

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКСИ АЗОТА И ГИДРООКСИЛА
В ПЛАМЕНАХ БАЛЛИСТИТНЫХ ПОРОХОВ

Е. Л. Давидчук, В. М. Мальцев, А. Д. Марголин,
Ю. М. Петров, О. Б. Рябиков

Работа посвящена определению профилей концентраций окиси азота и гидрооксила в пламенах баллиститных порохов А, Б и нитроклетчатки (12% N) при давлении 1—20 атм. Концентрации измерялись методом абсорбционной спектроскопии. Рассчитывались распределения окиси азота по высоте факела пламени.

Методика исследований. Для измерения концентраций гидрооксила использовалась методика поглощения линейного спектра, предложенная В. Н. Кондратьевым [1]. Схема установки представлена на рис. 1. Четыре разряда (~100 мГц) в парах воды пропускались при давлении ~1 торр сквозь кварцевую трубку диаметром 3 и длиной 100 мм. Свет от источника излучения 1, модулированный обтюратором (600 Гц), с помощью системы объективов пропускаться через исследуемое пламя, детектировался фотоумножителем и записывался шлейфным осциллографом. Нужная линия выделялась монохроматором, собранным на базе спектрографа ДФС-8.

Поглощение ОН регистрировалось в одиночных вращательных линиях ветви Q_1 ($j=9/2$ и $j=13/2$) полосы (0,0). Для этих линий в [2] измерены коэффициенты поглощения в аналогичных условиях (источник света — охлаждаемый электрический разряд в парах воды низкого давления, поглощение ОН при атмосферном давлении). При вычислении концентраций учитывалась поправка, связанная с уточнением константы равновесия реакции $H_2O \rightleftharpoons OH + H$ [3].

Для измерения концентрации NO применялась та же оптическая система, но в качестве источника света использовалась парометаллическая лампа типа ВСБ-2-(Cd),

возбуждаемая от источника типа ППБЛ-3. Измерение концентрации NO основано на том, что линия Cd 2144 Å совпадает с одной из линий (1, 0) полосы γ -системы полос окиси азота. Коэффициент поглощения NO на линии 2144 Å при атмосферном давлении был измерен при температурах 300—2000 К. В работе [4] коэффициент поглощения определен в $6,9 \cdot 10^{-19}$ см². Оценка

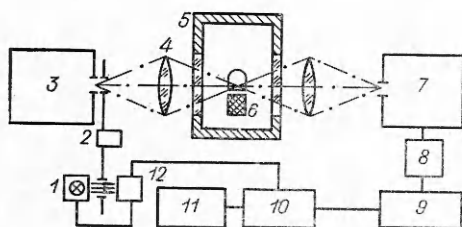


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 — лампа; 2 — диск-обтюратор; 3 — источник излучения; 4 — линза; 5 — БДП; 6 — образец; 7 — спектрограф; 8 — ФЭУ; 9 — предусилитель; 10 — синхродетектор; 11 — осциллограф; 12 — фотозлемент.

поглощения излучения 2144 Å аммиаком показана, что его можно не учитывать при измерениях C_{NO} .

Концентрации рассчитывались по формуле Бугера — Ламберта — Бера

$$\ln I_0/I = \sigma n l,$$

где I_0, I — интенсивности падающего и прошедшего сквозь пламя света; σ — коэффициент поглощения радикала на данной длине волны; n — концентрация радикала; l — оптическая длина пути. В дальнейшем удобнее пользоваться объемным содержанием радикалов C (в %) в газообразных продуктах горения:

$$C = n [\text{см}^{-3}] \cdot T [\text{K}] / 10^{19} \cdot p [\text{мм рт. ст.}] \cdot 100\%.$$

Для учета потерь излучения источника на неоднородностях пламени были проведены опыты по поглощению пламенем излучения, близкого по длине волны к линиям OH и NO. Для этой цели использовались линии Cu 3094 и 2593 Å соответственно, излучаемые лампой ВСБ-2 (Cu). Применение источника линейчатого спектра, монохроматора с разрешающей силой, достаточной для выделения отдельных вращательных линий, а также системы синхронного детектирования позволяло измерять поглощение окиси азота и гидроксила на длине поглощающего слоя 0,8—1,0 см с погрешностью около 30%.

Образцы порохов и нитроклетчатки, бронированные полиметилметакрилатом (стержни 8×8×15 мм), поджигались с верхнего торца. По мере их сгорания в щель монохроматора попадало последовательно изображение всех зон пламени. Сжигание проводилось в атмосфере аргона в камере с кварцевыми (КУ-2) окнами, укрепленной на подвижной подставке, перемещаемой по высоте. Профиль температуры был измерен яркостным оптическим методом [5]. Разрешение по высоте пламени составляло 1 мм, что определялось апертурой оптической системы.

Результаты экспериментов и опыты при давлении 1 атм показали, что концентрации OH и NO в пламени порохов уменьшаются по мере удаления от поверхности горения (рис. 2). Измерения проводились в сечениях, удаленных от поверхности горения на 3 ÷ 12 мм. Измеренные концентрации OH значительно в (10^4 раз) превышают расчетные равновесные при данной температуре (см. таблицу).

Уменьшение концентрации NO с удалением от поверхности горения, полученное в данной работе (см. рис. 2), находится в соответствии с представлением о двухпламенном горении нитроэфиров. Согласно этому представлению, в первом пламени происходит восстановление двуокиси азота продуктами разложения нитроэфиров до окиси азота, а второй значительно более медленной стадией является восстановление окиси азота до азота [6—8].

Топливо	α^*	T_{max}, K (9 мм от поверхности)	Объемная доля C_{NO} , %			Объемная доля C_{OH} , %	
			3 мм от поверхности	12 мм от поверхности		(3 мм от поверхности)	
				измерения	расчет	измерения	расчет
Нитроклетчатка (12% N) . . .	0,59	1420	23	13	10,3	$14 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
Порох А . . .	0,58	1450	24	15	11,0	$15 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$
Порох Б . . .	0,73	1550	27	18	18,5	$17 \cdot 10^{-3}$	$16,3 \cdot 10^{-7}$

* α — коэффициент стехиометрии.

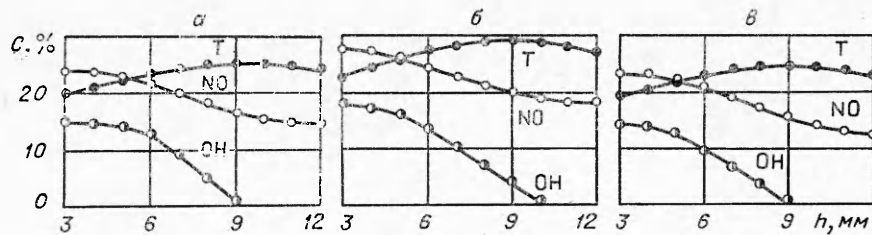


Рис. 2. Распределение объемной концентрации NO, OH и температуры T по высоте пламени при $p=1$ атм.
а) порох А; б) порох Б; в) нитроцеллюлоза (12% N).

В данной работе проведен расчет концентраций основных продуктов сгорания баллиститных порохов в зоне догорания. В основу расчета положено предположение, что в зоне догорания порохов самым медленным химическим процессом является восстановление окиси азота, а все основные (кроме NO) продукты горения находятся в химическом равновесии в пламени. В этой зоне градиенты температуры и потока диффузии малы так, что горение осуществляется практически адиабатически. На основе этого предположения можно рассчитать распределение по высоте факела пламени (в зоне догорания) NO, CO, CO₂, H₂, H₂O, если известен профиль температуры. Указанное предположение может быть применено, когда почти нет двуокиси азота и диспергированных частиц (или частицы имеют тот же состав, что и исходный порох), т. е. при температурах выше 1000—1500 К и давлениях выше 1—5 атм. Расчет дает следующую зависимость концентрации NO от температур:

$$C_{\text{NO}} = a(T_1 - T).$$

Величина T_1 получена линейной экстраполяцией функции $C_{\text{NO}} = f(T)$ в точку $C_{\text{NO}} = 0$ и равна 2640, 3320 и 2280 К для порохов А, Б и нитроцеллюлозки соответственно; коэффициент $a = 9,7 \cdot 10^{-3}$ [объемная доля, %/К].

Одинаковый для всех трех порохов коэффициент свидетельствует о том, что тепловой эффект реакции NO с другими продуктами горения различных по составу баллиститных порохов примерно одинаков. Рассчитанные на основе изложенного выше предположения распределе-

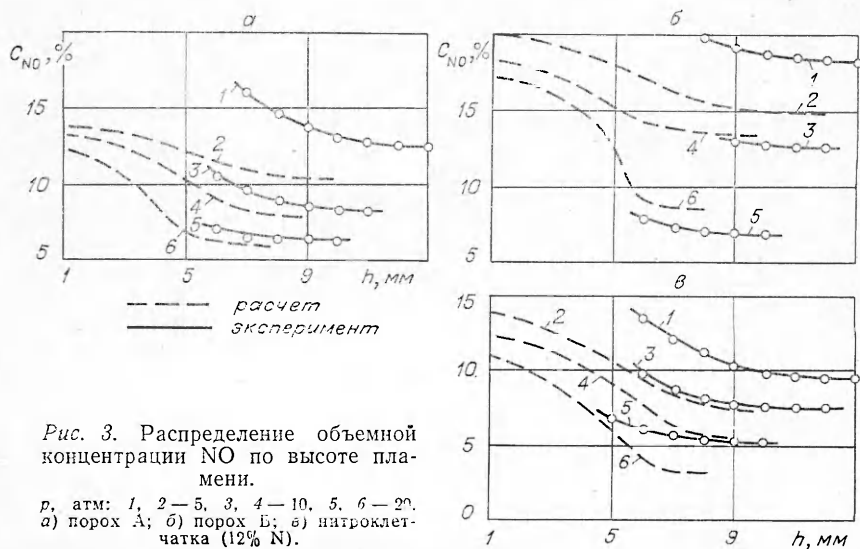


Рис. 3. Распределение объемной концентрации NO по высоте пламени.
 p , атм: 1, 2—5, 3, 4—10, 5, 6—20.
а) порох А; б) порох Б; в) нитроцеллюлозка (12% N).

ния C_{NO} по высоте пламени (рис. 3) удовлетворительно согласуются с экспериментом. Рассчитанная концентрация NO в конце зоны горения также согласуется с экспериментом (см. таблицу).

При измерении C_{NO} для пламени названных порохов, горящих при давлениях 5, 10, 20 атм, удалось установить только часть профиля $C_{NO}=f(h)$ (см. рис. 3). Со стороны поверхности горения измерения C_{NO} были ограничены высокой концентрацией NO (практически полное поглощение света источника). Однако можно заметить, что характер зависимости $C_{NO}=f(h)$ при давлениях 5—20 атм для всех исследованных порохов остается качественно таким же, как и при 1 атм.

*Институт химической
физики АН СССР, Москва*

*Поступила в редакцию
29/X 1975*

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Кондратьев. Свободный гидроксил. ГОНТИ, 1939.
2. Л. А. Авраменко. Канд. дис. ИХФ АН СССР, 1940.
3. С. С. Пеннер. Количественная молекулярная спектроскопия и излучательная способность газов. М. ИЛ, 1963.
4. W. E. Kasikan, D. E. Hughes. Combustion and Flame, 1973, 20, 3, 381.
5. В. М. Мальцев. Канд. дис. ИХФ АН СССР, 1963.
6. Я. Б. Зельдович и др. Окисление азота при горении. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
7. П. Ф. Похил. Докт. дис. ИХФ АН СССР, 1950.
8. Л. Д. Ромоданова. Канд. дис. ИХФ АН СССР, 1955.
9. Е. Л. Давидчук, В. М. Мальцев и др. 1977, 13, 1.

ЗАЖИГАНИЕ ОКТОГЕНА СВЕТОВЫМ ПОТОКОМ

В. Т. Кузнецов, А. И. Скорик

Имеющиеся в литературе данные по зажиганию вторичных взрывчатых веществ относятся, как правило, к оценке их воспламеняемости по чувствительности к лучу огня бикфордова шнура [1] или по величине минимальной навески воспламенителя [2] и не позволяют сделать выводы о механизме и основных закономерностях процесса. В связи с этим изучение зажигания вторичных взрывчатых веществ в модельных, строго контролируемых условиях представляет определенный интерес.

В данной работе приведены результаты исследования физической картины зажигания октогена световым потоком, изучено влияние на время зажигания плотности светового потока, состава и давления окружающей атмосферы, а также определены условия перехода от зажигания к устойчивому горению.

Опыты проводились на установке радиационного нагрева «Уран-1» по методике, подробно описанной в [3]. Использовались цилиндрические образцы октогена (ОК) и октогена с 1% сажи марки ПМ-75 (ОК+1%С)¹ диаметром $1 \cdot 10^{-2}$ м, высотой $0,5 \cdot 10^{-2}$ м, спрессованные до плотности $1,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Зажигание осуществлялось с торцевой поверхности цилиндра. Используемая аппаратура позволяла проводить опы-

¹ Термогравиметрический анализ показал, что введение сажи не влияет на кинетику термического разложения октогена, поэтому в дальнейшем сажу рассматривали как инертную добавку, изменяющую только оптические характеристики образцов.