Однако аналитического описания причин этого явления в обозримой литературе не имеется. Приводятся такие факторы, как снижение коэффициента избытка воздуха, снижение температуры реагирования, времени пребывания компонентов в зоне реакции, интенсивная турбулизация, снижение парциального давления кислорода во фронте горения, высокая равномерность температурных и концентрационных полей.

В работе [3] впервые при анализе образования окислов азота в пламени был изучен временной фактор и сделан очень

Это формула для определения значения относительного зеркала горения (относительное зеркало горения – это отношение значения действительного зеркала горения для рассматриваемой конструкции горелки к максимальному, т.е. площади поперечного сечения трубы):

$$S_{32}^{om} = \frac{1}{\frac{V_2}{V_6^{max}} \cdot K \cdot S_{32}^{max} + 1}$$

где S₃₂^{om} – относительное зеркало горения; S₃₂^{max} – максимальное зеркало горения, м²; V₆^{max} – максимальный расход воздуха, м³/час; K – поверхностная скорость горения топлива, кг/(м²·час); V₂ – объем газов на 1 кг топлива при 760 мм.рт.ст. и 0 °С, м³/кг.

Таким образом, приведенное выражение является уравнением для определения оптимальных геометрических размеров горелки в данном топочном устройстве. Его целесообразно использовать при проектировании конкретных устройств, использующих процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива. Теоретически полученное значение относительного зеркала горения горелки для разработанного водонагревателя составляет S₃₂^{om}=0.724. Исследования на экспериментальной установке показали диапазон оптимального значения S₃₂^{om} в пределах 0.7...0.8.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. V.S. Severyanin. Layer pulsating combustion. contributed papers of 6 international symposium on combustion processes. Karpacz 1979 – С. 109.
2. Новосельцев В.Г. Процесс слоевого пульсирующего горения. Вестник БГТУ. №2, 2002. - С. 14-16.

важный вывод: учет времени достижения равновесной концентрации дает еще большую зависимость выхода окислов азота от температуры. Этот вывод основан на общеинтегральных соотношениях, поэтому требуется более подробный анализ, учитывающий не только вышеупомянутую временную характеристику (время достижения равновесной концентрации), но и влияние амплитуд и частот колебаний температуры.

В продуктах сгорания топлив больше всего содержится оксида азота NO [4]. В образовании окислов азота может участвовать как азот воздуха, так и азот содержащийся в топливе в связанном состоянии; при этом механизм образования окислов азота в пламени различен. "Воздушные" окислы азота зависят в основном от температуры: окисление азота начинается с температур 1500 – 1700 К, а наиболее интенсивно – выше 2200 К [4].

Реакция имеет цепной характер [4]:



Горбачева Мария Григорьевна. Доцент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017. г. Брест, ул. Московская, 267.

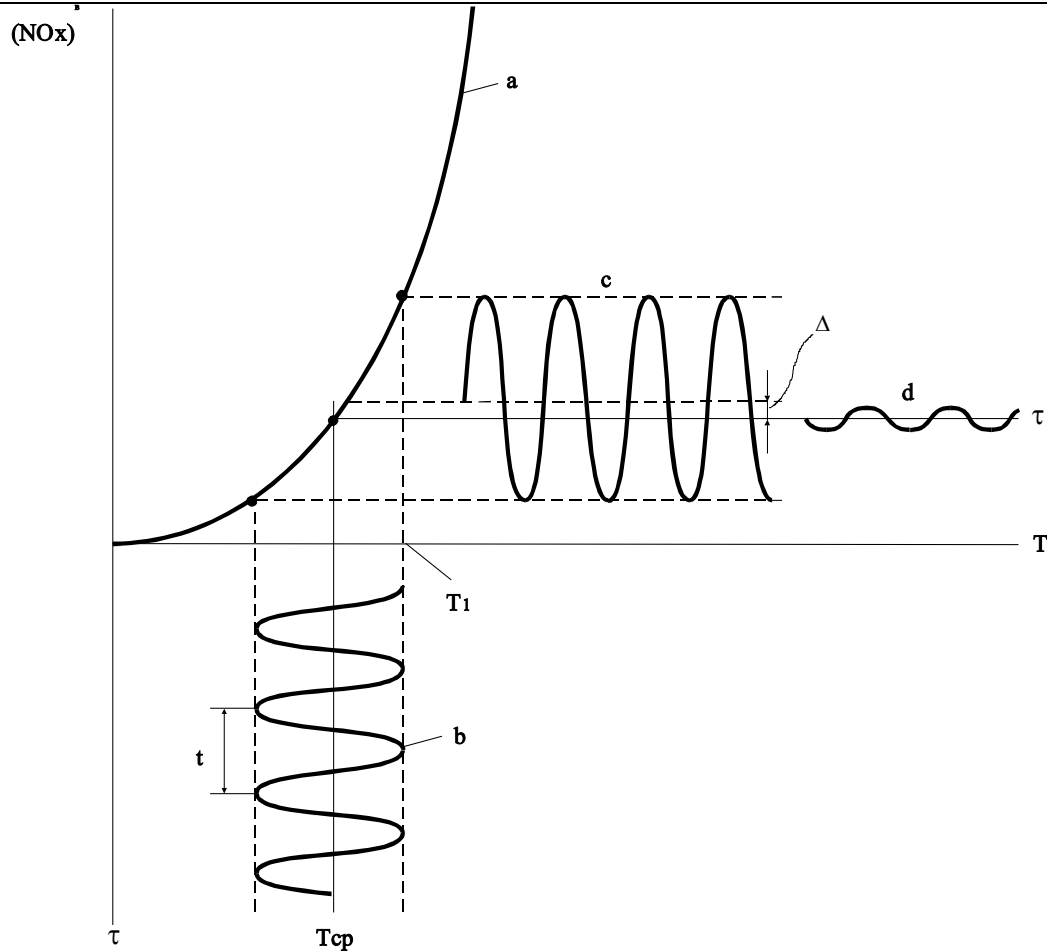


Рис. 1. "а" – экспонента по уравнению (9); "b" – Изменение температуры T по времени τ ; "с", "d" – изменение NO_x^g во времени при изменении T

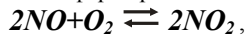


Реакция (1) – самая энергоемкая, она определяет генерацию NO_x в целом. Через промежуточные радикалы CH , HCN , CN (богатые углеродные смеси) образуются так называемые "быстрые" оксиды азота, образующиеся в предпламенной зоне. Доля таких оксидов незначительна [4].

"Топливные" оксиды азота образуются легче и быстрее, чем "воздушные". Их содержание обусловлено общим количеством азота в топливе и типом пламени. Для таких топлив как бензин, керосин, соляр, газ их доля мала.

При недостатке кислорода содержание NO уменьшается, при большом избытке – снижается, т.к. уменьшается температура. Поэтому снижение выхода азота и повышение качества горения одновременно – задачи противоречивые, усложняющие проектирование и эксплуатацию конкретных топочных устройств.

В окружающей атмосфере происходит доокисление азота



эта реакция малоэнергоемка и происходит при низких температурах.

Таким образом, анализ может быть основан на изучении образования "воздушных" оксидов азота. Как известно, их концентрация определяется теорией академика Я.Б. Зельдовича:

$$(NO_x)^g = 1.53 \frac{\tau_p}{\tau_{NO}^p} (NO)^p, \quad (4)$$

$$(NO)^p = 4.6 \cdot 10^3 \sqrt{C_{N_2} C_{O_2}} \exp\left(\frac{-10860}{T}\right), \quad (5)$$

$$\tau_p = \frac{\Delta T}{T_a - T''} \left(\frac{qp}{300}\right)^{0.5} \tau_{np}, \quad (6)$$

$$\tau_{NO}^p = 2.43 \cdot 10^{-2} \exp\left(\frac{27200}{T}\right) - 10.5, \quad (7)$$

$$\tau_{np} = l / W_{cp},$$

где $(NO)^p$ – равновесная концентрация NO ; τ_p – время реагирования компонентов в зоне горения; τ_{NO}^p – время достижения равновесной концентрации; τ_{np} – время пребывания газов в реакционной зоне; l – длина факела, принимаемая равной длине топки; W_{cp} – средняя скорость газов в факеле; ΔT – температурный интервал образования оксидов азота; T_a – адиабатная температура горения; T'' – температура газов на выходе из топки; q – тепловая форсировка сечения топки; p – периметр топки; C_{N_2} – концентрация азота в топке; C_{O_2} – концентрация остаточного кислорода в пламени.

Тогда:

$$(NO_x)^e = 1.53 \frac{\frac{\Delta T}{T_a - T^H} \left(\frac{qp}{300}\right)^{0.5} \frac{l}{W_{cp}}}{2.43 \cdot 10^{-2} \exp\left(\frac{27200}{T} - 10.5\right)} \times \\ \times 4.6 \cdot 10^3 \sqrt{C_{N_2} C_{O_2}} \exp\left(\frac{-10800}{T}\right)$$

или

$$(NO_x)^e = K \frac{\Delta T}{T_a - T^H} \cdot \frac{l}{W_{cp}} \times \\ \times (qp)^{0.5} \sqrt{C_{N_2} C_{O_2}} \exp\left(10.5 - \frac{38060}{T}\right), \quad (8)$$

где K – численный коэффициент.

При изменяющейся температуре примем постоянными все остальные факторы, тогда

$$(NO_x)^e = A \cdot \exp\left(10.5 - \frac{38060}{T}\right). \quad (9)$$

Если температура во времени изменяется с периодом t , можно предположить наличие зависимостей согласно рис. 1.

Если температура колеблется относительно T_{cp} , то при $\tau_{NO}^p \ll t$ будет средний рост $(NO_x)^e$ на Δ , т.к. прирост функции при положительном росте аргумента больше, чем ее снижение – при отрицательном [5]. При этом учитывается тот факт, что при снижении температуры продукты реакции остаются на прежнем уровне.

УДК 539.3

Веремейчик А.И.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Случаи точного решения системы уравнений, описывающей процессы распространения тепла в твердых телах, довольно редки, ввиду сложного нелинейного характера. Точные решения важны сами по себе, поскольку позволяют описать отдельные тепловые явления. Кроме того, они могут быть использованы для апробации различных численных методов, являясь тестовыми задачами. Применение классических методов математической физики [1] (метод разделения переменных, метод продолжения, применение интеграла Фурье и т.д.) эффективно лишь при решении дифференциальных уравнений с простой геометрией границы области. Широко распространение при решении задач теплопроводности получили приближенные аналитические методы: методы последовательных приближений, интегральные методы, асимптотические методы и др., которые позволяют с достаточной точностью решать нелинейные уравнения.

Рассмотрим реализацию интегрального метода на решение нестационарной задачи теплопроводности. Пусть произ-

Если же $\tau_{NO}^p \gg t$, то $(NO_x)^e$ будут изменяться по условию "d" на рис. 1 (Δ ничтожно мал), т.к. изменения концентраций не будут успевать за изменением температур.

Отсюда можно сделать вывод: чтобы не допустить повышения содержания окислов азота в продуктах сгорания топлива, колебания температуры должны происходить с большей частотой. Такие частоты (десятки герц, при этом $t = 0.01 - 0.02$ с) как раз характерны для устройств пульсирующего горения [2].

Из рис. 1 так же видно, что в области малых температур амплитуды изменения температур влияют на генерацию $(NO_x)^e$ сильнее (функция $(NO_x)^e = f(T)$ изменяется интенсивнее), чем при высоких температурах, где эта функция более линейна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Н.В. Лавров и др. Процессы горения топлива и защита окружающей среды. М.: Металлургия, 1981, 103-105 с.
2. М.Г. Горбачева. II международный симпозиум по пульсирующему горению. Изв. ВУЗов. Энергетика, № 3, 1983, 118-119 с.
3. М.Г. Горбачева, Северянин В.С. О снижении выхода окислов азота при пульсирующем горении. Энергетика, № 1, 1987, 77-79 с.
4. В.Е. Алемасов и др. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках. – М.: Химия, 2000, с. 520.
5. В.С. Северянин. Способ энергетического воздействия. Изобретатель, № 6, 2002. Заявка № 20020047.

водится нестационарный нагрев пластины конечной толщины. Пластина прогревается с одной стороны, с другой теплоизолирована. Вводим понятие теплового слоя $\Delta(t)$ как некоторой области, внутри которой происходят все тепловые явления, вне этого слоя сохраняется начальная температура. Задача описывается одномерным ДУ теплопроводности [2]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

и граничными условиями третьего рода

$$\text{при } y = 0 \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{cp} - T),$$

$$\Delta(t) < l: \quad x = \Delta(t); T = T_0, \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\Delta(t) = l: \quad x = l; \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0,$$