BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 1991-3494
Volume 3, Number 361 (2016), 23 – 26

CALCULATION OF SUPPRESSION BY FORMATION OF NITROGEN OXIDES EXPANSION OF THE EXPONENTIAL

D. Zh. Temirbaev, B. Ongar*

*Almaty University of Power Engineering & Telecommunications.
E-mail: Ongar_bulbul@mail.ru

Keywords: yield nitrogen oxide combustion mode, the oxygen concentration of air excess coefficient, the reaction rate of the reaction.

Abstract. In this article, the output of the nitrogen oxide is determined by the concentration of oxygen, the technical gases combustion mode, the temperature and residence time of the gases at these temperatures. Experiments showed that the actual oxygen concentration depends on the air excess coefficient.

At temperatures below to 1800^0C and at the constant value of excess air ratio of atomic concentration of oxygen in the flame remains in the virtually constant, whereas the concentration of nitric oxide at various temperatures can be determined by the values of constant speed and the conventional time reaction.

УДК 662.76 (574.25)

РАСЧЕТ ПОДАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОКИСЛОВ АЗОТА МЕТОДОМ РАЗЛОЖЕНИЯ ЭКСПОНЕНТЫ

Д. Ж. Темирбаев, Б. Онгар Булбул*

*Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: выход окиси азота, режим сжигания, концентрация кислорода, коэффициент избытка воздуха, время реакции скорость реакции.

Аннотация. В работе выход окиси азота определяется концентрацией кислорода, режимом сжигания технических газов, температурой, а также временем пребывания газов при этих температурах. Эксперименты показывают, что действительная концентрация кислорода зависит от коэффициентов избытка воздуха.

При температурах ниже 1800 ^{0}С и постоянном значении коэффициента избытка воздуха концентрация атомарного кислорода в пламени практически остается постоянной, тогда концентрацию окиси азота при различных температурах можно определить по величинам постоянной скорости и условного времени реакции.

Одним из основных вредных компонентов техногенной деятельности является оксиды азота – NO_X. При этом основная доля их приходится на топливо использующие установки. По данным разных авторов, до 70-80 % приходится на долю энергетики, до 17 % - на автотранспорт, до 6 % - черная металлургия, до 2 % - химическая промышленность, остальное – нефтеперерабатывающая и другие отрасли.

Для правильной выработки путей и методов по снижению этих выбросов необходимо четко понимать механизм образования оксидов азота и степень влияния состава органического топлива, условий и режимов его сжигания на их уровень [1].

В представлении линейности процесса, концентрацию NO можем определить в виде как в [2]:

$$C_{NO} = \frac{dC_{NO}}{d\tau}\tau_{NO}, \quad (1)$$

где $dC_{NO}/d\tau$ - скорость образования окиси азота при максимальной температуре факела T_m; τ_{NO} - условное время реакции, с.

Условное время определяется как время изменения температуры от T_m до $T = T_m - \Delta T$, за счет предварительного охлаждения получаемых продуктов в системе очистки или за счет известного метода РЦГ в зоне горения [2]. Это уменьшение температуры согласно разложения экспоненты Аррениуса $w \sim exp(-E/RT)$ в ряд ($|x| < \infty$):

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \ldots \frac{x^n}{n!} + \ldots \tag{2}$$

принимается в виде

$$\Delta T = \frac{RT_m^2}{E_{NO}} \text{ (так, что, если } \frac{x}{1!} = \frac{\Delta e^x}{e^x}\text{, то } \frac{\Delta T}{T_m} = \frac{RT_m}{E_{NO}}\text{)}, \tag{3}$$

где R - универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); E_{NO} - энергия активации реакции, кДж/моль.

Условное время реакции в [2] оценивается с учетом размеров топки и реального температурного уровня в ней с помощью уравнения теплообмена в топке методом равенства убыли энтальпии потока и теплового потока излучениям (закон Стефана-Больцмана)

$$-B\upsilon_Г c_Г dT = \sigma_0 a_T T^4 dH, \tag{4}$$

где B – расход топлива, кг/с; $v_Г$ - удельный объем продуктов сгорания, м^3/кг; $c_Г$ – теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(м^{3}К); σ_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, кВт/(м^{2}К^4); a_T – степень черноты топки; H – радиационная поверхность нагрева, м^2.

Изменение поверхности нагрева представляется в виде

$$dH = \Pi w d\tau, \tag{5}$$

где Π – периметр топки, м; w – скорость газов в топке, м/с.

Скорость газов в топке оценивается с учетом температурного изменения объема продуктов сгорания в виде:

$$w = \frac{B\upsilon_Г T}{FT_H}, \tag{6}$$

где F - площадь поперечного сечения топки, м^2; $T_H = 273\ K$ - температура при нормальных условиях.

Подставляя (2.10) и (2.11) в (2.9), находим

$$-B\upsilon_Г c_Г dT = \sigma_0 a_T T^4 \frac{\Pi d\tau B\upsilon_Г T}{FT_H} \frac{dT}{d\tau} = -AT^5, \tag{7}$$

где $A = \sigma_0 a_T \Pi / c_Г F T_H$ - параметр уравнения.

Полученное дифференциальное уравнение (7) представляет собой скорость охлаждения продуктов сгорания в топке. Сравнение (7) с экспери-ментальными данными, как это отмечается в [2], дает близкое совпадение.

Условное время из (7) определяется в виде

$$\tau_{NO} = -\int_{T_m}^{T} \frac{dT}{AT^5} = \int_{T}^{T_m} \frac{dT}{AT^5} = \frac{1}{AT^4}\Big|_{T}^{Tm} = \frac{T_m^4 - T^4}{4AT_m^4 T^4}, \tag{8}$$

где $T = T_m - \Delta T$.

Если реакцию образования окислов азота представить в виде

$$N_2 + 2O = 2NO, \tag{9}$$

то скорость реакции можно представить по закону действующих масс в виде

$$\frac{dC_{NO}}{d\tau} = kC_O^2 C_{N_2}, \tag{10}$$

где k - постоянная скорости реакции; C_O, C_{N2} - концентрации атомов атамарного кислорода и молекулярного азота в пламени.

Выход окиси азота определяется температурой, концентрацией кислорода, а также временем пребывания газов при этих температурах [3].

При кинетических режимах сжигания технических газов с высокой теплотой сгорания образование окислов азота происходит после выгорания большой части горючего. В этом случае образование NO зависит от концентрации кислорода и азота в продуктах сгорания. Время достижения равновесной концентрации NO_p, согласно [2], описывается уравнением:

$$[\tau_{NO}] == \frac{2.06 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{N_2}} \cdot e^{\frac{107500}{RT_m}},$$

где T_m - максимальная температура, К ;

Для реальных топочных температур время достижения равновесных концентраций сильно зависит от температуры. Такая зависимость показана на рисунке 1.

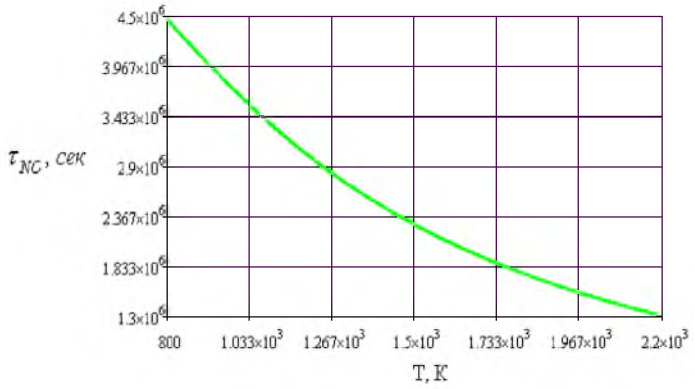

Рисунок 1 – Зависимость времени достижения равновесия от температуры

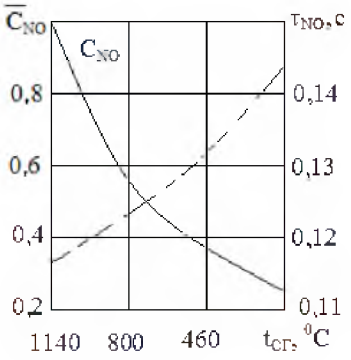

Рисунок 2 – Относительная концентрация окиси азота взависимости температуры

Особую трудность представляет вычисление концентрации атомарного кислорода, так как в пламени действительные концентрации атомарного кислорода и водорода, а также гидроксила значительно превышают значения, найденные по условию термодинамического равновесия. Различия между действительными и равновесными их значениями оказываются тем больше, чем ниже температура пламени.

Специальные опыты покызывают, что ниже 2000 °С температура слабо влияет на действительную концентрацию атомарного водорода, которая остается постоянной, а его равновесная концентрация с понижением температуры резко уменьшается. Это положение распространяется и на концентрацию атомарного кислорода, поскольку концентрации данных радикалов изменяются взаимно.

Эксперименты покызывают, что действительная концентрация радикалов зависит главным образом от коэффициентов избытка воздуха. Поэтому можно считать, что при максимальной температуре 1500-1800°С и постоянном значении коэффициента избытка воздуха концентрация атомарного кислорода в пламени практически остается одинаковой. Это позволяет определять относительную концентрацию окиси азота при различных температурах сборосных газов по значению постоянной скорости и величине условного времени реакции в виде

$$C_{NO} = kC_O^2 C_{N_2} \frac{T_m^4 - T^4}{4AT_m^4 T^4}. \quad (11)$$

Теоретическая формула проверена экспериментально на ПГ БКЗ-320-140 ГМ Энгельской ТЭЦ-3 в опытах с РЦГ в воздушные короба перед горелками при сжигании природного газа [4]. Расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 8 % (рисунок 2).

Показано, что концентрация окиси азота, образовавшейся в топке ПГ при снижении температуры сбросных газов с 1140 до 120 ^{0}С, уменьшается почти в 5 раз (рисунок 2).

Выводы:

1. Рассчитана зависимость времени установления равновесия концентрации атомарного кислорода от температуры.

2. Установлена изменение концентрации окиси азота от температуры топке ПГ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Пугач Л.И.. Энергетика и экология: Учебник. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003. –504 с.

[2] Андрющенко А.И., Попов А.И. Основы проектирования энерготехнологических установок электростанций. – М.: ВШ, 1980. – 240 с.

[3] Енякин Ю.П., Котлер В.Р, Бабий В.И. и др. Работы ВТИ по снижению выбросов оксидов азота технологическими методами // Теплоэнергетика. – 1991. – № 6. – С. 33-38.

[4] Гиль А.В., Заворин А.С., Красильников С.В., Обухов С.В., Старченко А.В. Исследование аэродинамики и горения в топке котла БКЗ-420-140 и применительно к вариантам замещения проектного топлива // Энергетика. – 2006. – С. 175-181.

REFERENCES

[1] Pugach L.I. Energy and Ecology: Textbook. Novosibirsk: Publishing house of NSTU, 2003. 504 p.

[2] Andryushchenko A.I., Popov A.I., Basics of power technology and power plants projects. M.: Higher School, 1980. 240 p.

[3] Enyakin Y.P., Kotler V.R., Babiy V.I ., and others., The works of VTI to reduce emissions of nitrogen oxides technological methods. Thermal Engineering, 1991, № 6, p. 33-38.

[4] Gil A.V., Zavorin A.S., Krasilnikov S.V., Obukhov S.V., Starchenko A.V. The study of aerodynamics and combustion in the furnace of the boiler BKZ-420-140 and applied to project fuel substitution options. Energy, 2006, p. 175-181.

ЭКСПОНЕНТТЕРДІ ЫДЫРАТУ ӘДІСІМЕН АЗОТ ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ ТҮЗІЛУІН БАСУЫН ЕСЕПТЕУ

Д. Ж. Темирбаев, Б. Оңғар Бұлбұл*

*Алматы Энерғетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

Түйін сөздер: азот қышқылының шығуы, жану режимі, ауаның артылу коэффициенті, реакция уақыты, реакцияның жылдамдығы.

Аннотация. Жұмыста азот қышқылының шығуы оттегінің шоғырлануымен, техникалық ғаздардың жану режимімен, температурамен, сондай-ақ осы температурада ғаздардың пайда болу уақытымен анықталады. Эксперименттер оттегінің нақты шоғырлануы ауаның артылу коэффициентіне тәуелді екенін көрсетеді.

1800°С-тен төмен температурада және ауаның артылу коэффициентінің мәні тұрақты болғанда жалында атом оттегінің шоғырлануы тұрақты болып қалады, онда әртүрлі температурада азот қышқылының шоғырлануын реакцияның тұрақты жылдамдығы және шартты уақытымен анықтауға болады.

Поступила 05.05.2016 г.