

кий Л.А. Окисление азота при горении. - М.-Л.: АН СССР, 1947. - 157 с. 3. Северянин В.С., Вербя М.И. Конвективный теплообмен в устройствах пульсирующего горения. - В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск: Высшая школа, 1980, вып. 7, с. 58-61. 4. Кацнельсон Б.Д., Таракановский А.А. Исследования сжигания жидкого топлива в пульсирующем потоке. - В сб.: Высокофорсированные огневые процессы. М.-Л.: Энергия, 1967, с. 9-16. 5. Северянин В.С. О нагревателях с пульсирующим горением. - Изв. вузов. Энергетика, 1974, № 5, с. 9-13.

УДК 662.96:621.311.22.001

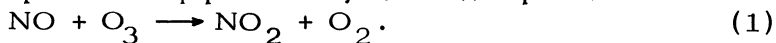
М.А.Маркевич, инженер, В.Н.Альшевский, инженер
(ВНИПИэнергопром)

ВЛИЯНИЕ ОЗОНА НА КОНВЕРСИЮ NO В NO_2 В ДЫМОВОМ ФАКЕЛЕ ТЭС

В процессе сжигания органического топлива в топках энергетических котлов образуются окислы азота. При этом на выходе из дымовой трубы основная часть окислов азота находится в форме NO и лишь 1-8% в виде двуокиси азота [1]. По мере рассеивания дымовых газов, выходящих из дымовой трубы ТЭС, происходит химическое взаимодействие отдельных компонентов между собой и с атмосферным воздухом, в результате чего некоторые загрязняющие вещества, в том числе и NO_2 , формируются в атмосферном воздухе. Действующими в СССР санитарными нормами регламентируется только приземная концентрация двуокиси азота, предполагая, что вся окись азота превращается в NO_2 [2]. Для оценки реальной экологической нагрузки в зоне максимальных приземных концентраций необходимо знать истинное соотношение NO и NO_2 , так как двуокись азота обладает большей токсичностью и реакционной способностью по сравнению с окисью азота.

Кинетика окисления NO в NO_2 молекулярным кислородом при непрерывном разбавлении дымовых газов окружающим воздухом рассмотрена в [3]. Было показано, что по мере достижения факелом зоны максимальных приземных концентраций степень перехода NO в NO_2 за счет молекулярного кислорода незначительна. Натурные исследования по составу дымового факела

ла [4–7] показали, что существенную роль в доокислении NO в NO₂ играет атмосферный озон, т. е. идет реакция



В условиях темновых часов суток (ночи) подмешивание новых порций окружающего воздуха в дымовой факел служит единственным источником пополнения озона. Время исчезновения озона в ядре факела оценивается всего в несколько секунд [8], что говорит о быстрой скорости взаимодействия атмосферного озона с окисью азота дымового факела. В [8] отмечается, что дефицит озона в ядре дымового факела от мощной тепловой электростанции наблюдается на большом расстоянии от дымовой трубы.

Нами сделана попытка оценить изменения концентрации окиси азота по оси дымового факела с учетом его степени разбавления воздухом и протекания химической реакции окиси азота с озоном, поступающим в ядро факела в результате его разбавления. На основании этого анализа определена доля конверсии окиси азота в двуокись азота. Для анализа выбрана конкретная ТЭС мощностью 3200 МВт, на которой сжигается экибастузский уголь. Высота дымовой трубы 250 м. Концентрация окиси азота на выходе из дымовой трубы принята 500 ррт (625 мг/м³). Содержание озона в атмосферном воздухе принято равным 0,05 ррт. Скорость ветра на уровне среза дымовой трубы принята 10 м/с. Для решения поставленной задачи использован метод конечных разностей. Модель расчетной схемы показана на рис. 1. Путь распространения дымового факела до 30 км разбивается на отдельные участки. В конце каждого отрезка вычисляется концентрация окиси азота за счет разбавления дымового факела воздухом по зависимости, вытекающей из формулы Саттона:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{127L_0}{v \cdot x^2 + 127 \cdot L_0} \left(1 + e^{-\frac{4h^2}{c_z^2 \cdot x^{2-n}}} \right), \quad (2)$$

где C , C_0 – концентрация окиси азота в расчетной точке и на выходе из дымовой трубы соответственно, г/м³; L_0 – количество выбрасываемых газов из дымовой трубы, м³/с; v – скорость ветра, м/с; x – расстояние от основания дымовой трубы до расчетной точки, м; h – геометрическая высота дымовой трубы, м; c_z , n – коэффициенты, зависящие от метеорологиче-

ского состояния атмосферы. Нами выполнен анализ для условий устойчивого состояния атмосферы при небольшом температурном градиенте. Для этого случая $n = 0$, $c_z = 0,05$. Исходя из зависимости изменения концентрации окиси азота по оси факела (рис. 1, линия 1), полученной из выражения (2), определена

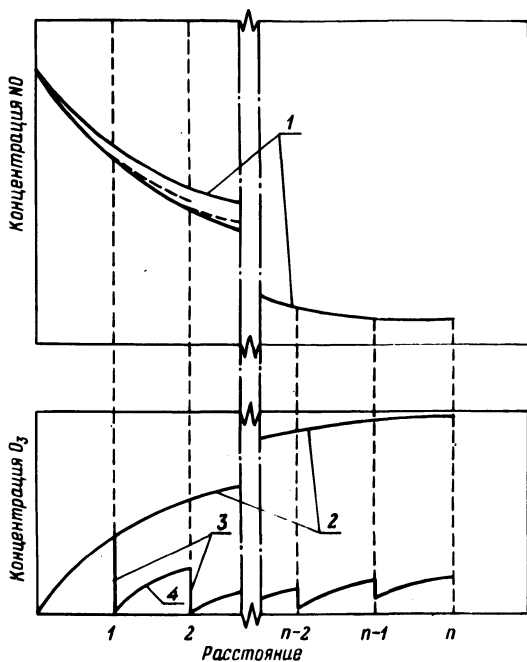


Рис. 1. Модель расчетной схемы изменения концентраций реагирующих веществ по оси дымового факела: 1,2 — соответственно изменение концентраций NO и O₃ по оси факела за счет разбавления; 3,4 — накопление и срабатывание озона на расчетном участке.

концентрация озона на оси факела при отсутствии химической реакции следующим образом:

$$C_{O_3} = C_{O_3}^{\text{фон}} (1 - K_{\text{исх}}), \quad (3)$$

где C_{O_3} — концентрация озона в расчетной точке; $C_{O_3}^{\text{фон}}$ — фоновая концентрация озона; $K_{\text{исх}}$ — отношение концентрации окиси азота в расчетной точке к концентрации ее на выходе из трубы.

Для принятых условий рассеивания дымовых газов при отсутствии химической реакции концентрация озона на оси факела (рис. 1, линия 2) практически достигла бы фоновой концентра-

ции на расстоянии одного километра (0,0486 ppm против фоновой 0,05 ppm).

В реальных условиях за счет протекания реакции окиси азота с озоном их концентрации будут иметь другие значения. Для расчета этих значений в принятой модели сделано допущение, что на расчетном участке за счет разбавления идет накопление озона, а в конце участка озон мгновенно срабатывается (рис. 1, линия 3) за счет реакции с NO, и его концентрация падает до нуля. На следующем участке снова идет накопление озона (рис. 1, линия 4), а в конце – мгновенное срабатывание. Концентрация озона на расчетном участке определялась из равенства

$$C_{O_3}^{уч} = C_{O_3}^{фон} (1 - K_{уч}), \quad (4)$$

где $K_{уч}$ – отношение концентрации окиси азота на оси факела в конце расчетного участка к концентрации в начале данного участка, изменяющихся за счет разбавления факела без учета химической реакции на участке.

Анализ кинетики химической реакции (1) показал, что допущение о полном срабатывании озона правомерно на участке до 5 км. Так, например, если рассмотреть участок 2–3 км, то при условии концентрации озона в начале участка, равной нулю, ее концентрация в конце данного участка составит 0,0141 ppm. По реакции (1) 99,7% этого количества озона сработается за 5 с против 100 с – времени прохождения факелом расстояния протяженностью 1 км. В случае, когда за время пребывания дымового факела в расчетном участке по реакции (1) срабатывается менее 95% озона, степень превращения NO в NO₂ на рассматриваемом участке рассчитывалась с учетом неполного срабатывания озона на предыдущем участке. Расчеты показали, что такое явление имеет место на расстоянии более 20 км от дымовой трубы при максимальной нагрузке и 10 км – при минимальной нагрузке. При проведении последовательного расчета всех участков оси дымового факела нами получено изменение концентрации окиси азота по всей длине факела и степень конверсии окиси азота в двуокись азота за счет реакции с озоном.

На рис. 2 показано изменение соотношения концентрации двуокиси азота к общему количеству окислов азота (NO + NO₂). Как видно из рисунка, на расстоянии максимальных приземных концентраций (4–6 км) по оси факела около 17% окиси азота переходит в двуокись азота при максимальной нагрузке ТЭС и 43% – при минимальной нагрузке. Полный переход окиси азота в двуокись азота происходит на значительном удалении от зоны

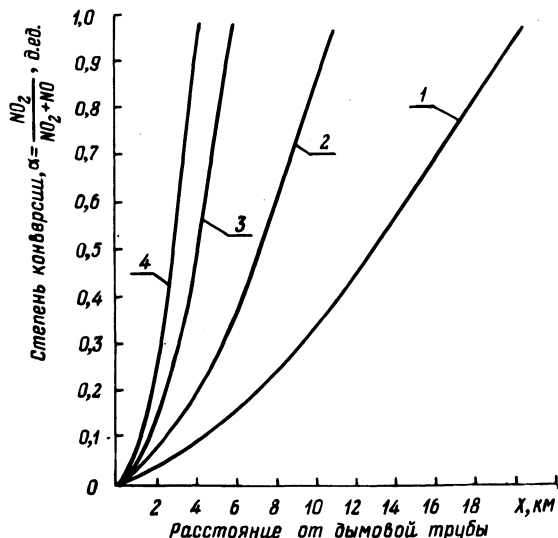


Рис. 2. Изменение степени доокисления NO в NO_2 по длине дымового факела: 1,2 — соответственно при номинальной нагрузке ТЭС и 35% $D_{НОМ}$ в ядре факела; 3,4 — то же, что 1 и 2 на половинном расстоянии между осью факела и его внешней границей.

максимальных приземных концентраций. В [3] отмечалось, что за счет окисления окиси азота атмосферным кислородом в зоне максимальных приземных концентраций в двуокись азота переходит около 3%. Следовательно, преобладающее влияние на конверсию окиси азота в двуокись оказывает реакция окисления озонном. В то же время проведенный анализ подтверждает необходимость корректировки определения экологической нагрузки ТЭС с учетом соотношения окиси азота и двуокиси в зоне максимальных концентраций и токсичности этих компонентов. Следует отметить, что изложенные в данной статье результаты относятся к оси дымового факела. В то же время по мере смещения от оси факела к его периферии вдоль поперечного сечения концентрация окиси азота падает, а озона возрастает. Следовательно, для точной оценки степени конверсии окиси азота в двуокись в заданном сечении следует учесть, что по сечению факела степень конверсии не остается постоянной: чем ближе рассматриваемая точка данного поперечного сечения к внешней границе дымового факела, тем выше степень конверсии окиси азота в двуокись.

Литература

1. Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н.Г.Залогина, Л.И.Кроппа и Ю.И.Кострикина. - М.: Энергия, 1979. - 352 с.
2. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН-245-71.
3. Ермаков В.С., Внуков А.К. О степени перехода монооксида азота в двуокись при рассеивании дымовых газов котлоагрегатов. - Электрические станции, 1978, № 1, с. 14-15.
4. Davis D.D., Smith G., Klauber G. Trace gas analysis of power plant plumes via aircraft measurement; O_3 , NO_x , SO_2 chemistry.—Science, 186 (1974), 733-736.
5. Hegg D. Reactions of ozone and nitrogen oxides in power plant plumes. - Atmos. Environ., 11 (N 6), 1977, 521-526.
6. White W.H. NO_x - O_3 photochemistry in power plant plumes; comparison of theory with observation. - Environ. Sci. and Technol., 11 (10), 1977, 995-1000.
7. Melo O.T., Lusia M.A., Stevens R.D.S. Mathematical modelling of dispersion and chemical reactions in a plume oxidation NO to NO_2 in the plume of a power plant. - Atmos. Environ., 12 (N 5), 1978, 1231-1234.
8. Сигал И.Я. Образование двуоксида азота при рассеивании дымовых газов. - Теплоэнергетика, № 11, 1980, с. 6-9.

УДК 62-50(0.75.8)

В.И.Литвинец, инженер, В.Б.Рубахин, канд. техн. наук,
С.А.Михаленок, инженер (БПИ)

МЕТОД СОПРЯЖЕНИЯ КОНТУРОВ ПРИ СИНТЕЗЕ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Практические опыт и исследование способов автоматизации технологического оборудования и взаимосвязанных производственных процессов показал, что в некоторых случаях для повышения качества поддержания основных технологических параметров целесообразно стремиться к достижению автономности локальных автоматизированных систем регулирования (АСР). Особенности осуществления автономности работы отдельных контуров посвящен ряд работ [1, 2].

Однако в [3, 4] отмечается, что автономность во многих случаях недопустима с точки зрения технологии процесса, и бо-