

Приведенные выше экспериментальные и теоретические результаты позволяют предложить один из возможных механизмов инициирования взрывов на промышленных зерносушилках.

При случайном образовании слоев полумы в застойных зонах с высокой температурой возможно воспламенение полумы в режиме термодеструкции. Вскрытие полостей с тлеющим веществом обеспечивает беспрепятственный доступ кислорода в зону реакции и переводит режим термодеструкции полумы в режим окислительной деструкции с разогревами выше тысячи градусов с возможным вовлечением в процесс и вторичных продуктов реакции (газообразных и конденсированных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пунков С. П., Стародубцева А. И. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение. — М.: Агропромиздат, 1990. — С. 310.
2. Гальперин Л. Н., Колесов Ю. Р., Машкинов Л. Б. и др. Дифференциальные автоматические калориметры (ДАК) различного назначения // Шестая Всесоюз. конф. по калориметрии. — Тбилиси: Мецниереба, 1973. — С. 539—543.
3. Гальперин Л. Н., Колесов Ю. Р., Неганов А. С. Новый метод определения теплот сжигания // Восьмая Всесоюз. конф. по калориметрии. — Иваново, 1979. — Т. 2. — С. 448—451.
4. Денисов Е. Т. Кинетика гомогенных химических реакций. — М.: Высш. шк., 1978. — С. 367.
5. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М.: Наука, 1987. — С. 491.
6. Мержанов А. Г., Зеликман Е. Г., Абрамов В. Г. и др. Вырожденные режимы теплового взрыва // Докл. АН СССР. — 1968. — 180, № 3. — С. 639—642.
7. Барзыкин В. В., Гонтковская В. Т., Мержанов А. Г. и др. К нестационарной теории теплового взрыва // ПМТФ. — 1964. — № 3. — С. 118—125.

142432, Московская обл.,
п. Черноголовка
Институт химической физики
в Черноголовке РАН

Поступила в редакцию 23/X 1993,
после доработки — 15/V 1993

УДК 662.612.2

Н. Е. Ермолин, О. П. Коробейничев, В. М. Фомин

О КИНЕТИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ РЕАКЦИИ NH_2 С O_2 В ПЛАМЕНАХ, СОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕМЕНТЫ О, Н, N.

1. КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИИ



На основе экспериментальных данных по воспламенению смеси $\text{NH}_3/\text{O}_2/\text{Ar}$ за отраженными ударными волнами ($p = 1 \div 10$ атм, $T = 900 \div 2160$ К) и структуры пламени в смеси $\text{NH}_3/\text{O}_2/\text{Ar}$ ($p = 35$ Торр, $T = 1050 \div 2600$ К), многостадийного кинетического механизма рассмотрены различные каналы протекания реакции NH_2 с O_2 . Из сопоставления экспериментальных и расчетных данных получены константы скорости реакции $\text{NH}_2 + \text{O}_2 = \text{HNO} + \text{OH}$: $k = 3 \cdot 10^{11} \exp - 15\,000/RT \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$ при $T = 1500 \div 2160$ К и $k = 3 \cdot 10^9 \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$ при $T = 900 \div 1400$ К.

Введение. Реакция $\text{NH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow$ продукт изучалась в ряде экспериментальных и теоретических работ [1—12]. Различные каналы ее протекания с участием частиц NH_2O , NH_2O_2 и их изомеров обсуждались в [1—3, 7, 8, 11, 12]. В [5] проведена оценка константы скорости канала



Отмечается, что используемые для измерения константы скорости реакции (I) методы не прямые, а полученные данные имеют большой разброс. Так, в [8] при $p = 760$ Торр и $T = 300$ К получено $k \leq 5 \cdot 10^9 \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$, в [9] для $p = 760$ Торр и $T = 296$ К дается $k = 1,81 \cdot 10^7 \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$. В [10] при

© Н. Е. Ермолин, О. П. Коробейничев, В. М. Фомин, 1994.

согласовании расчетных (14 компонентов, 21 стадия) и экспериментальных данных (горение смеси $\text{NH}_3/\text{NO}_2/\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ в проточном реакторе) при $p \sim 1$ атм, $T = 773 \div 923$ К получено $k = 10^9 \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$. В [2] при $p = 1,5 \div 16$ Торр и $T = 295 \div 353$ К в проточном реакторе исследовалась реакция $\text{NH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow$ продукт в смеси $\text{NH}_3/\text{F}_2/\text{O}_2/\text{He}$. Начальные концентрации удовлетворяли условию $[\text{F}_2] \ll [\text{NH}_3] \ll [\text{O}_2]$. Для различных составов и давлений методом лазерной индуцированной флюоресценции измерялась концентрация NH_2 . Распад NH_2 описывался брутто-уравнением

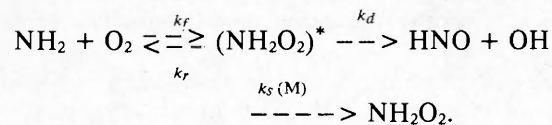
$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\rho}{M} \right]_{\text{NH}_2} \approx -k_{\text{эксп}} \left[\frac{\rho}{M} \right]_{\text{NH}_2}.$$

Величина $k_{\text{эксп}}$ пропорционально возростала с ростом начальной концентрации O_2 , однако NH_2 распадался и при $[\text{O}_2] = 0$, что говорит о многостадийности процесса. Значение $k_{\text{эксп}}$ росло с увеличением p . Причиной этому, как отмечается в [2], могут быть гетерогенные реакции на стенках реактора, а также тримолекулярные стадии. В предположении, что идет реакция $\text{NH}_2 + \text{O}_2 + \text{M} = \text{NH}_2\text{O}_2 + \text{M}$, получено

$$k = (1,3 \pm 0,5) \cdot 10^{15} (T/295)^{-2 \pm 0,5} \text{ см}^6/(\text{моль}^2 \cdot \text{с}).$$

Из экспериментальных данных [2] следует, что для заданных p , T , $[\text{NH}_3]$, $[\text{F}_2]$ и скорости потока $k_{\text{эф}} = k_{\text{эксп}}/[\text{O}_2]$ зависит от $[\text{O}_2]$. С уменьшением $[\text{O}_2]$ $k_{\text{эф}}$ возрастает. Кроме того, $k_{\text{эф}}$ есть константа скорости брутто-реакции. Константы аналогичного типа, как правило, зависят от давления, поэтому однозначная интерпретация экспериментальных данных затруднительна. В [1] приведены экспериментальные данные по воспламенению различных составов смеси $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{Ar}$ за отраженными ударными волнами при $p = 1 \div 10$ атм и $T = 900 \div 2050$ К.

В зависимости от условий методом абсорбционной спектроскопии получены концентрационные профили NH_3 и рассчитаны периоды индукции, которые определялись по 5%-му изменению концентрации NH_3 . Для моделирования процесса использовалась кинетическая схема из 15 стадий. Константа скорости канала (I) была искомой. При согласовании расчетных и экспериментальных данных выявлена зависимость константы скорости реакции (I) от давления, что объяснено образованием промежуточного комплекса



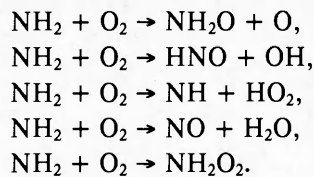
Здесь $(\text{NH}_2\text{O}_2)^*$ — высокоэнергетичная частица; $k_s(\text{M})$ — возможный путь с участием каталитической частицы. При $p \sim 1$ атм, согласно [1], реализация идет по прямому каналу (I). С ростом p в процессе соударения происходит дезактивация $(\text{NH}_2\text{O}_2)^* \xrightarrow{\text{M}} \text{NH}_2\text{O}_2$. Распад $(\text{NH}_2\text{O}_2)^*$ до $\text{HNO} + \text{OH}$ предполагается через образование изомера HNOOH .

В предположении постоянства концентрации $(\text{NH}_2\text{O}_2)^*$ получено: $k_f = 10^{12,5} \exp(-15 \pm 5 \text{ ккал}/RT) \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$, $k_d = (1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{10} \text{ л}/\text{с}$, $k_r = (1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10} \text{ л}/\text{с}$ для $T \sim 1550 \div 1800$ К и $p \approx 1$ атм. Для кинетической схемы, используемой в [1], в зависимости от состава $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{Ar}$ и давления при $T = 1700$ К $9,2 \leq \lg k \leq 10,6$. Разброс в константе скорости в 25 раз указывает на неполноту кинетического механизма [1].

В [4] масс-спектрометрическим методом исследована структура пламени $0,48\text{NH}_3/0,51\text{O}_2/0,01\text{Ar}$ при $p = 35$ Торр. Найдены концентрационные профили как стабильных компонентов, так и атомов и радикалов. Температура в пламени, измеренная термодарами, менялась от 1050 до 2254 К. В [6] на основе экспериментальных данных [4] предложен механизм, дающий хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных в случае задания экспериментального профиля температур. В расчетах [6] используется

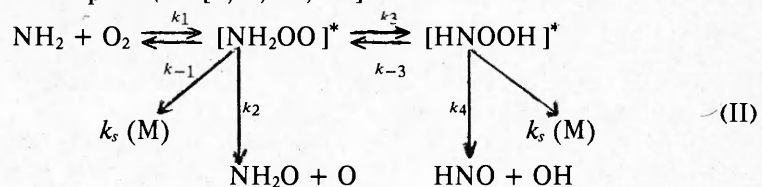
$k = 4,5 \cdot 10^{12} \exp - 25\,000/RT \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$ для реакции (I). Задание экспериментального профиля температуры обусловлено теплотерями из пламени в эксперименте [4].

В [7] для области высоких температур $k = 5 \cdot 10^{13} \exp - 30\,000/RT \text{ см}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$. Теоретически реакция $\text{NH}_2 + \text{O}_2$ изучалась в [3], где рассмотрены возможные ее каналы:



Исходя из результатов [3], в [5] делается заключение, что наиболее предпочтительный канал при высокой температуре $\text{NH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{O} + \text{O}$. В [11] указывается канал $\text{NH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{O} + \text{O}$, $\text{NH}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{HNO} + \text{H} + \text{M}$, энергия связи $\text{NH}_2 - \text{OO}$ оценивается в 4 ± 4 ккал/моль. В [12] оценен верхний изомеризационный барьер реакции $\text{NH}_2\text{OO} \rightarrow \text{HNOOH}$ в 41 ккал/моль, в то время как нижний изомеризационный барьер оценивается в [7] в 30,1 ккал/моль.

В [7] для $T \sim 200 \div 1900 \text{ К}$, $p = 10^{-3} \div 10$ атм теоретически изучаются реакции NH_2 с HO_2 , O_2 , O с помощью QRRK-метода. Анализируется возможный путь протекания реакции [1, 2, 11, 12]



Оцениваются константы скоростей стадий с участием частиц NH_2O_2 , HNOOH , NH_2O , HNOH . Из сравнения констант скоростей реакций $\text{NH}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{O} + \text{O}$ и $\text{NH}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HNOOH} \rightarrow \text{HNO} + \text{OH}$ делается заключение, что при $T > 600 \text{ К}$ главная стадия — первая. Обращается внимание на то, что при протекании реакции по второму пути необходимы большие значения предэкспонентов вследствие малых значений константы равновесия стадии $\text{NH}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{O}_2$.

В настоящей работе на основе экспериментальных данных [1, 4] получена константа скорости канала (I), хорошо согласующаяся в низкотемпературной области с данными [8, 10].

Кинетические параметры реакции $\text{NH}_2 + \text{O}_2 = \text{HNO} + \text{OH}$. Расчетные данные с экспериментальными [1, 4] сравниваются на основе кинетического механизма, приведенного в табл. 1 работы [13], для уточнения величины k стадии 19: $\text{NH}_2 + \text{O}_2 = \text{HNO} + \text{OH}$. Кинетический механизм состоит из 103 обратимых стадий и 20 компонентов и включает в себя рекомендуемый в [6]. В соответствии с условиями эксперимента в случае [1] численно решалась система уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= - \frac{1}{\rho c_p} \sum_{i=1}^N h_i \kappa_i, \\ \rho \frac{\partial}{\partial t} y_i &= \kappa_i, \quad \rho = \text{const}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$p = R\rho T/M, \quad M = 1/\sum_{i=1}^N y_i, \quad y_i = \rho_i/\rho M_i, \quad i = 1, N,$$

с данными из [1]. Здесь и ниже T , ρ , p , c_p — соответственно температура, плотность, давление, удельная теплоемкость смеси; h_i , ρ_i , κ_i , M_i — энтальпия, плотность, источниковый член, обусловленный химической неравновес-

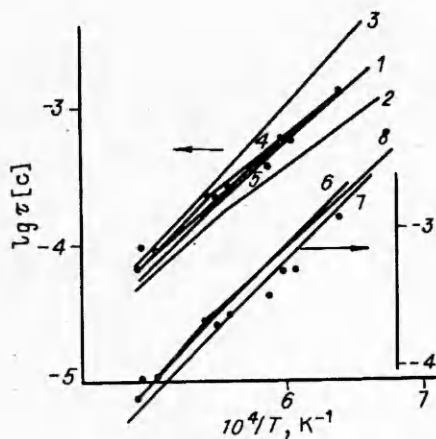


Рис. 1.

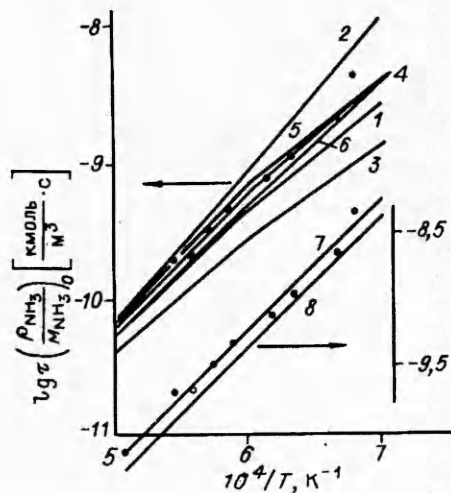


Рис. 2.

ностью, молекулярная масса i -го компонента; R — универсальная газовая постоянная; t — время; N — число компонентов. Константа скорости j -й реакции в прямом направлении имеет вид

$$k_j = A_j T^{n_j} \exp - E_j / RT \text{ л}^{v-1} / (\text{моль}^{v-1} \cdot \text{с}),$$

размерность E_j — кал/моль; v — порядок реакции. В случае [4] численно решалась система одномерных уравнений Навье — Стокса реагирующего газа [14].

Приводимый в [1] экспериментальный концентрационный профиль NH_3 для $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{Ar} = 0,0082/0,0082/0,9836$, $T_0 = 2160 \text{ K}$, $p_0 = 5,1 \text{ атм}$ хорошо согласуется с расчетным при $0 \leq k_{19} (2160 \text{ K}) \leq 5,7 \cdot 10^7$. Здесь и ниже T_0 , p_0 — начальная температура и начальное давление смеси за отраженной ударной волной. На рис. 1 экспериментальные и расчетные данные соответствуют составу $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{Ar} = 0,01/0,01/0,98$ при $p_0 = 5,1 \text{ атм}$. Номеру кривой соответствует значение параметров:

Номер кривой	1	2	3	4	5
A_{19}	$6 \cdot 10^8$	$1,77 \cdot 10^9$	0	$4,76 \cdot 10^6$	$1,51 \cdot 10^{10}$
E_{19}	15 000	15 000	0	0	25 000

Расчеты выполнены при $T_0 = 1560, 1650, 1818, 2050 \text{ K}$, τ (с) — период индукции, определенный по 5%-му изменению концентрации NH_3 [1], точки — экспериментальные данные. Константы скорости для вариантов 1, 4, 5 равны при $T = 1560 \text{ K}$. Вариант 2 соответствует константе из [1]. В нижней части рис. 1 изображено положение кривых

Номер кривой	6	7	8
A_{19}	$4,5 \cdot 10^9$	$5,1 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^8$
E_{19}	25 000	30 000	15 000

относительно тех же экспериментальных данных. Здесь вариантам 6, 7 соответствуют константы из работ [6, 7].

Данные, приведенные на рис. 2, относятся к составу $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{Ar} = 0,50/0,05/0,9$, $p_0 = 4,3 \div 7,6 \text{ атм}$. Величина $\tau (\rho_{\text{NH}_3}/M_{\text{NH}_3})_0$ в расчетах слабо зависит от давления. Абсолютная разность $\lg (\tau (\rho_{\text{NH}_3}/M_{\text{NH}_3})_0)$ при заданных температуре и константе скорости и различных $p_0 \in [4,3, 7,6 \text{ атм}]$ не превышает 0,08.

Отметим, что для реакций второго порядка решение системы уравнений (1) имеет вид $y_i = f_i(t_p)$ или $t_p = F_i(y_i)$. Тогда $t (\rho_i/M_i)_0 = F_i(y_i) y_{i0}$, и при постоянных T_0 , y_{i0} величина $\tau (\rho_i/M_i)_0$ не зависит от p_0 . Расчеты выполнены

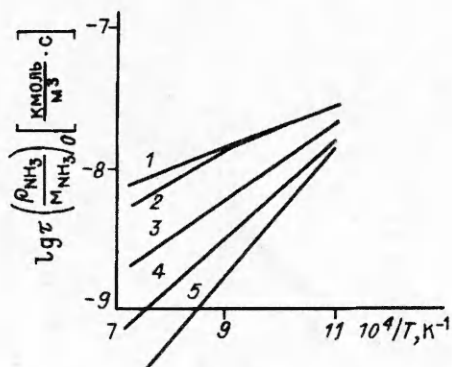


Рис. 3.

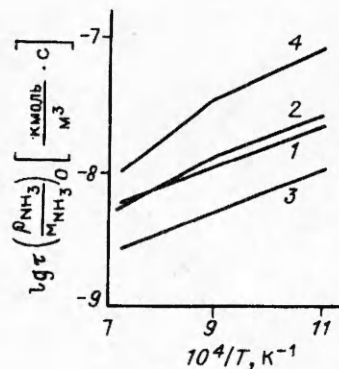


Рис. 4.

для $p_0 = 4,3$ атм и $T_0 = 1428, 1538, 1666, 1810, 2000$ К:

Номер кривой	1	2	3	4	5	6
A_{19}	$6 \cdot 10^8$	0	$1,77 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^8$	$1,52 \cdot 10^6$	$1,02 \cdot 10^{10}$
E_{19}	15 000	15 000	15 000	15 000	0	25 000

В нижней части рисунка изображено положение кривых 7 ($k_{19} = 4,5 \cdot 10^9 \exp - 25 000/RT$) и 8 ($k_{19} = 5,1 \cdot 10^{10} \exp - 30 000/RT$) относительно тех же экспериментальных данных. Константы скорости для вариантов 4—6 равны при $T = 1428$ К.

Таким образом, величина константы скорости реакции 19 слабо влияет на период индукции при высокотемпературном окислении NH_3 , $0 \leq E \leq 30 000$. Хорошее согласие с экспериментом при $1400 \leq T \leq 2160$ К дает константа $k_{19} = 3 \cdot 10^8 \exp - 15 000/RT$, в 5,9 раза меньшая $k_{19} = 1,77 \times 10^9 \exp - 15 000/RT$, приводимой в [1, 5]. При низкотемпературном ($900 \leq T \leq 1400$ К) окислении NH_3 и принятой кинетической схеме реакция 19 играет важную роль.

Приводимые на рис. 3 данные соответствуют условиям $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O} = 0,4/0,4/0,2$, $p_0 = 2$ атм:

Номер кривой	2	3	4	5
A_{19}	$3 \cdot 10^6$	$4,91 \cdot 10^7$	$8,05 \cdot 10^8$	$1,32 \cdot 10^{10}$
E_{19}	0	5000	10 000	15 000

В [1] составам $\text{O}_2/\text{NH}_3/\text{Ar} = 0,45/0,45/0,1$ и $0,25/0,25/0,5$ соответствует одна и та же экспериментальная кривая $\tau (\rho_{\text{NH}_3}/M_{\text{NH}_3})_0$. Для указанных составов в расчетах, выполненных при $p_0 = 5$ атм и $k_{19} = 5 \cdot 10^6$, отношение $\tau (\rho_{\text{NH}_3}/M_{\text{NH}_3})_0$ не превышает 1,07, поэтому в расчетах для рис. 4 используется лишь состав $0,45/0,45/0,1$ при $p_0 = 5$ атм, где кривые 2, 3 и 4 соответствуют $A_{19} = 3 \cdot 10^6$, $6 \cdot 10^6$ и $1,5 \cdot 10^6$, $E_{19} = 0$. Экспериментальным данным на рис. 3 ($p_0 = 1,1 \div 2,5$ атм) и 4 ($p_0 = 4,9 \div 8,4$ атм) соответствуют линии 1. Расчеты выполнены для $T_0 = 900, 1000, 1110, 1250, 1350$ К.

Результаты рис. 3 дают представление о влиянии энергии активации на величину периода индукции, для всех вариантов $k_{19} = 3 \cdot 10^6$ при 900 К. Однако вследствие больших значений $[\text{NH}_3]$ при 5%-м изменении концентрации аммиака существенно изменяется температура, что приводит с увеличением E_{19} к росту k_{19} и, следовательно, уменьшению периода индукции. С увеличением E_{19} растет и угол наклона касательных к кривым, поэтому для хорошего согласования результатов расчета с экспериментом на всем интервале $900 \leq T \leq 1400$ К должно быть $E \approx 0$. Хорошее согласование расчетных и экспериментальных данных, представленных на рис. 3, 4, получается при $k_{19} = 3 \cdot 10^6$. Кривые 1, 2 на рис. 1 и 1, 3 на рис. 2, рассчитанные при $k_{19} = 6 \cdot 10^8 \exp - 15 000/RT$ и $1,77 \cdot 10^9 \exp - 15 000/RT$, а также линии 3, 4 на рис. 4, рассчитанные при $k_{19} = 6 \cdot 10^6$ и $1,5 \cdot 10^6$, указывают на

возможность выбора в интервале $900 \leq T \leq 2160$ К единой непрерывной константы k_{19} как функции T .

Ниже на основе экспериментальных данных [4] по химической структуре пламени в смеси $O_2/NH_3/Ar$ и кинетического механизма из табл. 1 работы [13] приведены расчеты с целью уточнения величины k_{19} при низких давлениях. Для построения стационарного решения системы уравнений Навье — Стокса [14] в сечении $x = 0$ задавались данные из [4]: состав смеси, $p = 35$ Торр, скорость потока $0,608$ м/с, $T = 1050$ К. В выходном сечении $x = 10$ мм ставились условия экстраполяционного типа $df/dx = 0$, где f — любая из искомым функций. При заданных граничных условиях стационарное решение зависит от начального приближения. Задание в начальный момент времени достаточно высоких значений температуры приводит к устойчивому стационарному горению смеси и при $k_{19} = 0$. Поэтому полученная для низких давлений в [13] из условия самовоспламенения смеси величина k_{19} нуждается в уточнении.

Вследствие теплопотерь из пламени [4] в расчетах при оценке k_{19} задавался экспериментальный профиль температуры. На рис. 5 представлены экспериментальные (кривая 1) [4] и расчетные величины мольных долей радикала NH_2 для $k_{19} = 0; 4,5 \cdot 10^9 e^{-25\,000/RT}; 3 \cdot 10^8 e^{-15\,000/RT}; 3 \cdot 10^9 e^{-15\,000/RT}$ (2—5 соответственно). Вследствие слабого влияния k_{19} на поведение всех концентрационных профилей выбор k_{19} на основе экспериментальных данных [4] затруднен. Границы доверительного интервала k_{19} не обсуждаются из-за отсутствия информации о точности используемых экспериментальных данных.

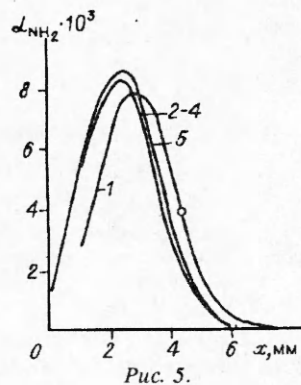


Рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fujii N., Mijama H., Koshi M., Asaba T. Kinetics of ammonia oxidation in shock waves // 18th Symp. (Int.) on Combustion. The Combustion Institute. Pittsburgh, 1981. — P. 873—882.
2. Hack W., Horne O., Wagner H. Gg. Determination of the rate of the reaction of NH_2 with O_2 // J. of Phys. Chem.— 1982.— 86, N 5.— P. 765—771.
3. Binkley J. S., Melius C. F. // Paper NOWSS/CI 82-96. Fall Meeting of the western states section of the Combustion Institute. 1982.
4. Bian J., Vandooren J., Van Tiggelen P. J. Experimental study of the structure of A. N. Ammonia-Oxygen Flame // 21st Symp. (Int.) on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, 1986.— P. 953—963.
5. Химия горения/Под ред. У. Гардинера. М.: Мир, 1988.— С. 361.
6. Miller J. A., Bowman C. T. Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion // Progress in Energy and Combustion Science.— 1989.— 15.— P. 287—338.
7. Bozzelli J. W., Dean A. M. Energized Complex Quantum Rice — Ramsperger — Kassel Analysis in reactions of NH_2 with HO_2 , O_2 and O atoms. // J. Phys. Chem.— 1989.— 93, N 3.— P. 1058—1065.
8. Pagsberg P. B., Eriksen J., Christensen H. C. Pulse radiolysis of gaseous ammonia—oxygen mixtures // J. Phys. Chem.— 1979.— 83, N 5.— P. 582—590.
9. Cox R. A., Derwent R. G., Holt P. M. The photooxidation of ammonia in the presence of NO and NO_2 // Atmosphere.— 1975.— 4.— P. 201.
10. Azuhata S., Kaji R., Akimoto H., Hishimima J. A. Study of the kinetics of the $NH_2-NO_2-O_2-H_2O_2$ Reaction // 18th Symp. (Int.) on Combustion. The Combustion Institute. Pittsburgh, 1981.— P. 845—852.
11. Benson S. W. // Ibid.
12. Melius C. F., Binkley J. S. Energetics of the reaction pathways for $NH_2 + NO \rightarrow$ Products and $NH + NO \rightarrow$ Products // 20th Symp. (Int.) on Combustion. The Combustion Institute. Pittsburgh, 1984.— P. 575—583.
13. Ермолин Н. Е., Коробейничев О. П., Фомин В. М. Численный анализ пути протекания реакции NH_2 с O_2 в пламенах $O_2/NH_3/Ar$ // Препринт N 10—92 ИТПМ СО РАН. Новосибирск, 1992.— С. 47.
14. Ермолин Н. Е., Коробейничев О. П., Терещенко А. Г. и др. Моделирование кинетики и механизма химических реакций в пламени перхлората аммония // Хим. физика.— 1982.— N 12.— С. 1711—1717.

630090, г. Новосибирск,
Институт химической кинетики
и горения СО РАН

Поступила в редакцию 28/V 1992,
после доработки — 9/VI 1993