

УДК 519.6

Моргунов В.В., Шкилько А.М., Файнштейн А.Л.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ. СИСТЕМА N₂-NO

Введение

Очистка дымовых газов от оксидов азота и серы – насущная экологическая проблема. Решить эту проблему позволяет технология электронно-лучевой очистки (ЭЛО) дымовых газов. Преимущества технологии ЭЛО перед химическими очистками заключается в следующем: одновременная очистка дымовых газов от NO_x, SO₂, полиароматических углеводородов, летучих органических соединений; компактность; высокая степень очистки; в результате очистки дымовых газов получают сельскохозяйственные удобрения. Суть технологии ЭЛО [1] заключается в следующем: дымовые газы облучаются ускоренными электронами (с энергиями до 1 МэВ), перед облучением в газы подаются пары аммиака; в результате радиационно-химических и химических реакций вредные вещества, в частности, NO_x, SO₂ переводятся в сульфаты-нитраты аммония, которые можно использовать в качестве сельскохозяйственных удобрений. Технология ЭЛО разрабатывается на протяжении последних 30-ти лет. Построены промышленные и опытно-промышленные установки в Китае, Польше, Болгарии. Но, несмотря на сравнительно длительное изучение этой технологии, полного понимания механизма кинетики удаления NO_x, SO₂ и других загрязняющих веществ пока еще нет. Для этой цели авторами была разработана математическая модель и программный комплекс «ELO» [2,3], собрана база данных радиационно-химических и химических реакций (более чем 2000 реакций) для более, чем 500 химических реакций. Программный комплекс «ELO» обладает следующими возможностями: на основе начального состава дымовых газов позволяет составлять механизм химических реакций; составляет и решает систему обычных дифференциальных уравнений, описывающую процессы ЭЛО дымовых газов; рассчитывать вклад отдельных химических реакций в образование или удаление тех или иных химических веществ; строить графики концентраций химических веществ в зависимости от времени облучения.

Моделирование ЭЛО для смеси N₂ – NO

Во всех расчетах начальная концентрация NO была принята 250 ppmv, N₂ – баланс. График степени удаления NO в зависимости от дозы облучения показан на рис. 1. На рис. 2. представлены графики изменения концентрации O₂, NO, NO₂ в зависимости от поглощенной дозы. Полученные результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными [4]. С ростом поглощенной дозы концентрация O₂ растет, концентрация NO₂ растет до значений поглощенной дозы около 10 кГр, затем с ростом поглощенной дозы концентрация NO₂ падает.

Результаты расчетов по вкладам в удаление NO тех или иных реакций представлены на рис. 3. Из рис. 3. видно, что до доз, равных 10 кГр (типичная доза для технологии ЭЛО), около 60 % NO удаляется при помощи реакции



и около 40 % NO удаляется при помощи реакции



Большая часть NO (около 90 % NO) образуется в процессе электронно-лучевой очистки при помощи следующей реакции (R3):



Эта реакция является нежелательной, т.к. уменьшает эффективность очистки газов от NO. Поэтому, для повышения эффективности очистки дымовых газов от NO желательно подавлять реакцию (R3). Т.к. скорость реакции (R3) не зависит от температуры, то подавление реакции (R3) может быть осуществлено путем снижения концентраций NO₂ и O.

Исходя из наших расчетов, 98 % NO₂ образовывается из реакции (R2). И около 85 % NO₂ потребляется реакцией (R3).

98 % атомов кислорода O образуются в реакции (R1). Основным потребителем O (около 90 %) является реакция (R3).

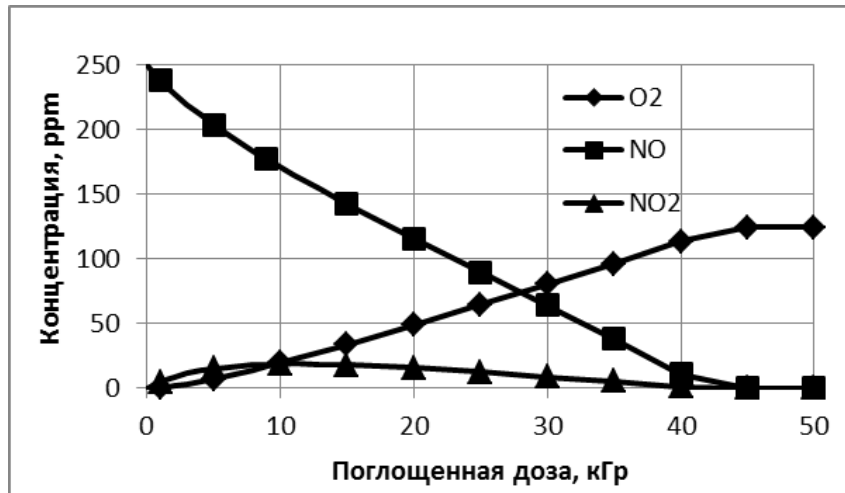


Рисунок 1 – Концентрация O₂, NO, NO₂ в зависимости от поглощенной дозы

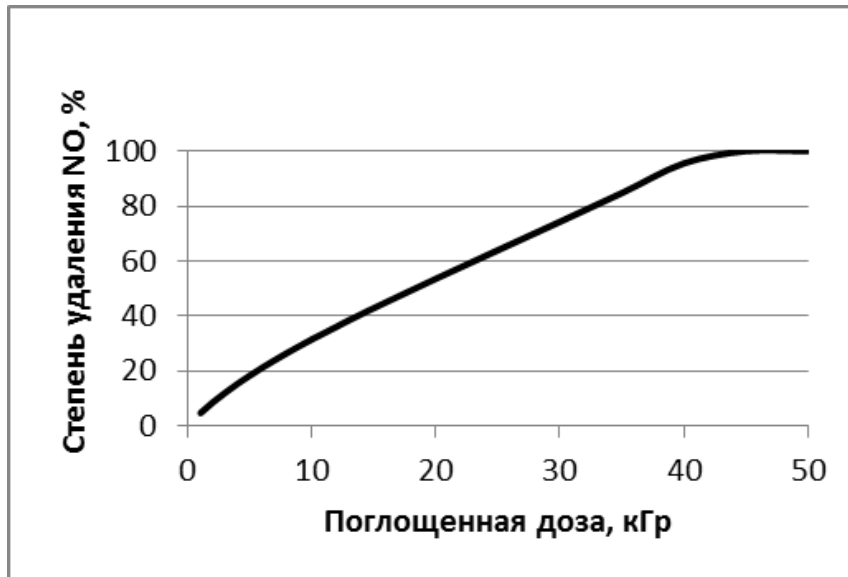


Рисунок 2 – Степень удаления NO в зависимости от поглощенной дозы

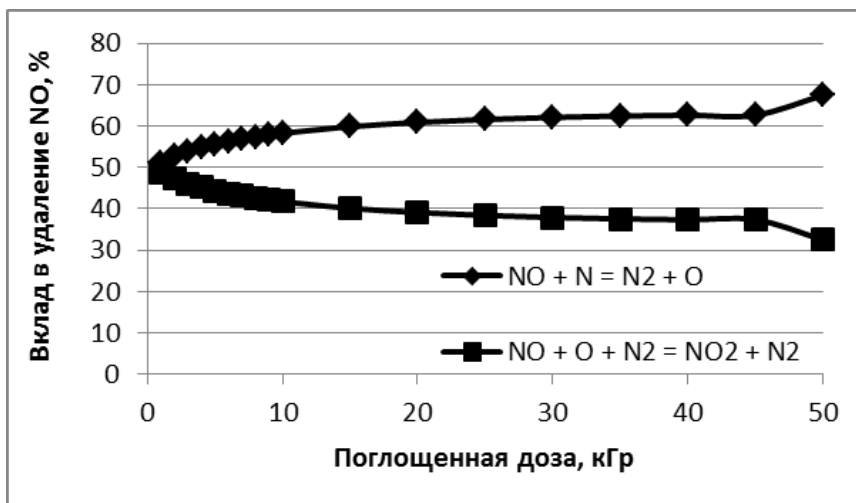


Рисунок 3 – Вклад реакций в удаление NO

Более 98 % атомов азота образуется при радиолизе N_2 . Основным потребителем атомов азота (более 90 % потребления N в диапазоне поглощенной дозы до 45 кГр) является реакция (R1) – $NO + N = N_2 + O$.

Выводы

В смеси газов $N_2 - NO$ при электронно-лучевой обработке происходит образование молекул кислорода. Реакция $NO_2 + O = NO + O_2$ является нежелательной, т.к. уменьшает эффективность удаления NO из смеси газов. 90 % атомов кислорода расходуется в этой реакции. Одним из способов уменьшения влияния этой реакции на эффективность очистки – введение в дымовые газы химических веществ, активно взаимодействующих с O.

Литература

1. Fainchtein, O. L. Developing wet variants of electron-beam removal of NO_x , SO_2 and particulate from flue gas [Text] / O. L. Fainchtein, V. V. Piotrovskiy, M. V. Sagaidak / Ed. by Kevin E. O'Shea William J. Cooper, Randy D. Curry. — [S. l.] : Wiley-Interscience, 1998. — P. 123 — 138.
2. Morgunov, V. Mathematical model of the processes of electron-beam cleaning of flue gas from SO_2 , NO_x , PAHs, VOCs [Text] / V. Morgunov, A. Fainchtein, A. Shkil'ko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2011. — Vol. 3/11(51). — P. 25–30.
3. Morgunov, V. Numerical simulation of physical and technical processes under electron beam flue gas cleaning [Text] / V.V. Morgunov, A.M. Shkil'ko // Integrated Technologies and Energy Conservation. — 2011. — Vol. 3. — P. 48–50.
4. Radiation treatment of exhaust gases - I. oxidation of NO and reduction of NO_2 [Text] / Okihiro Tokunaga, Koichi Nishimura, Suelo Machi, Masamitsu Washino // The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. — 1978. — Vol. 29, No. 2. — P. 81 – 85.

УДК 519.6

Моргунов В.В., Шкілько А.М., Файнштейн О.Л.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ. СИСТЕМА N_2 -NO

На основі розробленого авторами програмного комплексу «ELO» розрахована ступінь видалення NO в діапазоні від 0 до 50 кГр для суміші газів $N_2 + NO$. Отримано залежність вкладу реакцій в ступінь видалення і утворення наступних хімічних речовин: NO, NO_2 , N, O.

Morgunov V.V., Shil'ko A.M., Fainchtein O.L.

NUMERICAL SIMULATION OF ELECTRON-BEAM TREATMENT OF FLUE GASES. N_2 -NO SYSTEM

On the base of the software developed by authors the efficiency of NO removal from $N_2 - NO$ system was simulated in the dose range 0–50 kGy. The dependencies of formation and sink of following species: NO, NO_2 , N, O by various reactions were received.