

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Алдушин, А. Г. Мержанов, Б. И. Хайкин. Докл. АН СССР, 1972, 204, 5.
2. А. П. Алдушин, Т. М. Мартемьянова и др. ФГВ, 1972, 8, 2.
3. А. П. Алдушин. ПМТФ, 1974, 3.
4. А. Г. Мержанов, И. П. Боровинская. Докл. АН СССР, 1972, 204, 2.
5. Я. Б. Зельдович. ЖФХ, 1948, 22, 1.
6. А. П. Алдушин, Б. И. Хайкин. ФГВ, 1974, 10, 3.
7. И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов и др. ФГВ, 1974, 10, 1.
8. А. С. Дубровин, Л. Н. Русаков, Ю. Л. Плинер. Изв. АН СССР. Metallургия и горное дело, 1964, 2.
9. А. Г. Мержанов, И. П. Боровинская. Отчет Отделения ИХФ АН СССР, Черногловка, 1970.

ГОРЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ СОЕДИНЕНИЙ СО СВЯЗЯМИ АЗОТ — АЗОТ

*А. Е. Фогельзанг, Б. С. Светлов, В. Я. Аджемян,
С. М. Колясов, О. И. Сергиенко, С. М. Петров*

Анализ результатов, приведенных в работах [1—3], показывает, что реакционная способность и строение окислителя, входящего в состав газовой смеси, оказывает заметное влияние на величину скорости горения. Для взрывчатых соединений активность окислителя, образующегося при распаде, также влияет на величину скорости горения [4—6]. Можно поэтому ожидать, что N-нитроамины, при разложении которых образуется большое количество закиси азота [7, 8], будут гореть быстрее C- и O-нитросоединений, у которых окислитель выделяется главным образом в виде двуокиси азота [9, 10] (газовые смеси на основе N₂O горят быстрее аналогичных смесей с NO₂ [1]).

Однако провести сопоставление скоростей горения N-нитроаминов с C- и O-нитросоединениями не представляется возможным без дополнительных опытов, так как если последние исследованы более или менее подробно [11—13], то данные по скоростям горения N-нитроаминов практически отсутствуют [12, 14]. Здесь следует отметить исследования горения метилендинитроамина [15]¹, этилендинитроамина (ЭДНА) [16], тетраметилендинитроамина [16], циклотетраметилентетранитроамина (ЦТМ) [17], нитромочевины [17], нитрогуанидина [17], азо-бис-нитроформамида, гидрозо-бис-нитроформамида [18, 19], N-нитроанилина [20], o-, m-, n-нитроанилина и 2,4-динитроанилина, 2,3,4,6-тетранитроанилина [17], нитрозогуанидина [21] и циклотриметилентринитрозоамина [22].

Методика эксперимента

Опыты проводились в бомбе постоянного давления [4] и в вакуумной камере объемом 40 л. Заряды прессовались в трубки из оргстекла с внутренним диаметром 4 или 7 мм под давлением 2000—4000 кг/см². Распределение температуры в волне горения измерялось вольфрам-рениевыми термодарами толщиной 5 мк по методике, описанной в [23, 24]. Для опытов при повышенных температурах и давлениях использовался медный термостат с окнами [25]. Зависимость

¹ Указывается способ получения соответствующего вещества.

$u(T_0)$ при атмосферном давлении ($T_0 > 20^\circ\text{C}$) исследовалась в стеклянном жидкостном термостате, в котором циркулировал прозрачный теплоноситель. В опытах при 0° и -80°C установку для сжигания, помещенную в герметичный сосуд (для предотвращения конденсации влаги на заряде) термостатировали в смесях воды со льдом или ацетона с твердым CO_2 . Время термостатирования равнялось удвоенному времени прогрева (или охлаждения) образца до температуры термостата, которое определялось с помощью термопар, помещенных в заряд. Скорость горения при атмосферном давлении фиксировалась кинокамерой «Пентафлекс», при повышенных давлениях — фоторегистратором ФР-14.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Для веществ, приведенных в табл. 1, проводился анализ газообразных продуктов разложения. Видно, что при распаде азо- и гидроазо-бис-нитроформамидинов, так же как и для других N-нитроаминов [7, 8], образуется значительное количество N_2O . При разложении циклотриметилентринитрозоамина газообразные продукты разложения почти на 50% состоят из окиси азота.

Зависимость $u(p)$ алифатических (кроме ЭДНА), циклических нитроаминов и нитромочевины (рис. 1, табл. 2) остается неизменной во всем рассмотренном интервале давлений. В случае C-нитросоединений в районе 100 ат, как правило, на кривой $u(p)$ имеется небольшой излом [13]. Зависимость $u(p)$ ЦТМ очень близка к зависимости, полученной в работе [14] в интервале давлений 12—205 ат. Скорости горения нитрогуанидина в диапазоне 45—400 ат совпадают со значениями, полученными в [26]. Однако в условиях настоящих опытов (диаметр заряда 7 мм, плотность $1,7 \text{ г/см}^3$) он оказался способен к горению только при $p > 20$ ат. В интервале 20—45 ат скорость резко растет ($v = 3,35$). Зависимость $u(p)$ азо- и гидроазо-бис-нитроформамидинов несколько раз изменяется по мере роста давления.

Горение всех нитроаминов, кроме тетраметилендинитроамина, сопровождается ярким свечением. Сажа и твердый остаток не образуются. При горении тетраметилендинитроамина пламя красное, в продуктах горения много углерода. Интересная особенность наблюдается при горении ЦТМ. В интервале от 8 до 12 ат на стенках трубки после опыта остается налет копоти, которая оседает также на воспламеняемой спирали. В некоторых опытах хлопья сажи появлялись по всему объему бомбы. При более низких или более высоких давлениях сажа не образуется. Кроме того, в указанном интервале давлений на фоторегистрограммах отчетливо видна неравномерность свечения, которая отсутствует при других давлениях. Горение циклотриметилентри-

Таблица 1
Анализ газообразных продуктов распада нитро- и нитрозосоединений (об. %)

Вещество	Температура, °C	N_2	NO	N_2O	NO_2	CO	CO_2	Метод анализа газов
Гексоген (тв.)	195	36	5	37	0	11,2	10,8	Масс-спектрометрия
» (ж.)	210	38	5,3	33	0	12,7	11	
Азо-бис-нитроформамидин	133	38	0	52	0	0	10	
Гидро-бис-нитроформамидин	133	45	0	31	0	0	24	
Циклотриметилентринитрозоамин *	110	44,5	49,5	5,2	0	0	0,8	Хроматография
Нитрозогуанидин *	130	98,8	0	0,9	0	0	0,3	

* Анализы проводились Г. А. Лурье по методике [38].

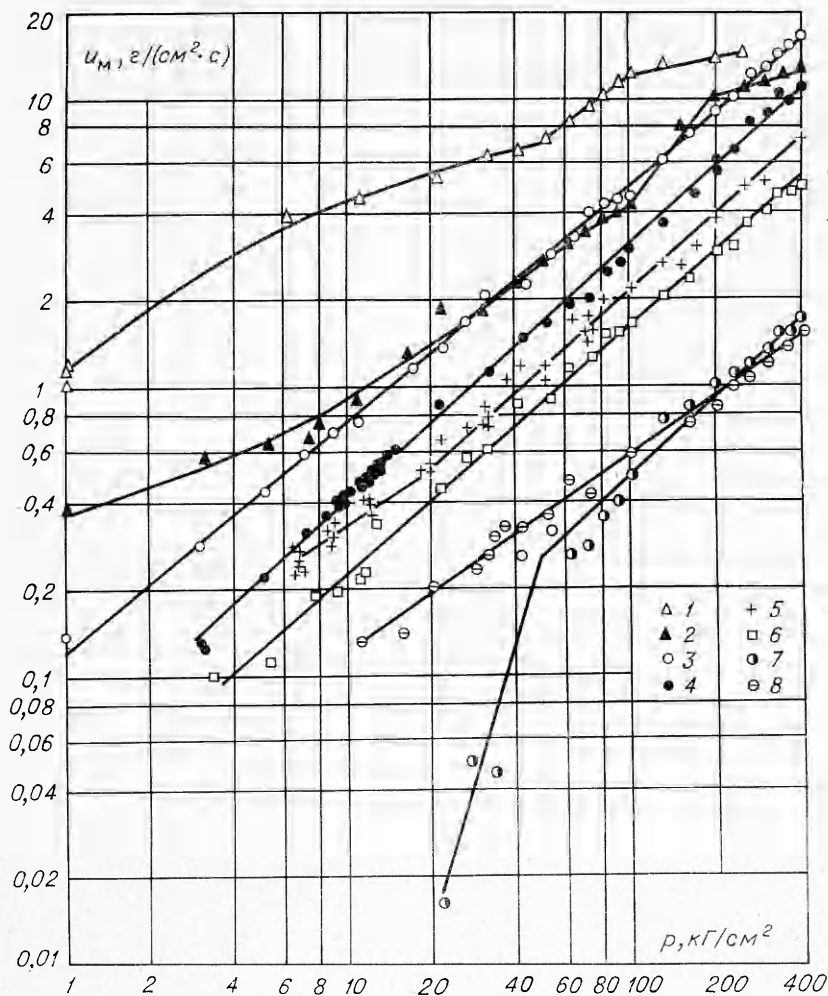


Рис. 1. Зависимость $u(p)$ азо-бис-нитроформамида (1), гидробазо-бис-нитроформамида (2), метилдидинитроамида (3), циклотетраметилтетранитроамида (4), этилендидинитроамида (5), нитромочевина (6), нитрогуанидина (7), тетраметилдидинитроамида (8).

нитрозоамида при атмосферном давлении протекает почти без свечения. На поверхности находится расплавленный слой толщиной ~ 2 мм. В трубке после сгорания вещества остается большое количество темно-коричневых шлаков. С повышением давления их количество уменьшается. При 16 ат над поверхностью появляется яркое желтое пламя. Нитрозогуанидин горит без пламени. В трубках после опыта остается желтоватый налет.

При горении N-нитросоединений вторичное пламя, характерное для C- и O-нитросоединений, баллистических порохов [11] и газовых смесей с двуокисью азота [1], на фотографиях не обнаружено.

Для сравнения N-нитроаминов с C- и O-нитросоединениями построим зависимость скорости горения указанных веществ от расчетной температуры горения при 400 ат. Как видно из рис. 2, N-нитроамины — соединения, содержащие связь — азот — азот, горят в два — четыре раза быстрее C- и O-нитросоединений, имеющих близкую температуру горения². Такое различие в скоростях горения не может быть отнесено за

² При других давлениях получают аналогичные зависимости.

Таблица 2

Зависимость массовой скорости горения от давления $u_m = V r^v$

Взрывчатое соединение	Плотность заряда, г/см ³	Интервал давлений, ат	B	v	u_m , г/(см ² ·с) (p=400 ат)	Расчетная термодинамическая температура горения, К	
						p=1 ат	p=100 ат
Метилендинитроамин	1,70	1—400	0,115	0,825	16	2845	3277
Циклотетраметилентетранитроамин	1,72	3—400	$0,48 \cdot 10^{-1}$	0,91	11,5	2943	3348
Этилендинитроамин	1,75	6—20 20—400	$0,986 \cdot 10^{-1}$ $0,55 \cdot 10^{-1}$	0,57 0,81	— 7,1	2541	2628
Нитромочевина	1,69	3—400	$0,3 \cdot 10^{-1}$	0,865	5,3	2321	2359
Нитрогуанидин	1,70	20—45 45—400	$0,56 \cdot 10^{-6}$ $0,78 \cdot 10^{-2}$	3,35 0,9	— 1,7	1340	1341
Тетраметилендинитроамин	1,41	10—400	$0,25 \cdot 10^{-1}$	0,68	1,5	1197	1448
Азо-бис-нитроформамидин	1,67	1—50 50—100 100—250	$u_m = -1,3 + 2,3p^{0,39}$ 0,34 5,0	0,78 0,2	— 16*	3128	3694
Гидразо-бис-нитроформамидин	1,38	1—100 100—200 200—400	$u_m = 0,3 + 0,07p^{0,94}$ $0,12 \cdot 10^{-1}$ 2,7	1,28 0,24	— 12	2926	3276
N-нитроанилин	1,29	0,5—100 100—150 150—400	0,16 2,0 $0,44 \cdot 10^{-1}$	0,55 0 0,76	— — 4,2	1159	1392
Тетранитроанилин	1,60	0,5—400	$0,46 \cdot 10^{-1}$	0,87	8,4	3068	3500
2,4-Динитроанилин	1,56	30—400	$0,226 \cdot 10^{-2}$	0,985	0,82	1590	1662
m-Нитроанилин	1,48	260—400	$0,67 \cdot 10^{-4}$	1,82	0,33	1097	1350
n-Нитроанилин	1,48	320—400	$0,88 \cdot 10^{-3}$	1,3	0,21	1084	1340
o-Нитроанилин	1,47	330—400	$0,19 \cdot 10^{-4}$	1,9	0,16	1101	1353

* Скорость получена экстраполяцией.

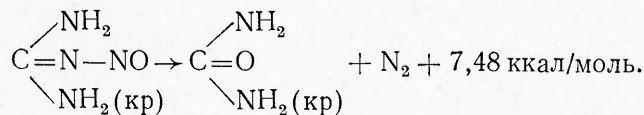
счет устойчивости рассмотренных соединений. Действительно, если сравнить по устойчивости [11] вещества с близкими температурами горения, такие как ЦТМ и гексоген, с одной стороны, и тетранитроанилин (температура вспышки $\sim 200^\circ\text{C}$) и тэн, с другой, можно увидеть, что, несмотря на большую устойчивость N-нитроаминов, они горят быстрее, чем тетранитроанилин и тэн. Причем скорости горения N-нитроаминов выше, чем у C- и O-нитросоединений во столько раз, во сколько газовые смеси с окислителем N_2O горят быстрее смесей с NO_2 .

Разница между N-нитро- и C-нитросоединениями видна еще более четко, если сопоставить скорости горения изомеров мононитроанилина (рис. 3) — веществ, имеющих одинаковый состав, но различающихся положением нитрогруппы в молекуле. При переходе от C-нитроанилинов (расчетные температуры горения при 100 ат 1340—1350 К) к N-нитроанилину ($T_r = 1390$ К) скорость горения возрастает более чем на порядок. Отметим, что скорость горения N-нитроанилина выше не только скорости горения мононитросоединений, но и таких веществ, как тротил и тринитробензол [11, 12]. Во всем исследованном диапазоне давлений N-нитроанилин превосходит по скорости ди- и тринитроанилин ($T_r = 1660$ К и 2060 К при 100 ат), а до 40 ат он горит быстрее тетранитроанилина.

Измеренные при атмосферном давлении температуры горения нитрогликоля, метилнитрата и тетранитроанилина (приблизительно 1200, 1300, 1300 К соответственно) оказались почти в три раза ниже расчетной (3400, 3200, 3100 К), а температура горения гексогена и ЦТМ (диаметр заряда 10 мм) — выше 2400 К³. Кроме того, как показано в работе [27], при горении гексогена при атмосферном давлении в отличие от С- и О-нитросоединений в продуктах горения практически отсутствует окись азота. Отсюда видно, что наличие в молекуле взрывчатого соединения связей азот — азот ($-N-NO_2$) приводит к значительно большей полноте превращения по сравнению с веществами, содержащими связи $O-NO_2$ и $C-NO_2$.

Замена в гексогене нитрогруппы на нитрозогруппу приводит к значительному снижению скорости (рис. 4), в то время как нитрозогуанидин горит не только быстрее нитрогуанидина, но и всех рассмотренных N-нитроаминов.

Различное влияние, которое оказывает замена нитрогруппы на нитрозогруппу в гексогене, можно объяснить, если сравнить состав продуктов, образующихся при разложении N-нитросоединений (см. табл. 1). В продуктах распада циклотриметилентринитрозоамина содержится значительное количество NO, тогда как при распаде нитрозогуанидина образующиеся газы на 99% состоят из N₂. Вероятно, при горении циклотриметилентринитрозоамина основным окислителем служит окись азота, а при горении нитрозогуанидина ведущей реакцией может служить



Было измерено распределение температуры при горении *n*-нитроанилина, N-нитроанилина и этилендинитроамина. Опыты с *n*-нитроанилином проводились при давлении 330—350 ат, где скорость его горения близка к скорости горения N-нитроанилина при атмосферном давлении. Измеренная температура горения *n*-нитроанилина 1220 К несколько ниже расчетной (1339 К при 100 ат). На осциллограммах при *T*, равной температуре плавления, видны сильные колебания (рис. 5), которые прекращаются, когда температура достигает максимального значения. Ширина зоны пульсации около 0,5 мм. Возможно, что быстрый рост скорости горения С-нитроанилинов ($v=1,3-1,9$) связан с обнаруженной пульсацией.

Температура горения N-нитроанилина (рис. 6) при атмосферном давлении всего 600 К, что почти в два раза ниже расчетной (1159 К).

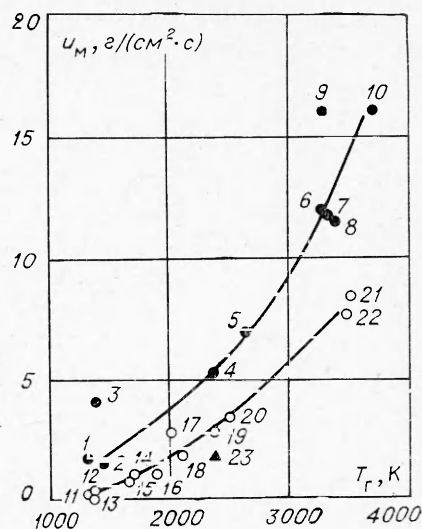


Рис. 2. Зависимость скорости горения N-нитроаминов и С- и О-нитросоединений от расчетной температуры горения при 400 ат.

1 — нитрогуанидин; 2 — тетраметиленидинитроамин; 3 — N-нитроанилин; 4 — нитромочевина; 5 — этилендинитроамин; 6 — гидро-азо-бис-нитроформамидин; 7 — гексоген; 8 — циклотетраметилентетранитроамин; 9 — метиленидинитроамин; 10 — азо-бис-нитроформамидин; 11 — *n*-нитроанилин; 12 — *o*-нитроанилин; 13 — *m*-нитроанилин; 14 — динитротолуол; 15 — динитроанилин; 16 — динитробензол; 17 — тротил; 18 — тринитроанилин; 19 — тринитробензол; 20 — тринитрофенол; 21 — тетранитроанилин; 22 — тэн; 23 — циклотриметилентринитрозоамин.

³ При этой температуре сгорала термopара.

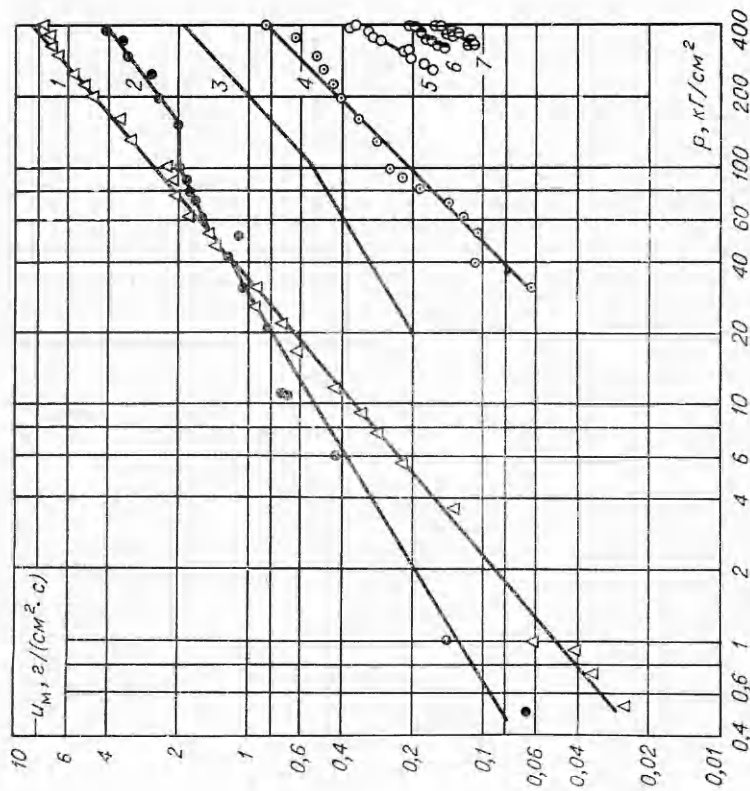


Рис. 3. Зависимость $\mu(\rho)$ нитропроизводных анилина.
 1 — 2, 3, 4, 6-тетранитроанилин; 2 — N-нитроанилин; 3 — 2, 4, 6-тринитроанилин [13];
 4 — 2, 4-динитроанилин; 5 — м-нитроанилин; 6 — p-нитроанилин; 7 — o-нитроанилин.

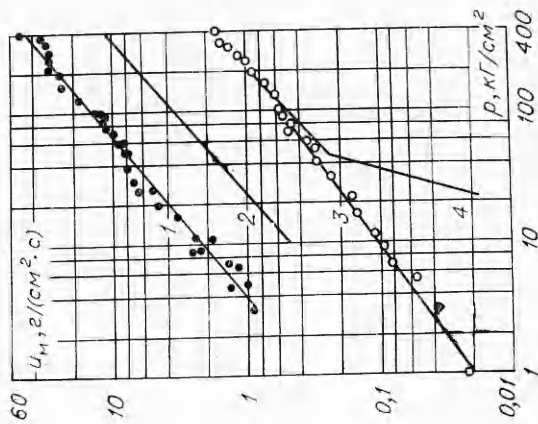


Рис. 4. Зависимость $\mu(\rho)$ нитроэугуанидина (1), гексогена (2), циклотриметилнитроэугуанидина (3), нитроэугуанидина (4).

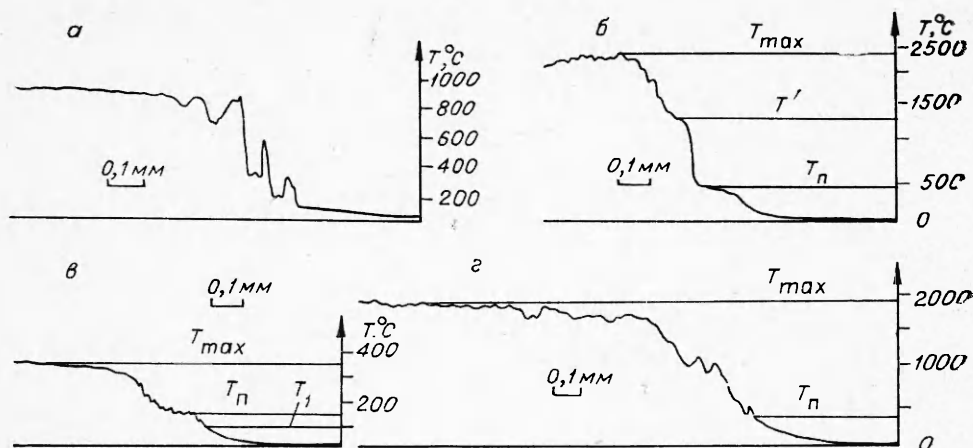
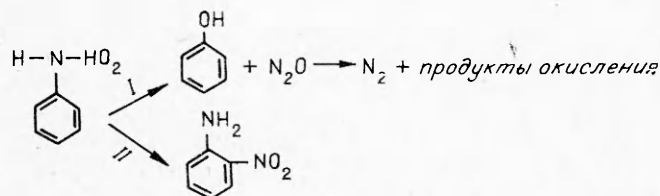


Рис. 5. Осциллограммы профиля распределения температур в волне горения взрывчатых соединений.

а) *p*-нитроанилин; б) тетранитроанилин; $p=6$ ат; в) *N*-нитроанилин, $p=2$ ат; г) этиленднитроамин, $p=5$ ат.

С ростом давления T_{\max} плавно увеличивается (при 40 ат достигает 1220 К), в отличие от *C*-нитросоединений и баллистических порохов, у которых температура горения по мере роста давления возрастает скачком от температуры первого пламени до температуры горения при появлении вторичного пламени.

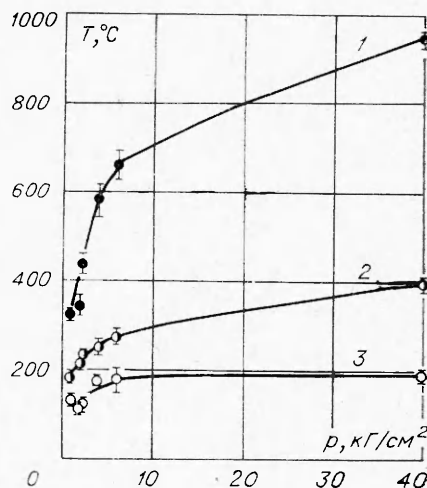
Это можно объяснить тем, что распад *N*-нитроанилина может проходить двумя путями [28]:



Вероятно, с повышением давления доля реакции II падает, и это приводит к росту температуры горения. Действительно, если взять калиевую соль *N*-нитроанилина, для которой реакция II невозможна, то в этом случае уже при атмосферном давлении температура горения достигает своего максимального значения. Причем это, вероятно, не связано с каталитическим действием калия, поскольку при его введении в молекулу нитрофенолов, вторичное пламя не исчезает.

Отметим, что в тех условиях, где температуры горения *p*- и *N*-нитроанилинов равны, последний горит приблизительно в 10 раз быстрее. Температура поверхности *N*-нитроанилина при 1 ат, всего 185°C. С ростом давления

Рис. 6. Зависимости $T_{\max}(p)$ (1), $T_n(p)$ (2) и $T_1(p)$ (3) при горении *N*-нитроанилина.



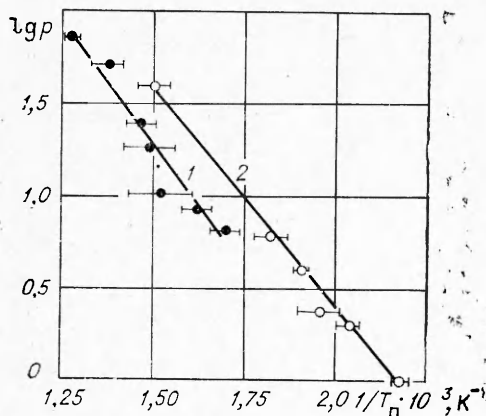


Рис. 7. Зависимость логарифма давления от обратного значения температуры поверхности при горении этилендинитроаминна (1) и N-нитроанилина (2).

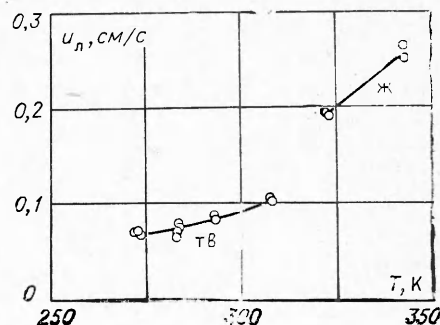


Рис. 8. Зависимость скорости горения N-нитроанилина от начальной температуры.

она увеличивается до 395°C при 40 ат. Если предположить, что при горении N-нитроанилина, так же как и при горении тетрила, температура поверхности равна температуре кипения [24], то в координатах $\ln p, 1/T_n$ точки должны ложиться на одну прямую. Действительно, как видно из рис. 7, в этих координатах имеем прямую с тангенсом угла наклона, отвечающим теплоте испарения 11 ккал/моль. На осциллограммах температурного профиля N-нитроанилина (см. рис. 5) можно выделить незначительно растущую с давлением температуру T_1 , при которой на кривой $T(x)$ появляется пульсация, связанная, возможно, с началом химической реакции, приводящей к образованию пузырьков газа в расплаве N-нитроанилина.

Температура горения и температура поверхности тетранитроанилина в интервале давлений 1—26 ат выше, чем N-нитроанилина (табл. 3), но, несмотря на это, он при этих условиях горит медленнее последнего. На осциллограммах можно четко различить наличие двух пламен (см. рис. 5).

Температурные профили при горении этилендинитроаминна были получены в интервале давлений 6,4—71 ат. Температура горения ЭДНА (~ 2300 К) не изменяется с ростом давления. Измеренная температура горения на 250—300° ниже расчетного значения. Конденсированная фаза ЭДНА в отличие от тетрила и пикриновой кислоты [24, 29] в изученном интервале давлений не прогревается

Таблица 3

Измеренные температуры поверхности (T_n) и максимальная температура горения (T_{max}) тетранитроанилина при различных давлениях.

p , ат	T_n , °C	T_{max} , °C
1	410±15	1030±60
5	465±15	2300±60
26	490±20	2340±20

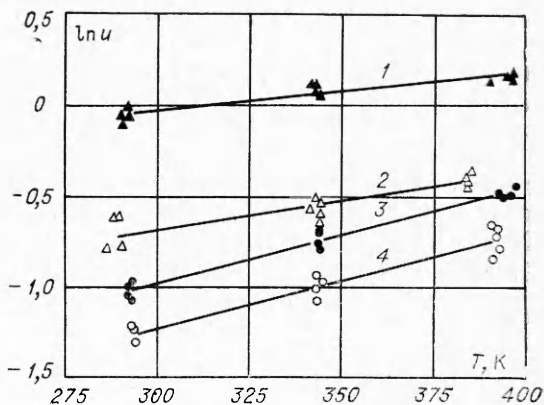


Рис. 9. Зависимость скорости горения этилендинитроаминна от начальной температуры при:

1 — $p=70$ ат, $\beta=2,14 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$; 2 — $p=32$ ат, $\beta=2,94 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$; 3 — $p=18$ ат, $\beta=5,33 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$; 4 — $p=12$ ат, $\beta=5,26 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$.

потоком излучения из пламени. Это можно связать или с высокой прозрачностью вещества, или с малой интенсивностью потока излучения (низкая степень черноты пламени). Температура поверхности ЭДНА увеличивается от 310 до 500°C. Это соответствует теплоте испарения 13,2 ккал/моль (рис. 7), если считать, что T_n — температура кипения вещества. В области низких давлений (до перелома на кривой $u(p)$) на осциллограммах (см. рис. 5) выше точки, соответствующей T_n , видна пульсация температуры обусловленная, по-видимому, вспениванием вещества за счет реакций, протекающих в конденсированной фазе. На осциллограммах так же, как и на фоторегистрограммах, вторичного пламени при горении ЭДНА не обнаружено.

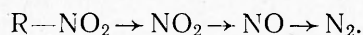
Зависимость $u(T_0)$ N-нитроанилина представлена на рис. 8. При $T_0 = -67^\circ\text{C}$ горение не распространяется, а при 0°C оно сопровождается пульсациями и остановками фронта. С повышением T_0 ($T_c > 10^\circ\text{C}$) N-нитроанилин устойчиво горит вплоть до 70°C . Термостатирование заряда при 75°C через 12—14 мин приводило к самовоспламенению. Температурный коэффициент скорости горения твердого вещества $\beta = 10,3 \times 10^{-3}$ град $^{-1}$ меньше, чем для расплава ($\beta = 15,3 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$).

Влияние начальной температуры на скорость горения ЭДНА до перелома на кривой $u(p)$ значительно более сильное, чем после перелома (рис. 9). Это можно объяснить переходом ведущей реакции из конденсированной фазы (или из пенной зоны) в зону с максимальной температурой, находящуюся в газовой фазе. Увеличение показателя ν в законе горения также, по-видимому, можно считать подтверждением высказанного предположения. Если ведущей при горении является бимолекулярная реакция (для большинства N-нитросоединений $\nu = 1$), идущая при температуре, близкой к максимальной, то отложив данные, приведенные на рис. 2, в координатах

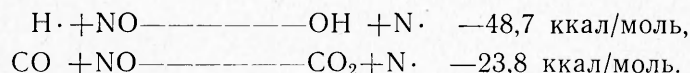
$$\ln u \sqrt{\frac{(T_{\max} - T_0)^3}{T_{\max}}}, \quad 1/T_{\max},$$

как это сделано в [30], можно рассчитывать энергию активации определяющей стадии. Действительно, точки удовлетворительно ложатся на прямую с тангенсом угла наклона, отвечающему $E = 16$ ккал/моль. Эта величина близка к энергии активации восстановления N_2O в пламени [31, 32].

Отмеченные особенности при горении N-нитросоединений объясняются, по-видимому, различными путями восстановления окислителя. При горении C- и O-нитросоединений азот восстанавливается по схеме



Малая реакционная способность окиси азота, обуславливающая появление вторичного пламени, связана с тем, что восстановление NO требует участия в реакции двух молекул, содержащих азот⁴ [33—35], так как бимолекулярные реакции с окисью азота, приводящие к разрыву связи —N—O, идут с поглощением тепла из-за образования атомарного азота:



Наличие в N-нитроаминках уже готовой группировки азот — азот меняет путь восстановления окислителя: $\text{RN}-\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. Именно от-

⁴ Известно, что взаимодействие NO с горючими подчиняется третьему порядку [35—37].

существование стадии раскисления окиси азота обуславливает более полное превращение и относительно высокие скорости горения, которые отмечались при горении N-нитросоединений.

Таким образом, даже внутри одного класса взрывчатых соединений (нитросоединения), горящих за счет взаимодействия горючего и окислителя, образующихся на начальной стадии, активность и строение последнего оказывает существенное влияние на величину скорости горения и полноту превращения.

Московский химико-технологический институт
им. Д. И. Менделеева

Поступила в редакцию
8/IX 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. W. G. Parker, H. G. Wolfhard. 4-th Symposium (International) on Combustion, Baltimore, 1953, p. 420.
2. J. Cambourieu, G. Moreau a. o. Sci. Ser. C, 1969, 269 (17) 948.
3. J. Cambourieu, G. Moreau a. o. AIAA J., 1970, 3, 594.
4. В. Д. Алешин, Б. С. Светлов, А. Е. Фогельзанг. Докл. АН СССР, 1969, 185, 856.
5. А. Е. Фогельзанг, Б. С. Светлов. Докл. АН СССР, 1970, 192, 1322.
6. А. Е. Фогельзанг, В. Я. Аджемян, Б. С. Светлов. Докл. АН СССР, 1971, 199, 1296.
7. A. J. V. Robertson. Trans. Farad. Soc., 1948, 44, 677; 1949, 45, 85.
8. J. Feltun, J. Simecek. Sbornik Vojenska Akademie A. Z., 1960, 8, 4, 83.
9. Б. С. Светлов. Докт. дис. М., 1970.
10. Ю. Я. Максимов, Г. И. Егорычева. Кинетика и катализ, 1971, 12, 4, 821.
11. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение ВВ. М., «Наука», 1966.
12. А. П. Глазкова, А. И. Терешкин. ЖФХ, 1961, 35, 1622.
13. Б. Н. Кондриков, Е. М. Свиридов. ФГВ, 1971, 7, 2, 204.
14. T. W. Taylor. Comb. and Flame, 1962, 6, 2, 103.
15. R. Grain, A. Lamberton. J. Chem. Soc., 1949, 1663.
16. А. Л. Фридман, В. П. Ившин, С. С. Новиков. Усп. химии, 1969, 38, 1448.
17. Е. Ю. Орлова, В. Ф. Жилин и др. Руководство к лабораторному практикуму по получению нитросоединений. М., МХТИ, 1969.
18. G. F. Wright. Can. J. Chem., 1952, 30, 62.
19. N. Henry, S. Skolik, G. B. L. Smith. J. Am. Soc., 1953, 75, 955.
20. E. Vamberger. Ber., 1920, 253, 2321.
21. J. Thiele. Ann. Chem., 1899, 273, 133.
22. A. A. Lamberton. Quart. Revs (London), 1951, 1, 75; Sartar Sing, J. Ind. Research, 1956, 55A, 10, 450.
23. А. А. Зеин. Канд. дис., М., 1962.
24. А. Д. Марголин, А. Е. Фогельзанг. ФГВ, 1966, 2, 2, 10.
25. К. К. Андреев, М. С. Плясунов.— В сб.: Теория ВВ. М., «Высшая школа», 1967.
26. А. П. Глазкова. ФГВ, 1971, 7, 2, 211.
27. К. К. Андреев, М. С. Плясунов. Ж. ВХО им. Д. И. Менделеева, 1963, 8, 586.
28. S. Brownstein, C. A. Bunton, E. D. Hughes. Chemistry and Industry, 1956, 981; J. Chem. Soc., 1958, 4354.
29. А. Е. Фогельзанг, А. Д. Марголин и др. ФГВ, 1975, 11, 5.
30. Б. Н. Кондриков, В. М. Райкова, Б. С. Самсонов. ФГВ, 1973, 9, 1.
31. C. P. Fenimore, G. W. Jones. J. Phys. Chem., 1959, 63, 1154; X-th Symposium (International) on Combustion, 1964, p. 489.
32. H. W. Melville, J. Chem. Soc., 1934, 1243.
33. А. И. Розловский. ЖФХ, 1956, 30, 912.
34. А. И. Розловский. Докл. АН СССР, 1971, 196, 152.
35. G. N. Hinshelwood, T. Green. J. Chem. Soc., London, 1926, 730.
36. G. N. Hinshelwood, J. W. Mitchell. J. Chem. Soc., London, 1936, 378.
37. C. P. Fenimore. J. Am. Chem. Soc., 1947, 69, 3143.
38. Б. А. Лурье, Б. С. Светлов. ЖФХ, 1969, 43, 2737.