

А. В. ДУБОВИК, А. А. ГОНЧАРОВ, В. К. БОБОЛЕВ, К. В. ЛЕОНОВ

## СВЕЧЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ С МАЛОЙ СКОРОСТЬЮ В НИТРОГЛИЦЕРИНЕ

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 8 I 1974)

При фоторегистрации свечения детонации с малой скоростью (д.м.с.) с боковой поверхности зарядов жидких взрывчатых веществ (ж.в.в.) часто наблюдаются два фронта свечения с одинаковой или различной скоростью распространения (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>). В промежутке между фронтами свечение ослаблено; часто оно вообще не регистрируется. Полагали, что первым источником света является непосредственно фронт д.м.с., а второй связан либо со свечением продуктов взрыва (п.в.), разлетающихся с боковой поверхности после разрушения оболочки заряда (<sup>2</sup>), либо со свечением фронта другой детонационной волны, распространяющейся вслед за первой (<sup>3</sup>). Позднее было высказано мнение, что наличие двух фронтов свечения связано со стадийностью протекания реакции во фронте д.м.с. (<sup>4</sup>).

Надо сказать, что отсутствие строгих экспериментальных доказательств той или иной причины наблюдающегося характера свечения д.м.с. приводит к несостоятельности рассмотренных предположений. Известно, с другой стороны, что фронт д.м.с. вогнут в сторону распространения (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>). В зарядах нитроглицерина (НГЦ) круглого сечения форма поверхности фронта приближенно напоминает параболоид вращения с вершиной на оси заряда. Насколько стационарна такая волновая конфигурация судить трудно, поскольку соответствующие исследования не проводились. Если предположить, что в периферийных и прилегающих к оси заряда участках фронта д.м.с. взрывная реакция по некоторым причинам протекает с большей скоростью, чем в остальных, то вывод о характере свечения д.м.с. прямо следует из особенностей структуры ее фронта.

Применение традиционных оптических методов регистрации свечения поверхности фронта детонации в конденсированных веществах (<sup>4</sup>) невозможно в случае д.м.с. зарядов ж.в.в. в цилиндрических оболочках вследствие указанной особенности структуры фронта, а также из-за разрушения оболочки и кавитации жидкости впереди фронта д.м.с. (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>). Поэтому опыты проводились с зарядами специальной конструкции (рис. 1), в которых перечисленные неблагоприятные факторы не оказывали заметного влияния на регистрацию свечения д.м.с. Как видно из дальнейшего, в указанных опытах д.м.с. сохраняла характерные особенности процесса в цилиндрических зарядах. На рис. 1а, б показан вид заряда сверху и сбоку соответственно. Полуцилиндрическая стеклянная оболочка 3 радиусом  $R=11$  мм (толщина стенок 1,5 мм) и длиной 120 мм (д.м.с. стабильно распространялась в зарядах длиной 200 мм) приклеивалась к плексигласовому блоку 4 квадратного сечения  $50 \times 50$  мм<sup>2</sup>. Время однократной циркуляции упругого возмущения через блок составляет  $\sim 40$  мсек., что заметно превышало характерное время регистрации свечения. Известно также (<sup>7</sup>), что ударный импеданс плексигласа в области малых давлений приблизительно совпадает с импедансом НГЦ 6, который исследовался в данной работе. По этим причинам представляется возможным интерпретировать получен-

ные результаты в рамках сформулированного принципа. Инициирование детонации осуществлялось зарядом содата 1 (50/50 ТНТ/NaCl) насыпной плотности диаметром 30 мм через пластину 2 из текстолита толщиной 2 мм и размером  $100 \times 100 \text{ мм}^2$ .

Рассмотрим результаты оптических исследований свечения д.м.с. со стороны плоской поверхности заряда.

1. Щель фоторегистра направлена вдоль оси заряда 8. Внутри заряда к блоку 4 приклеена изогнутая полоска 7 Al фольги толщиной 0,1, шириной 5, радиусом 7 мм и длиной дуги  $\geq \pi/2$  рад. Фотограмма процесса на фоне яркого экрана приведена на рис. 2а. Стекло-стенка постепенно теряет прозрачность за фронтом упругой волны ( $C = 5,2 \text{ км/сек}$ ). Точкой  $\Phi$  показано положение фольги, которая помещалась на расстоянии 75 мм от преграды. Хорошо видно, что фольга экранирует свечения 1-го фронта ( $D_1 = 2,1 \text{ км/сек}$ ), который распространяется вдоль стеклянной поверхности, и не препятствует регистрации свечения 2-го фронта ( $D_2 = 1,6 \text{ км/сек}$ ), который захватывает центральные участки заряда вблизи плексигласовой стенки. Промежуток времени между фронтами составляет  $\sim 23 \text{ мксек}$ .

2. Щель фоторегистра перпендикулярна оси заряда 9. Условия опыта те же, что и в п. 1. Результат съемки показан на рис. 2б. Общая картина явления сходна с приведенной на рис. 2а, однако обнаруживаются некоторые новые детали процесса.  $C$  — фронт упругой волны по стеклу. В промежутке между  $C$  и первым свечением  $D_1$  фронта д.м.с. заметно радиальное расширение оболочки, деформация которой в точке  $P$  достигает  $\Delta R/R \approx 0,12$ . Разлет оболочки  $P$  начинается спустя  $\sim 6,5 \text{ мксек}$  после вступления фронта д.м.с. Свечение в центральной области заряда  $D_2$  появляется лишь через  $\sim 21 \text{ мксек}$ .

Из экспериментов можно сделать предварительный вывод о существовании односторонней зависимости между наблюдающимися фронтами свечения при д.м.с. Несомненно, что реакция во внутренней области заряда, ответственная за второе свечение, возникает под влиянием движения фронта реакции вдоль стеклянной оболочки. Обратная связь, по-видимому, очень слаба или вообще отсутствует.

Энергетические и спектральные характеристики свечения д.м.с. в НГЦ изучались с помощью электронно-оптического метода

(8). Постановка опытов оставалась прежней, за исключением того, что на обращенной к фотоэлектронной установке плоской поверхности заряда устанавливался экран с диафрагмой 5 диаметром 3,3 мм на расстоянии 75 мм от пластины 2 (фольга отсутствовала). В опытах измерялась яркость свечения д.м.с.  $S_\lambda$  на четырех значениях длин волн видимого света от  $\lambda_1 517$  до  $\lambda_4 742 \text{ нм}$  (использовались интерференционные светофильтры). Предварительно было установлено, что в указанной области спектра НГЦ и плексиглас являются прозрачными объектами. Типичная осцилло-

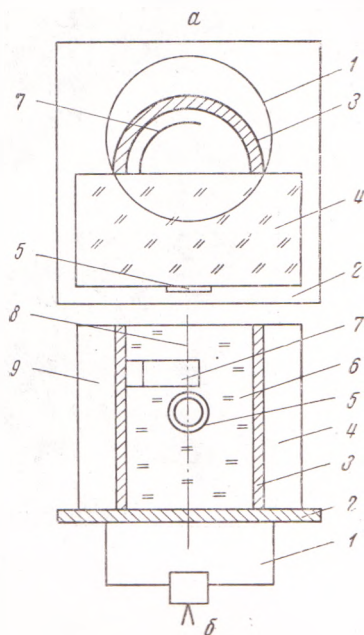


Рис. 1

Таблица 1

Фронт	$T_1, ^\circ\text{K}$ ( $\lambda_1 517 \text{ нм}$ )	$T_2, ^\circ\text{K}$ ( $\lambda_2 742 \text{ нм}$ )	$T_3, ^\circ\text{K}$	$T_4, ^\circ\text{K}$
1	3350	3250	3600	3800
2	3400	3250	3800	4000



грамма записи свечения д.м.с. ( $D=2,1$  км/сек) представлена на рис. 3 (масштаб времени 20 мксек/см, верхний луч  $\lambda_1$  742, нижний  $\lambda_2$  558 нм). Регистрируемое свечение имеет 2 характерных максимума, разделенных промежутком времени  $\sim 27$  мксек. Установлено, что появление первого максимума на осциллограмме совпадает по времени с моментом прохожде-

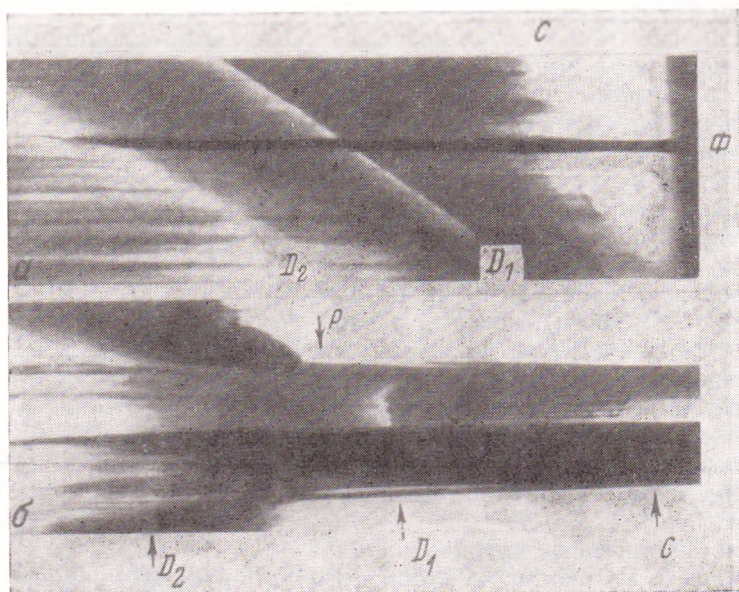


Рис. 2

ния фронта  $D_1$  вдоль участка заряда с диафрагмой. В аналогичных опытах с фольгой (п. 1,2) первый максимум не регистрировался.

Величины отклонения лучей осциллографа измерялись в точках максимумов осциллограмм. По этим данным строился график зависимости

$F(\lambda, T) = -\lg(S_{\lambda}\lambda_i^5/S_{\lambda}\lambda_i^5)$  от  $\Lambda_i^{-1} = \lambda_1^{-1} - \lambda_i^{-1}$  ( $i=2, 3, 4$ ). Установка градуировалась по свечению нормальной детонации НГЦ ( $T=4000^\circ\text{K}$ ) (<sup>8, 9</sup>). Для обоих фронтов свечения указанная зависимость оказалась линейной, что говорит о серости излучения д.м.с. В табл. 1 представлены рассчитанные из экспериментов значения яркостных температур  $T_1$  (на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ), цветовой температуры  $T_2$  и средней температуры  $T_3$  по зависимости  $F(\lambda, T)$  от  $\Lambda^{-1}$  для двух фронтов свечения д.м.с. Погрешность определения  $T_1$  составляла  $\pm 200^\circ\text{K}$ . Из табл. 1 видно, что температура фронта д.м.с. в НГЦ незначительно отличается от

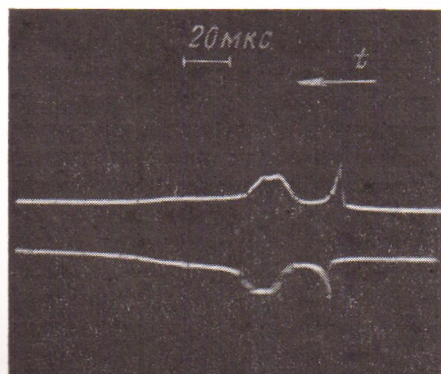


Рис. 3

температуры при нормальной детонации, несмотря на большую разницу давлений в п.в. (10 и 250 кбар соответственно (<sup>9, 10</sup>)). Отсюда следует, что механизмы разложения НГЦ в случае указанных режимов детонации совпадают. Пониженная яркость свечения д.м.с. в сравнении с нормальной детонацией свидетельствует о протекании реакции лишь в отдельных оча-

гах на поверхности фронта. В соответствии с кавитационным механизмом д.м.с. (<sup>9</sup>, <sup>6</sup>) такие очаги могут возникать при схлопывании кавитационных полостей во фронте волны.

Институт химической физики  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
28 XII 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Б. Ратнер, Ю. Б. Харитон, ДАН, т. 41, 307 (1943). <sup>2</sup> Р. Х. Курбангалина, Кандидатская диссертация, ИХФ АН СССР, 1947. <sup>3</sup> Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеец, Теория детонации, 1955, стр. 206. <sup>4</sup> К. Юхансон, П. Персон, Детонация взрывчатых веществ, М., 1973. <sup>5</sup> Г. С. Соснова, И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик, ДАН, т. 149, № 3 (1963). <sup>6</sup> R. W. Watson, XII Symp. (Intern) on Combustion, 1968. The Comb. Inst., Pittsburg, 1969, p. 723. <sup>7</sup> А. Н. Дремин, О. К. Розанов и др., Физ. горения и взрыва, т. 3, № 1 (1967). <sup>8</sup> И. М. Воскобойников, А. Я. Апин, ДАН, т. 130, № 4 (1960). <sup>9</sup> А. В. Дубовик, И. М. Воскобойников, В. К. Боболев, Физика горения и взрыва, т. 2, № 4 (1966). <sup>10</sup> А. Н. Дремин, П. Ф. Похил, ДАН, т. 128, № 5 (1959).