

УДК 681.542

В.Ф. Новиков

Национальный авиационный университет, г.Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ**Abstract**

Novikov V.F. Research of power model of the thermophysical system of facilities of initiation. On the basis of analysis of internal energies of communication of valency electrons of elements making a smoky gunpowder, the power calculation of sizes of activating of explosive mass in the thermophysical system of facilities of initiation is executed.

Keywords: facilities of initiation, power calculation, smoky gunpowder, thermophysical system, valency electron

Анотація

Новіков В.Ф. Дослідження енергетичної моделі теплофізичної системи засобів ініціації. На підставі аналізу внутрішніх енергій зв'язку валентних електронів елементів, що становлять димний порох, виконаний енергетичний розрахунок величин активації вибухової маси в теплофізичній системі засобів ініціації.

Ключові слова: засоби ініціації, енергетичний розрахунок, димний порох, теплофізична система, валентний електрон

Аннотация

Новиков В.Ф. Исследование энергетической модели теплофизической системы средств инициирования. На основании анализа внутренних энергий связи валентных электронов элементов, составляющих дымный порох, выполнен энергетический расчет величин активации взрывной массы в теплофизической системе средств инициирования.

Ключевые слова: средства инициирования, энергетический расчет, дымный порох, теплофизическая система, валентный электрон

Введение. Теплофизическая система средств инициирования состоит из воспламенительного состава и электрического мостика накаливания, на который поступает электрический импульс тока с энергией инициирования, достаточной для инициирования воспламенительного состава.

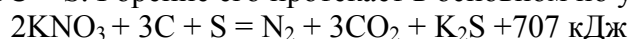
Исследование энергетической модели теплофизической системы средств инициирования выполняется для средств инициирования с воспламенительным составом на основе дымного пороха и является весьма актуальной задачей.

Изготовители средств инициирования при их поставке потребителю оговаривают ряд технических параметров, среди которых энергия активации воспламенительного состава средств инициирования является основной и представлена в виде величины тока срабатывания, длительности импульса тока и величины активного сопротивления мостика накаливания. Эти параметры являются паспортными номинальными величинами, которые обычно используются для расчета и выбора величины безопасного тока обтекания мостика накаливания — тока контроля. Как правило, изготовителем оговаривается величина безопасного тока и время его протекания. Например, величина тока срабатывания 4 А в течение 50 мс, а величина безопасного тока — 100 мА в течение 5 мин. Очевидно, ток контроля не может превышать величину безопасного тока. Отношение величины безопасного тока, оговариваемое изготовителем, к величине тока контроля средств инициирования, опреде-

ляемой разработчиком аппаратуры контроля средств инициирования важно как показатель надежности всей системы контроля и персонала, который фактически гарантирует безопасность как процесса контроля средств инициирования в составе снаряженных изделий, так и персонала, осуществляющего этот контроль. Этот показатель надежности важен также для предупреждения материальных потерь, которыми всегда сопровождаются несанкционированные срабатывания средств инициирования в снаряженных изделиях.

Целью структурного исследования состава воспламенителя средств инициирования в виде дымного пороха является описание энергетики составляющих элементов дымного пороха в исходном (неактивном) состоянии и энергетических соотношений в состоянии активации (при инициировании средств инициирования). Сравнение энергии импульса активации воспламенителя (определяемой током срабатывания средств инициирования и длительностью импульса этого тока) с суммарной теоретической энергией активации воспламенителя (энергии возбуждения углерода и серы плюс энергии активации углерода и калийной селитры) может быть использовано для выбора параметра контроля средств инициирования. Например, для определения величины безопасного тока контроля.

Изложение основного материала. Рассмотрим химические элементы дымного пороха (углерода и серы) в их обычном исходном состоянии с точки зрения валентных связей, положенных в последующий квантово-механический расчет энергетической модели воспламенителя. Дымный порошок представляет собой тесную смесь калийной селитры KNO_3 с серой и углем, причем, «нормальный» порошок (68 % KNO_3 , 15 % S и 17 % C) приблизительно отвечают составу $2KNO_3 + 3C + S$. Горение его протекает в основном по уравнению:



В обычных условиях в представленной выше смеси углерод довольно инертен. У атома углерода имеется два одиночных электрона, но двухвалентное состояние для него нехарактерно. Если условно обозначить каждую из орбит атома углерода клеткой, а электроны стрелками, то распределение по орбитам внешних электронов в атоме углерода будет выглядеть следующим образом (рис. 1):

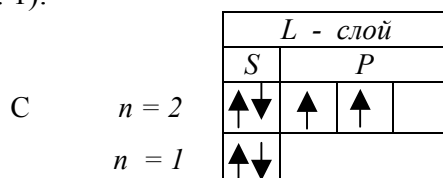


Рисунок 1 — Распределение по орбитам внешних электронов в атоме углерода

Распределение по орбитам валентных электронов в атомах серы в представленной выше смеси при обычных условиях будет выглядеть следующим образом (рис. 2):

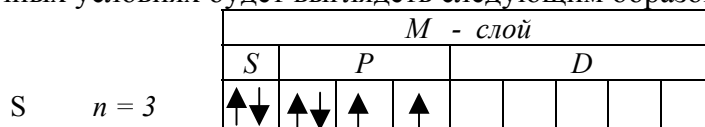


Рисунок 2 — Распределение по орбитам валентных электронов в атомах серы

А полное распределение электронов в атомах углерода и серы представлено в таблицах 1 и 2.

Однако, согласно основному уравнению горения пороха углерод путем дополнительного незначительного возбуждения должен быть переведен в четырехвалентное состояние согласно схеме, показанной на рисунке 3. При этом на возбуждение одного электрона в атоме углерода необходима энергия возбуждения 401 кДж (в слое *L* с орбитали *s* один из двух разнонаправленных электронов переводится в орбиталь *p* — возникает четырехвалентное состояние углерода). Аналогично для серы, переводя ее в возбужденное состояние с шестью разъединенными электронами необходимо перевести два электрона (слоя *M* по одному из орбитали *s* и орбитали *p* в две различные орбитали *d*, как показано на схеме рисунка 4).

Таблица 1 — Расположение электронов в атомах углерода, серы и кислорода

Обозначение слоя	К	L		M		
Главное квантовое число n	1	2		3		
Побочное квантовое число l	0	0	1	0	1	2
Буквенное обозначение числа l	s	s	p	s	P	d
Углерод	C	2	2	2		
Кислород	O	2	2	4		
Сера	S	2	2	6	2	4

Таблица 2 — Сравнение теоретически рассчитанных и экспериментально измеренных энергий связи для углерода и для серы (в электронвольтах)

Оболочка	Z = 6 C			Оболочка	Z = 16 S		
	A	B	экспл.		A	B	Экспл.
1s 1/2	310	297	288	1s 1/2	2510	2482	2476
2s 1/2	20,0	18,0	19,5+	2s 1/2	245	238	233
2p 1/2	10,9	9,4	11; 10,7+	2p 1/2	182	173	169
2p 3/2				2p 3/2	180	172	168
				3s 1/2	24,2	22,8	20; 22+
				3p 1/2	11,3	10,4	} 12; 11,5+
				3p 3/2	11,6	10,7	

Примечание. Символы А и В относятся к двум методам расчета, рассмотренным в [1, с. 127].

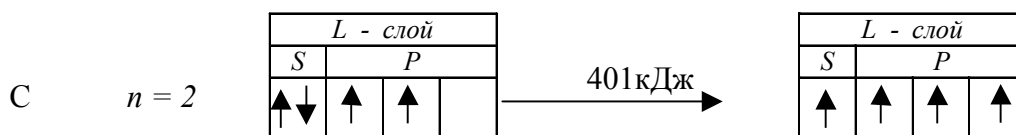


Рисунок 3 — Схема перевода углерода в четырехвалентное состояние

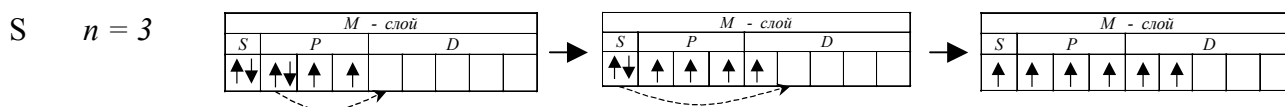


Рисунок 4 — Схема перевода серы в возбужденное состояние

Величина энергии возбуждения углерода составляет 401 кДж [2, с.95] (или 4,16 эВ или 95,93 ккал). Используя таблицу 2 определим экспериментально измеренные общую энергию связи в валентном слое L для углерода W_C и общую энергию связи в валентном слое M для серы W_S по следующим формулам:

$$W_C = W_{2S} + W_{2P},$$

где W_{2S} — энергия связи оболочки 2s углерода, W_{2P} — энергия связи оболочки 2p углерода.

$$W_C = 19,50 + 11,00 = 30,50 \text{ эВ (или 703,36 ккал или 2943,16 кДж),}$$

$$W_S = W_{3S} + W_{3P},$$

где W_{3S} — энергия связи оболочки 3s серы, W_{3P} — энергия связи оболочки 3p серы.

$$W_S = 22,00 + 12,00 = 36,00 \text{ эВ (или 830,20 ккал или 3473,90 кДж).}$$

Величине энергии возбуждения 4,16 эВ (401,00 кДж) соответствует общая энергия связи в валентном слое углерода, равная 30,50 эВ. А величину энергии возбуждения для серы определим, исходя из общей энергии связи в валентном слое M , равной 36,00 эВ, и известного соотношения этих энергий для углерода составим пропорцию, из которой и определим величину энергии возбуждения для серы:

$$30,50 / 4,16 = 36,00 / x,$$

где x — это величина энергии возбуждения серы.

$$x = 36 \cdot 4,16 / 30,5, \quad x = 4,91.$$

То есть, энергия возбуждения серы равна 4,91 эВ (или 113,23 ккал или 473,8 кДж).

Выполним энергетический расчет активации для средства инициирования со следующими исходными данными:

- величина сопротивления R мостика накаливания $R = 4,00 \text{ Ом}$;
- величина тока активации $I_{\text{ср}}$ (тока срабатывания) $I_{\text{ср}} = 2,00 \text{ А}$;
- величина безопасного тока $I_{\text{без}}$ (тока несрабатывания) $I_{\text{без}} = 0,05 \text{ А}$;
- величина длительности t импульса тока $t = 0,30 \text{ сек}$;
- масса пороха ДПР в воспламенителе — $16 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$;
- основная формула исходного состояния: $2 \text{ KNO}_3 + 3 \text{ C} + \text{ S}$;
- молекулярная масса KNO_3 — 101,1 (общая масса $2 \cdot 101,1$; процентное содержание — 68 % в 16 г или 10,88 г; энтальпия образования ΔH_f , ккал/моль — $2 \cdot 117,76 = 235,52$ для молекулярной массы 101,1 или 25,35 ккал для 10,88 г селитры);
- молекулярная масса углерода — 12 (общая масса $3 \cdot 12$; процентное содержание — 17 % в 16 г или 2,72 г; энергия возбуждения — $3 \cdot 95,93 = 287,79$ ккал/моль для молекулярной массы 36 г или 21,74 ккал для 2,72 г углерода);
- молекулярная масса серы — 32 (общая масса 32 г; процентное содержание — 15 % в 16 г или 2,40 г; энергия возбуждения — 113,23 ккал/моль для молекулярной массы 32 или 8,49 ккал для 2,4 г серы).

Общая энергия активации ΔH_{Σ} для 16 г пороха равна:

$$\Delta H_{\Sigma} = 25,35 + 21,74 + 8,49 = 55,58 \text{ ккал/моль или } 232,55 \text{ кДж/моль}$$

Согласно публикации [3, с.27] для многих взрывчатых веществ энергия активации, поступающая извне и достаточная для начала процесса разложения взрывчатого вещества лежит в пределах 125...250 кДж/моль, что и подтверждено результатом приведенного выше расчета — $\Delta H_{\Sigma} = 232,55 \text{ кДж/моль}$.

Определим величину электрической энергии импульса инициирования $W_{\text{э}}$ для средства инициирования по формуле: $W_{\text{э}} = I_{\text{ср}}^2 \cdot R_{\text{мп}} \cdot t$, где $I_{\text{ср}}$ — рабочий ток срабатывания ПП, $R_{\text{мп}}$ — сопротивление мостика накаливания, t — длительность импульса тока инициирования.

$$W_{\text{э}} = 2^2 \cdot 4 \cdot 0,05 = 0,8 \text{ Дж.}$$

Определим, какую часть составляет $W_{\text{э}}$ в общей энергии активации ΔH_{Σ} для 16 г пороха, взяв отношение: $W_{\text{э}} / \Delta H_{\Sigma} = N$. $N = 0,8 / 232,55 = 0,0034$, что составляет 0,055 г пороха, который активируется электрическим импульсом тока величиной 2 А при длительности импульса 0,05 с. Остальная часть воспламеняется тепловой энергией, выделяемой при активации 0,05 г пороха, что соответствует данным [4].

Выводы

1. Предложена энергетическая модель теплофизической системы средств инициирования.
2. Приведена методика энергетического расчета активации для средства инициирования

Литература

1. К. Зигбан, К.Нордлинг и др. Электронная спектроскопия. — Пер. с англ. — М.: изд-во «Мир», 1971.
2. Я.А. Угай. Общая химия. — М.: Высшая школа, 1984.
3. А.Г. Белявский. Взрывная автоматика: элементы, системы, контроль. — Черкассы: «Відлуння-Плюс», 2002.
4. Д.С. Аванесов. Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ. — М.: Государственное изд-во оборонной промышленности, 1959.

Здано в редакцію:
17.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Чичикало Н.І.