

**ЭКОЛОГИЯ. ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ ЖӘНЕ ТАБИҒИ РЕСУРСТАРДЫ
ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ**
**ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

УДК 533.6.001.8

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В
ОХЛАЖДАЕМЫХ ЗОНАХ С УЧЕТОМ ВПРЫСКА ВОДЯНОГО ПАРА**

А.И.Айнабеков, О.З.Сембиев, К.Б.Кудайбергенов
ЮКГУ им. М.Ауезова, г. Шымкент

Экспериментальное исследование процессов в трактах тепло-энергетических установок связано с определением различных параметров газового потока, в том числе и состава высокотемпературной газовой смеси. Для контроля токсичности отработавших газов установки также необходимо проводить химический анализ продуктов сгорания. В настоящее время достаточно широкое распространение получили газовые анализаторы, с помощью которых осуществляется химический анализ многокомпонентной смеси. При этом отбор газовой пробы и доставка ее к анализатору осуществляется с помощью специальных охлаждаемых зондов, вводимых в интересующие нас зоны течения. Если отбор пробы производится из высокотемпературной области тракта энергетической установки, то изменение температуры газовой пробы при ее течении в канале зонда может вызывать неравновесное протекание химических реакций между компонентами пробы. По этой причине химический состав пробы на входе в анализатор будет отличаться от состава пробы в точке ее отбора. Таким образом, концентрации различных компонентов газовой пробы, измеряемые в газовом анализаторе, могут не соответствовать концентрациям этих компонентов в исследуемой области высокотемпературного процесса.

Санитарными нормами предусматриваются предельно допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе жилых зон, рабочих помещений и т.п. Как правило, контроль загрязненности атмосферы осуществляется специальными экологическими службами (СЭС).

Кроме общего контроля загрязненности окружающей среды вблизи выхлопных устройств, методиками СЭС предусмотрен также отбор и анализ газовой пробы непосредственно из тракта энергетической установки, поскольку на чистоту атмосферы вблизи выхлопных устройств влияет большое число внешних факторов, например, роза ветров, время года и др. Отбор же пробы из тракта, где температура отличается от атмосферной, может привести к искажению информации об уровне концентраций различных веществ в продуктах сгорания, в том числе и для концентраций токсичных веществ. Таким образом, при указанном способе контроля токсичности газообразных выбросов в атмосферу может быть допущен локальный выброс в окружающую среду большого количества вредных веществ. Очевидно, что для исключения этого необходимо иметь некоторое представление об изменении состава газовой пробы при ее течении в канале зонда. С этой целью рассмотрим следующую модельную задачу, при решении которой постараемся ответить на интересующие нас вопросы.

Итак, будем считать, что газовая смесь в точке отбора пробы находится в состоянии химического равновесия. Тогда ее состав может быть определен при решении уравнений химического равновесия, рассмотренных в работе [1]. Давление и температуру при этом считаем известными, также считаем известной температуру на входе в анализатор. Для

простоты будем считать, что закон охлаждения пробы в канале зонда является известной функцией времени:

$$T = (T_0 - T_A) \exp(-\lambda t / (T_0 - T_A)) + T_A, \quad (1)$$

где T_0 , T_A – соответственно температура в точке отбора пробы и на входе в анализатор; t – время; $\lambda = \frac{dT}{dt} / T = T_0$, будем в дальнейшем называть параметр λ в (1) скоростью охлаждения.

Неравновесное протекание химических реакций между компонентами смеси описывается уравнениями химической кинетики в мольно-массовых концентрациях:

$$\frac{d\gamma_i}{dt} = F_i(p, T, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N) \quad i=1, \bar{N} \quad (2)$$

где p – давление, T – температура, γ_i ($i=1, \dots, N$) – мольно-массовые концентрации.

В работе [2] предложена следующая неявная двухточечная разностная аппроксимация системы уравнений химической кинетики:

$$\gamma_{i,n+1} - \gamma_{i,n} = \tau [\delta F_{i,n} + (1 - \delta) F_{i,n+1}] \quad (i=1, \bar{N}), \quad (3)$$

где τ – шаг интегрирования, δ – параметр, $0 \leq \delta \leq 1$, нижние индексы n и $n+1$ приписываются параметрам в известной и искомой точках соответственно.

Таким образом, решение рассмотренной модельной задачи заключается в численном интегрировании системы уравнений химической кинетики при заданной временной зависимости температуры.

При проведении параметрических расчетов варьировались следующие параметры: начальный состав и температура отбираемой пробы, температура пробы на входе в анализатор и скорость охлаждения в канале зонда. Химические реакции, учитываемые в уравнениях химически неравновесного течения, и константы скоростей приведены ниже (таблица 1).

Таблица 1 - Химические реакции и константы скоростей реакций для системы С - О - Н - N

П/н	Реакция	Константа скорости реакции
1	$\text{CO} + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{M}$	$3,5 \cdot 10^{14} \exp(-2100/RT)$
2	$\text{H} + \text{H} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2 + \text{M}$	$1,4 \cdot 10^{20} \cdot T^{-1,5}$
3	$\text{O} + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 + \text{M}$	$5,5 \cdot 10^{17} \cdot T^{-0,67}$
4	$\text{OH} + \text{H} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{M}$	$1,2 \cdot 10^{20} \cdot T^{-1,0}$
5	$\text{O} + \text{H} + \text{M} \rightarrow \text{OH} + \text{M}$	$3,3 \cdot 10^{12} \cdot T^{-0,5}$
6	$\text{N} + \text{N} + \text{M} \rightarrow \text{N}_2 + \text{M}$	$2,7 \cdot 10^{16} \cdot T^{-0,5}$
7	$\text{N} + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{NO} + \text{M}$	$3,3 \cdot 10^{13}$
8	$\text{OH} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$	$2,5 \cdot 10^{12} \exp(-5100/RT)$
9	$\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$	$1,1 \cdot 10^{14} \exp(-8600/RT)$
10	$\text{OH} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$	$1,0 \cdot 10^{13} \exp(-1200/RT)$
11	$\text{H}_2 + \text{O} \rightarrow \text{OH} + \text{H}$	$1,3 \cdot 10^{13} \exp(-9860/RT)$
12	$\text{O}_2 + \text{H} \rightarrow \text{OH} + \text{O}$	$2,5 \cdot 10^{14} \exp(-1650/RT)$
13	$\text{N}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{NO}$	$5,2 \cdot 10^{13} \exp(-107000/RT)$
14	$\text{NO} + \text{N} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}$	$3,0 \cdot 10^{13} \exp(-200/RT)$
15	$\text{NO} + \text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{N}$	$1,1 \cdot 10^{13} \exp(-41700/RT)$

Исследовалось влияние на образование токсичных компонентов оксидов углерода CO и азота NO массовой доли впрыска, скорости охлаждения многокомпонентной смеси продуктов сгорания, коэффициента избытка окислителя смеси. Начальная температура была во всех случаях – 2400 К, давление – 1 атм. Скорость охлаждения варьировалась от $5 \cdot 10^2$ К/с до 10^6 К/с, коэффициент избытка окислителя от 0,95 до 1,05, массовая доля впрыска до пятипроцентной. В результате многопараметрических расчетов получены результаты, которые показаны ниже.

На рисунке 1 представлено изменение концентрации оксидов углерода CO и азота NO по температуре при различных скоростях, при коэффициенте избытка окислителя $\alpha = 0,95$, пятипроцентной массовой доле впрыска. Подавление концентрации окиси углерода CO при ско-

рости охлаждения $\lambda = 5 \cdot 10^2 \text{ K/c}$ составляет 58,3%, а при скорости охлаждения $\lambda = 10^6 \text{ K/c}$ составляет 50%. Подавление концентраций окиси азота NO из рисунка очень заметно. Например, при $\lambda = 5 \cdot 10^2 \text{ K/c}$ концентрация окиси азота NO уменьшается на 46,7%, а при $\lambda = 10^6 \text{ K/c}$ концентрация окиси азота NO почти не уменьшается. Отсюда можно сделать следующий вывод: когда многокомпонентная смесь продуктов сгорания медленно охлаждается, происходит лучшее снижение концентрации токсичных компонентов.

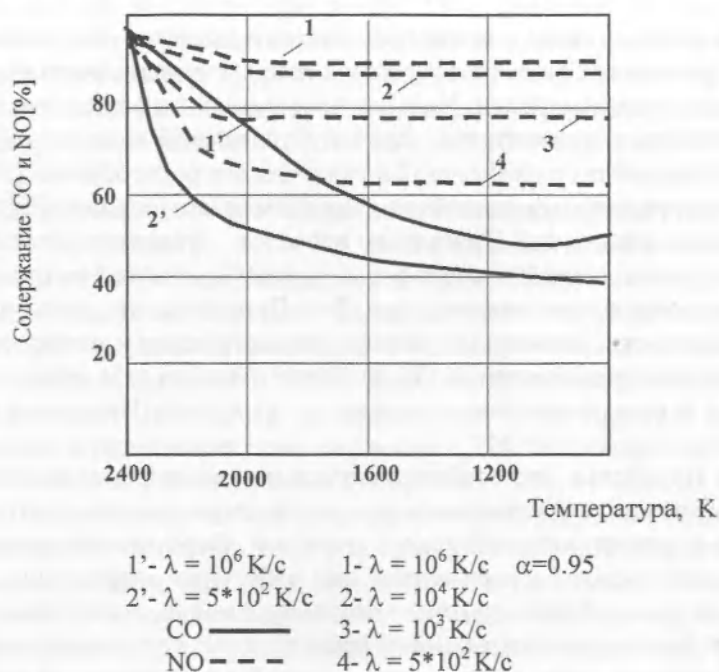


Рисунок 1 - Изменение содержание CO и NO по температуре при различных скоростях охлаждения ($\alpha = 0,95$)

Таким образом, в результате большого количества параметрических расчетов получены новые качественные и количественные оценки эффективности метода подавления концентраций окислов углерода CO и азота NO; исследовано влияние параметров тепловых режимов охлаждения и количество вводимой влаги на многокомпонентную смесь продуктов сгорания.

Литература

- 1 Волков В.А. Расчет равновесного состава смеси и реагирующих газов при заданном внешнем давлении / В кн. «Математические аспекты задач охраны воздушного бассейна».- М.: Из-во МАИ, 1984.- С.3-11.
- 2 Пирумов У.Г., Росляков Г.С. Течение газов в соплах.-М.: Изд-во МГУ, 1978.- 288 С.

Қорытынды

Жоғары температуралы процестердегі улы газдарды азайту мақсатында су буын шашу кезіндегі оған газ қоспаларының салқындау жылдамдығының әсері зерттелген.

Summary

It is investigated influences of speed of cooling on formations of toxic components at input water pair by their purpose of decrease.