

рации $\langle c \rangle = 0,5$ полученной путем последовательной смены во времени мгновенных значений $c=1$ и $c=0$, эффективное значение концентрации при реакции второго порядка будет равно $\sqrt{\langle c^2 \rangle} \approx 0,71$, т.е. больше $\langle c \rangle = 0,5$. Соответственно наблюдаемая скорость реакции будет в два раза больше расчетной при $c = \langle c \rangle$ и, следовательно, в два, а не в четыре раза меньше скорости реакции при $c = c_m = 1$.

Заметим, что в расчете была произведена также численная оценка при тех же значениях параметров величины отношения

$$\tau = \frac{\langle T' \exp \left[-\frac{E}{RT(t)} \right] \rangle}{V \langle T'^2 \rangle \langle \exp \left[-\frac{E}{RT(t)} \right] \rangle},$$

представляющего интерес для учета влияния турбулентных пульсаций температуры при горении в балансе турбулентной энергии. Расчет показал, что значение τ ограничено и по порядку величины в первом приближении равно единице (в области низких температур оно достигает примерно 1,5—2; в области сравнительно высоких при $\langle T \rangle \approx 0,4—0,5$ падает до $\sim 0,2—0,3$).

В заключение автор выражает благодарность А. Л. Генкину за содействие в проведении численных расчетов.

Поступила в редакцию
30/IX 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович. ЖТФ, 1949, 19, 1199.
2. Л. А. Вулис. Изв. АН КазССР., сер. энергет., 1959, 1, 66; сб. «Третье Всес. совещ. по теории горения», т. 1, стр. 86. М., Изд-во АН СССР, 1960.
3. Л. А. Вулис, Ш. А. Ершин, Л. П. Ярин. Основы теории газового факела. Л., «Энергия», 1968.
4. М. Б. Хажателев, Л. П. Ярин. Теплофиз. выс. темп., 5, 1965.
5. В. Р. Кузнецов. Сб. «Второй Всес. симпозиум по горению и взрыву». Черноголовка, 1969; сб. «Третий Всес. симпозиум по горению и взрыву», АН СССР. Черноголовка, 1971.
6. Л. А. Вулис. Сб. «Третий Всес. симпозиум по горению и взрыву». Черноголовка, 1971.

УДК 536.46

О ВЛИЯНИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРЮЧЕГО И ОКИСЛИТЕЛЯ НА ХАРАКТЕР ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ СМЕСОВОГО СОСТАВА ОТ ДИСПЕРСНОСТИ ГОРЮЧЕГО

Л. Д. Ромоданова, В. М. Мальцев, П. Ф. Похил
(Москва)

Известно, что скорость горения смешанного состава зависит как от размера частиц окислителя, так и от размера частиц горючего [1]. Существенное влияние на характер зависимости скорости горения смешанного состава от дисперсности горючего и окислителя оказывают физико-химические свойства последних [2—3].

Для того, чтобы проследить влияние физико-химических свойств горючего и окислителя на характер зависимости скорости горения смешанного состава от дисперсности горючего, были исследованы стехио-

Таблица 1

Физико-химические свойства окислителей и горючих [4]

Название	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$
<i>Окислители</i>		
NH_4ClO_4	> 200 (возг., разл.)	—
$KClO_4$	610 (плав. с разл.)	—
$KMnO_4$	> 200 (разл.)	—
<i>Горючие</i>		
Янтарная кислота	185	235 (разл.)
Аспирин	135—140 (разл.)	—
Фталевая кислота	191 (разл.)	—
Сульфаниловая кислота	288 (разл.)	—
Лактоза	201,6 (разл.)	—
Глицин	233 (разл.)	—
Мочевина	132,7 (разл.)	—
Стеариновая кислота	70	291(100)
Бензойная кислота	122	250
Гидрохинон	170,5	286,2
Азобензол	68	297
Бензидин	128	401,7
Пентаэритрит	253	—
Сорбит	110—111	—
Норсульфазол	202—202,5	—
Метол	Твердеет	250—260
Ацетилцеллюлоза	»	—
Декстрин	Разлагается	—
Нафтионовая кислота	»	—
Мочевая кислота	»	—
Метаниловая кислота	»	—
Антрахинон	286 (возг.)	340
Салициловая кислота	159 (возг.)	—
Антрацен	216,1 (возг.)	—
Уротропин	Возг.	—
Нитробензойная кислота	»	—
Терефталевая кислота	> 300 (возг.)	—
Нафталин	80,1	218

метрические составы на основе окислителей и горючих, представленных в табл. 1.

Составы запрессовывались в 5-миллиметровой прессформе до максимальной плотности, сжигались в бомбе в атмосфере азота. Скорость горения составов измерялась фоторегистром. Окислители имели размер частиц <100 м, горючие брались двух фракций: 1) 50—63 м, 2) 250—314 м.

Определенный интерес представляет исследование структуры поверхности конденсированных систем при горении. Такое исследование позволяет ответить на ряд вопросов, связанных с процессами, протекающими на границе конденсирования фаза — факел пламени. Для исследования процессов, протекающих на поверхности составов при горении, использован фотографический метод.

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки для исследования структуры поверхности горения. Исследуемый образец

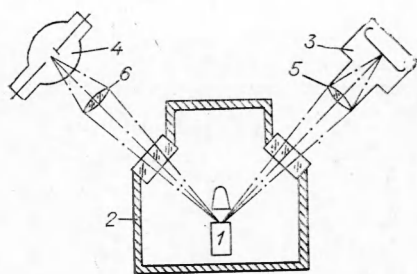


Рис. 1. Схема установки для исследования структуры поверхности горения.

помещался в бобину постоянного давления 2. Для наблюдения за процессом горения бомба снабжена окнами, плоскость которых расположена под углом 45° к поверхности горения образца. Поверхность топлива в процессе горения фотографировалась киносъемочной камерой типа «Конвас», в ряде случаев использовалась кинокамера типа СКС-1М. Изображение поверхности горения исследуемого образца с помощью объектива 5 «Юпитер-9» проектировалось на пленку кинокамеры с увеличением $1,5\times$ (расчетная глубина резкости составила 4 мм). Кинокамера крепилась на оптическом рельсе, с помощью которого могла осуществляться съемка поверхности горения под углами от 25 до 45° .

Предварительные эксперименты показали, что съемка поверхности горения без внешней подсветки неэффективна, поскольку освещенность поверхности горения только за счет собственного излучения факела пламени мала. В связи с этим была применена мощная подсветка ксеноновой лампой 4 типа ДКС ВДШ-1000. Для равномерного освещения поверхности горения применялся объектив 6 типа «Таир-3». Соответствующий подбор спектральных светофильтров позволил полностью избежать получения на фотопленке изображения факела пламени. Температура поверхности составов измерялась методом «сапфирового светопровода» [5].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из результатов, приведенных в табл. 2 видно, что чем меньше размер частиц горючего, тем больше скорость горения состава на основе окислителя перхлората аммония и всех исследованных горючих независимо от их физико-химических свойств. В случае горения составов на основе окислителя перхлората калия исследованных горючих зависимость скорости горения от размера частиц горючего имеет другой характер и здесь наиболее сильно проявляется влияние физико-химических свойств горючего и окислителя. Только составы с возгоняющимися горючими, такими как уротропин, нитробензойная кислота, терефталевая кислота, нафталин, антрацен, салициловая кислота имеют обычный характер зависимости скорости горения от дисперсности горючего: чем меньше размер частиц горючего, тем больше скорость горения состава.

Составы на основе твердых горючих, плавящихся и разлагающихся, имеют необычный характер зависимости скорости горения от дисперсности горючего: чем больше размер частиц горючего, тем больше скорость горения состава.

Составы на основе окислителя перманганата калия и исследованных горючих имеют обычный характер зависимости скорости горения от дисперсности горючего в интервале давлений от 1 до 120 кг/см^2 , т. е. чем выше дисперсность горючего, тем больше скорость горения состава (см. табл. 2).

На фотографиях рис. 2 представлены поверхности, образующиеся в процессе горения составов: (а) — перхлората аммония с янтарной

Таблица 2

Скорость горения составов, см/сек

Горючее	Дисперсность горючего, μ	Давление, кг/см ²							ν ($u=Bp^{\nu}$)
		10	20	40	60	80	100	120	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Окислитель NH_4ClO_4									
Янтарная кислота	50—63	0,30	0,48	0,64	0,76	0,82	0,86	0,90	0,362
	250—314	0,16	0,22	0,33	0,43	0,50	0,57	0,60	0,594
Фталевая кислота	50—63	0,52	0,58	0,71	0,84	0,96	1,08	1,21	0,387
	250—314	0,33	0,37	0,44	0,52	0,59	0,66	0,74	0,375
Азобензол	50—63	0,61	0,82	1,02	1,24	1,50	1,80	2,02	0,520
	250—314	0,50	0,66	0,70	0,76	0,86	0,94	1,02	0,280
Пентаэритрит	50—63	0,44	0,62	0,88	1,02	1,10	1,16	1,20	0,377
	250—314	0,16	0,26	0,37	0,46	0,53	0,58	0,60	0,461
Уротропин	50—63	0,76	0,95	1,22	1,50	1,86	2,03	2,12	0,469
	250—314	0,32	0,50	0,71	0,94	1,02	1,12	1,20	0,466
Нафталин	50—63	0,24	0,40	0,64	0,76	0,82	0,84	0,86	0,448
	250—314	0,18	0,28	0,46	0,54	0,60	0,64	0,66	0,473
Мстол	50—63	0,40	0,56	0,88	1,18	1,42	1,62	1,74	0,664
	250—314	0,30	0,48	0,78	1,0	1,13	1,24	1,30	0,590
Метаниловая кислота	50—63	0,46	0,68	1,16	1,56	1,94	2,32	—	0,834
	250—314	0,40	0,60	1,0	1,30	1,60	1,78	—	0,684
Окислитель KClO_4									
Янтарная кислота	50—63	0,23	0,40	0,60	0,80	0,94	1,08	—	0,455
	250—314	0,28	0,46	0,80	1,16	1,50	1,86	—	0,869
Аспирин	50—63	0,48	0,60	0,84	1,10	1,34	1,58	—	0,622
	250—314	0,56	0,72	1,12	1,50	1,90	2,28	—	0,717
Сульфаниловая кислота	50—63	0,38	0,52	0,76	0,94	1,08	1,38	—	0,544
	250—314	0,50	0,66	0,90	1,10	1,26	1,20	—	0,458
Фталевая кислота	50—63	0,70	0,80	1,10	1,40	1,70	2,0	—	0,551
	250—314	1,10	1,20	1,50	1,90	2,30	2,7	—	0,547
Глицин	50—63	0,34	0,46	0,72	1,00	1,26	1,34	—	0,751
	250—314	0,56	0,68	0,96	1,24	1,50	1,78	—	0,599
Мочевина	50—63	0,18	0,30	0,40	0,50	0,54	0,60	—	0,345
	250—314	0,22	0,34	0,46	0,54	0,60	0,70	—	0,345
Стеариновая кислота	50—63	0,18	0,24	0,42	0,72	1,10	1,62	—	1,18
	260—314	0,22	0,32	0,54	0,88	1,28	1,80	—	1,01
Бензойная кислота	50—63	0,52	0,64	0,88	1,06	1,24	1,42	—	0,495
	250—314	0,60	0,74	1,02	1,34	1,62	1,80	—	0,552
Лактоза	50—63	0,22	0,40	0,70	0,92	1,10	1,20	—	0,682
	250—314	0,40	0,56	0,86	1,14	1,36	1,53	—	0,628
Гидрохинон	50—63	0,30	0,50	0,88	1,24	1,56	2,00	—	0,861
	250—314	0,58	0,78	1,20	1,64	2,06	2,46	—	0,713
Азобензол	50—63	0,50	0,64	1,02	1,40	1,80	2,2	2,68	0,768
	250—314	0,82	0,92	1,30	1,70	2,10	2,48	2,86	0,613
Бензидин	50—63	0,74	1,12	1,52	1,60	1,97	2,30	—	0,591
	250—314	0,78	1,73	2,26	2,70	3,42	—	—	0,824
Пентаэритрит	50—63	0,33	0,72	1,12	1,64	2,18	2,70	—	0,882
	250—314	0,68	0,98	1,60	2,18	2,76	3,34	—	0,755
Сорбит	50—63	0,53	0,58	0,80	1,06	1,24	1,34	—	0,464
	250—314	0,60	0,70	1,14	1,53	1,80	2,06	—	0,660

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Норсульфазол	50—63 250—314	0,40 0,44	0,50 0,56	0,70 0,76	0,90 1,10	1,10 1,20	1,32 1,40	— —	0,563 0,562
Уротропин	50—63 250—314	0,88 0,50	2,50 1,40	4,10 2,66	5,16 3,40	5,80 3,80	6,36 4,16	6,68 4,36	0,582 0,668
Терефталевая кислота	50—63 250—314	0,98 0,74	1,08 0,85	1,30 1,08	1,54 1,30	1,76 1,53	1,98 1,76	— —	0,350 0,453
Нитробензойная кислота	50—63 250—314	0,50 0,38	0,70 0,56	1,18 0,98	1,52 1,30	1,76 1,56	1,90 1,74	— —	0,790 0,661
Нафталин	50—63 250—314	0,68 0,50	0,88 0,62	1,36 1,10	1,80 1,60	2,28 2,16	2,76 2,50	— —	0,849 0,849
Антрахинон	50—63 250—314	0,36 0,30	0,70 0,40	1,5 0,8	2,1 1,20	3,0 1,40	3,8 1,6	— —	1,08 0,90
Салициловая кислота	50—63 250—314	0,56 0,50	0,76 0,66	1,06 0,90	1,30 1,14	1,58 1,34	1,84 1,46	— —	0,549 0,504
Антрацен	50—63 250—314	0,30 0,20	0,70 0,60	1,50 1,10	2,40 1,90	3,40 3,00	4,10 3,80	— —	1,10 1,26
Метол	50—63 250—314	0,40 0,46	0,46 0,56	0,58 0,70	0,72 0,92	0,85 1,10	0,98 1,28	— —	0,492 0,682
Ацетилцеллюлоза	50—63 250—314	0,28 0,30	0,40 0,48	0,60 0,80	0,80 1,10	0,97 1,36	1,08 1,54	— —	0,651 0,725
Декстрин	50—63 250—314	0,43 0,38	0,54 0,60	0,76 0,80	0,82 0,90	0,86 0,94	— —	— —	0,791 0,765
Нафтионовая кислота	50—63 250—314	0,30 0,34	0,42 0,48	0,70 0,84	0,70 0,98	0,72 0,99	0,74 1,00	— —	0,312 0,430
Мочевая кислота	50—63 250—314	0,40 0,46	0,46 0,58	0,65 0,88	0,86 1,18	1,05 1,50	1,24 1,79	— —	0,564 0,696
Метаниловая кислота	50—63 250—314	0,72 0,80	0,76 0,82	0,80 0,84	0,90 1,12	1,20 1,60	1,66 2,16	— —	0,495 0,622
Окислитель KMnO_4									
Фталевая кислота	50—63 250—314	0,46 0,24	0,56 0,32	0,64 0,42	0,72 0,44	0,76 0,48	0,78 0,50	— —	0,203 0,277
Бензойная кислота	50—63 250—314	0,42 0,36	0,54 0,54	0,90 0,82	1,02 0,96	1,08 1,00	1,10 1,02	— —	0,444 0,396
Пентаэритрит	50—63 250—314	0,24 0,18	0,34 0,30	0,50 0,40	0,56 0,42	0,58 0,42	0,60 0,44	— —	0,352 0,239
Уротропин	50—63 250—314	0,30 0,14	0,38 0,20	0,50 0,32	0,60 0,38	0,64 0,43	0,68 0,48	— —	0,362 0,544
Нафталин	50—63 250—314	0,28 0,26	0,46 0,40	0,52 0,48	0,58 0,50	0,64 0,52	0,68 0,54	— —	0,244 0,186
Декстрин	50—63 250—314	0,24 0,10	0,32 0,16	0,40 0,26	0,45 0,32	0,54 0,34	0,56 0,36	— —	— —
Нафтионовая кислота	50—63 250—314	0,36 0,20	0,42 0,26	0,52 0,34	0,60 0,44	0,60 0,48	0,62 0,52	— —	0,244 0,431
Янтарная кислота	50—63 250—314	0,34 0,14	0,38 0,18	0,40 0,20	0,42 0,24	0,44 0,26	0,46 0,28	— —	0,119 0,276
Окислитель KClO_4									
Сорбит	50—63 250—314	0,53 0,60	0,58 0,70	0,80 1,14	1,06 1,53	1,24 1,80	1,34 2,06	— —	0,464 0,660
Сорбит+2% соды	50—63 250—314	0,50 0,40	0,84 0,66	1,30 0,94	1,46 0,98	1,56 0,98	1,62 1,00	— —	0,408 0,260
Пентаэритрит	50—63 250—314	0,33 0,68	0,72 0,98	1,12 1,60	1,64 2,18	1,18 2,86	2,70 3,34	— —	0,882 0,755
Пентаэритрит + +2% соды	50—63 250—314	0,36 0,30	0,50 0,44	0,84 0,62	1,14 0,70	1,34 0,74	1,50 0,76	— —	0,682 0,330

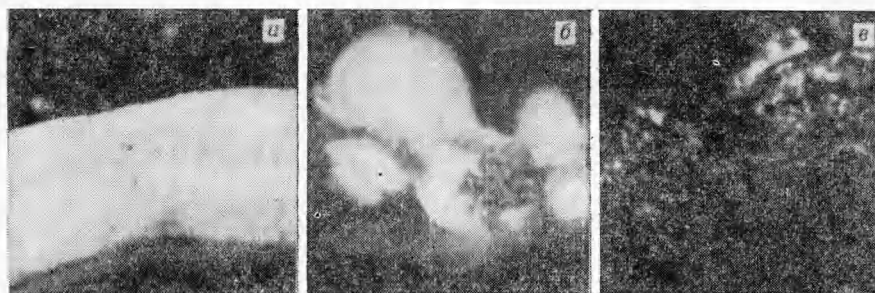


Рис. 2. Фотографии поверхности горения, $p \sim 5 \text{ кг/см}^2$.

кислотой, (б) — перхлората калия с янтарной кислотой, (в) — перманганата калия с янтарной кислотой. Фотографии сняты при атмосферном давлении. На фотографии (б) виден жидкий слой и его отдельные капли.

В случае горения составов на основе перхлората калия и исследованных горючих образуется слой остатка, состоящий из жидких и твердых продуктов реакции. Горение продуктов реакции может происходить либо над слоем остатка, либо внутри его. Остаток удерживает частицы горючего от уноса газом.

При горении составов с возгоняющимися горючими образующийся слой остатка под действием их диспергируется, что и приводит к зависимости, аналогичной зависимости скорости горения от размера частиц горючего для составов на основе окислителя перхлората аммония.

Для составов на основе плавящихся горючих и окислителя можно создать условия, при которых жидкий слой в процессе горения будет разбрызгиваться и зависимость скорости горения состава от размера частиц горючего будет аналогична зависимости скорости горения состава от размера частиц горючего на основе перхлората аммония и исследованных горючих (см. табл. 2). Жидкий слой разбрызгивается под действием образующейся двуокиси углерода.

Горение составов на основе окислителя перманганата калия сопровождается образованием конденсированного остатка, нарастающего непрерывно по мере горения. Горение продуктов идет внутри слоя остатка. Объем пористого шлака в одних случаях равен объему первоначального заряда, в других превышает его.

Таблица 3
Температура поверхности и скорость горения различных составов ($p \sim 5 \text{ кг/см}^2$)

Состав	Размер частиц горючего, μ	u , см/сек	$T_{\text{п}}$, °C
NH_4ClO_4 + янтарная кислота	250	0,10	620 ± 20
NH_4ClO_4 + янтарная кислота	50	0,18	640 ± 20
KClO_4 + янтарная кислота	250	0,25	540 ± 20 ; 660 ± 20
KClO_4 + янтарная кислота	50	0,20	530 ± 20 ; 650 ± 20
KClO_4 + янтарная кислота + 2% соды	Не рассеян.	—	540 ± 20 ; 630 ± 20
KMnO_4 + янтарная кислота	250	0,131	710 ± 20
KMnO_4 + янтарная кислота	50	0,22	720 ± 20

Из табл. 3 видно, что температура поверхности T_n и скорость горения для составов на основе окислителей перхлората аммония, перхлората калия, перманганата калия и горючего янтарной кислоты мало зависят от размера частиц горючего ($\rho \sim 5 \text{ кг/см}^3$).

При горении зарядов, на поверхности которых имеется расплавленный слой, скорость горения зависит не только от скорости диффузии и скорости реакции в газовой фазе, но и от скорости конвективного переноса жидкого окислителя в результате его разбрызгивания потоком газа.

Влияние жидкого слоя на скорость горения рассматривалось рядом авторов. В работе [6] отмечено, что составы на основе окислителя перхлората аммония с плавкими горючими горят быстрее, чем составы с неплавкими горючими. Это объясняется тем, что в случае плавких горючих продукты разложения окислителя проходят через слой расплава.

В работе [7] жидкий слой затруднял горение состава, так как слой расплава подавлял пламя $\text{NH}_3 + \text{HClO}_4$ вокруг кристаллов ПХА. В работе [8] рассматривалось влияние расплавленного слоя на поверхности заряда на зависимость скорости горения от начальной температуры. Авторы делают вывод, что в случае систем с расплавленным слоем на поверхности заряда начальная температура может влиять на скорость горения через изменение толщины расплавленного слоя. Жидкий слой неодинаково влияет на скорость горения при низких и при высоких давлениях. При низких давлениях, когда удельный объем газа велик, разбрызгивание слоя обеспечивает эффективный перенос жидкого окислителя к частицам горючего. При высоких давлениях, когда удельный объем газа мал, наличие на поверхности почти сплошного, малоподвижного жидкого слоя может препятствовать горению.

В настоящей работе показано, что в случае плавкого окислителя и не возгоняющегося горючего скорость горения состава с крупнодисперсным горючим больше скорости горения состава с мелкодисперсным горючим. По-видимому, при наличии жидкого слоя приобретает большое значение в процессе горения теплопередача из зоны горения к свежему веществу. Она осуществляется легче через крупные кристаллы, чем через мелкие. В случае крупного зерна возможность проникновения горючих газов и жидких продуктов реакции в поры, вероятно, больше, чем в случае мелкого. Эта зависимость нарушается как только удастся разбросать жидкий слой. Следовательно, жидкий слой на поверхности заряда оказывает влияние на зависимость скорости горения от давления, от начальной температуры и от дисперсности компонентов.

Для всех составов был определен показатель степени ν в формуле $U = b\rho^\nu$. Для составов на основе окислителя перхлората аммония и органических горючих ν меняется в пределах 0,4—0,5 при дисперсности горючих 50—63 μ и $\nu \sim 0,3—0,6$ для составов с дисперсностью горючих 250—314 μ . Исключением является состав перхлората аммония с метаниловой кислотой, для которого $\nu \sim 0,8$ (дисперсность горючего 50—63 μ) и $\nu \sim 0,7$ (дисперсность горючего 250—314 μ). Составы перхлората калия с органическими горючими имеют показатель степени $\nu \sim 0,3—1$ (дисперсность горючих 50—63 μ) и $\nu \sim 0,3—1,3$ (дисперсность горючих 250—314 μ). Для составов на основе окислителя перманганата калия и органических горючих наблюдается наименьший показатель степени $\nu \sim 0,1—0,4$ (при дисперсности горючих 50—63 μ) и $\nu \sim 0,3—0,5$ (дисперсность горючих 250—314 μ).

Поступила в редакцию
3/VIII 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Бахман, А. Ф. Беляев. Горение гетерогенных конденсированных систем. М., «Наука», 1967.
2. П. Ф. Похил, Л. Д. Ромоданова, О. П. Рысакова-Ромашкан. ЖФХ, 1962, 36, 1331.
3. Л. Д. Ромоданова, В. И. Рощупкин. ЖФХ, 1962, 36, 1554.
4. Краткий справочник химика. М., НТИ химической литературы, 1955.
5. П. Ф. Похил, В. М. Мальцев и др. ЖФХ, 1968, 42, 9.
6. А. П. Глазкова. ЖФХ, 1963, 37.
7. E. A. Arden, J. Powling, W. A. W. Smith. Combustion and Flame, 1962, 6, 1, 21.
8. Ю. С. Кичин, Н. Н. Бахман. ФГВ, 1970, 6, 4.

УДК 536.46+662.311

К ВОПРОСУ О СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО СМЕСЕВОГО ПОРОХА

В. М. Захаров, Л. А. Клячко

(Москва)

1. В настоящее время еще не создана количественная теория горения твердых смесевых топлив. Поэтому попытки разработать хотя бы приближенную количественную теорию горения даже простейшей смесевой системы представляют несомненный интерес.

В качестве такой системы в литературе рассматривался модельный смесевой порох, представляющий собой механическую смесь мелкоизмельченных нитрата калия (окислитель) и древесного угля (горючее). Для этого пороха получены экспериментальные зависимости скорости горения от его состава (соотношения компонентов), начальной температуры и внешнего давления [1—3]. Интерес к изучению горения двойных смесей нитрата калия с древесным углем связан также с тем обстоятельством, что указанная смесь является основой дымного (черного) пороха, в состав которого входит, кроме того, около 10% серы.

Теоретический анализ процесса горения таких смесей содержится в работах О. И. Лейпунского [4] и Б. В. Новожилова [5, 6]. Автор работы [4] предполагает, что частицы угля увлекаются продуктами газификации селитры и в процессе своего движения реагируют с газообразным окислителем. Выделяющееся при реакции тепло идет на нагрев твердого пороха и газообразных продуктов его разложения. Для двух предельных случаев (диффузионный или кинетический режим горения частиц угля) оценивается зависимость скорости горения пороха от внешнего давления и размера частиц. При этом считается, что частицы мгновенно увлекаются потоком газообразных продуктов разложения окислителя и не учитываются затраты тепла на его газификацию. В диффузионном случае скорость горения пропорциональна квадратному корню из давления и обратно пропорциональна диаметру частиц, а в кинетическом — пропорциональна давлению и обратно пропорциональна корню квадратному из диаметра частиц.

Если в работе [4] дается в основном качественное рассмотрение вопроса, то в [5] на базе тех же представлений составляется система дифференциальных уравнений, описывающих процесс горения, и приводится приближенное ее решение. Результаты расчета зависимости