

УДК : 662.235.432.3

АНАЛИЗ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ

*Кулинченко Г.В., к.т.н., доц., Серяков А.Г. к.т.н., преп., Мараховский В.И., ст.преп.
Шосткинский институт Сумского Государственного Университета
41100 Украина, Сумская область, г. Шостка, ул. Институтская 1.
E-mail:heorhy@rambler.ru*

Рассмотрены факторы, определяющие свойства замедляющих составов, от которых зависит нестабильность времени срабатывания электродетонаторов.

Ключевые слова: время замедления, плотность, дисперсный состав, размер частиц, насыпной вес.

Factors, the determining properties of slowing compositions, from which the instability of time of work of the electric detonators depends, are considered in the given article.

Keywords: delay time, closeness, dispersion composition, size of particles, bulk weight.

Введение. Совершенствование технологий взрывных работ обуславливает необходимость улучшения технологических характеристик инициирующих изделий. Одним из главных показателей качества электродетонаторов (ЭД) является время замедления и безотказность. Разброс времен замедления ЭД в диапазоне больших времен (до единиц секунд замедления), доходит до 500 мс. [1]. Из-за этого приходится использовать ЭД короткозамедленного действия (ЭДКЗ), разброс по времени срабатывания которых значительно меньше, чем у ЭДЗД, и составляет 7...10 мс, что значительно уменьшает вероятность отказов.

Поскольку дальнейшее улучшения средств инициирования проводится в направлении увеличения ступеней замедления, то уменьшение разброса времени замедления остается актуальной задачей.

Анализ предыдущих исследований. Время замедления ЭД зависит от рецептурных факторов, конструктивных и технологических параметров. В ранее проведенных экспериментально-исследовательских работах не ставились задачи поиска параметров, максимально влияющих на разброс времени срабатывания, в основном результаты исследований лишь констатируют факты влияния того или иного параметра [2 - 4].

Выбирая пути уменьшения разброса времени замедления, необходимо выделить факторы, наиболее влияющие на горение замедляющих составов. Такой подход обусловлен тем, что время замедления, в основном, и определяется временем t горения замедлителя ЭД. Время горения зависит от высоты h столбика замедлителя и от скорости горения U_r этого столбика:

$$t = \frac{h}{U_r}, \quad (1)$$

Анализируя приведенное соотношение, можно увидеть, что разброс времени замедления будет зависеть как от отклонений размеров высоты столбика замедлителя, так и нестабильности скорости горения U_r .

Закономерности, описывающие влияние факторов прессования [5 - 7] на стабильность физических свойств порошков, позволяют проследить за отклонением геометрических размеров столбиков замедлителя. Изучение статистики отклонений этих размеров в серийных образцах ЭД показывает, что значения отклонений размеров не должны оказывать заметное влияние на время срабатывания ЭД.

Более существенное влияние факторы прессования оказывают на внутреннюю структуру продукта, которая и определяет стабильность U_r . Поэтому основное внимание уделяется исследованиям по стабилизации скорости горения используемых продуктов [8 - 10].

Цель работы. Проанализировать технологические факторы, влияющие на нестабильность времени замедления ЭД, и сформулировать направления работ по уменьшению разброса времени срабатывания.

Материалы и результаты исследований. Под скоростью нормального горения понимают скорость распространения фронта пламени в направлении, перпендикулярном поверхности заряда. Обычно горение распространяется по поверхности заряда, затем продолжается в направлении вглубь образца. Поверхностная скорость горения всегда выше линейной. Линейная скорость горения составов зависит от компонентов состава, наличия катализаторов, атмосферного давления, влажности состава, от однородности смешения компонентов. Определяющий фактор скорости горения состава - поверхность соприкосновения его компонентов, которая зависит от плотности и пористости состава.

Для получения количественных соотношений между скоростью горения и физическими характеристиками продукта воспользуемся уравнением, связывающим массовую скорость V_m и линейную скорость горения [11]:

$$U_r = \frac{V_m}{\rho \cdot a_0}, \quad (2)$$

где ρ - плотность исходной смеси,

a_0 – относительное содержание горючего в смеси. Массовая скорость V_m этого уравнения, а значит и линейная скорость горения U_r , зависят от температуры горения T_r :

$$V_m \sim \exp\left(-\frac{E}{2RT_r}\right), \quad (3)$$

где E – энергия активации;

В свою очередь, температура T_r определяется формулой:

$$T_r = T_0 + Q_r / C,$$

где Q_r – удельная теплота сгорания, C – удельная теплоемкость смеси; T_0 – начальная температура горения смеси.

Поскольку T_r зависят как от состава смеси, так и от концентрации a_0 (плотности) смеси в зоне реакции, то зависимость скорости горения U_r от плотности носит сложный характер.

Рассматривая зависимость времени замедления от плотности смеси, которая в свою очередь, определяется режимами прессования, можно констатировать, что флуктуациям времени замедления соответствуют колебания плотности образца ρ около среднего значения: $\Delta T \sim \Delta \rho$.

Для оценки влияния флуктуаций параметров замедлителя была произведена обработка результатов измерений партии образцов ЭД. При этом контролировалась плотность образца, и время замедления. Изменение этих величин для партии из 21 образца приведено на рис. 1

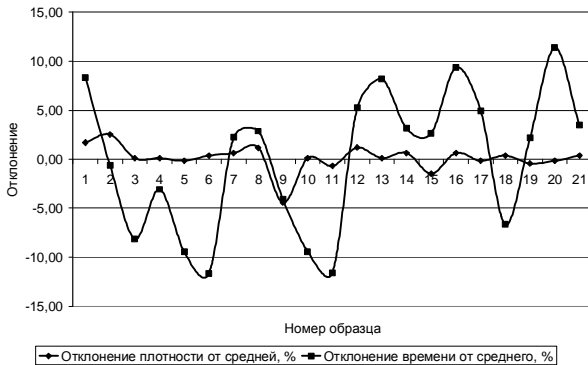


Рисунок 1 – Результаты измерений для партии образцов ЭД

Как и следовало ожидать, изменение плотности образцов влияет на время замедления (горения), однако уровень колебаний плотности образцов не соответствует степени разброса времени замедления ЭД.

Следует иметь в виду, что размытость влияния изменения плотности на время замедления может быть обусловлена неравномерностью распределения в смеси замедляющего состава горючего и каталитического компонентов. Это может изменить диф-

ференциальную плотность $\frac{d\rho}{dh}$ состава, а, значит, и время замедления, как следует из (2), т.к. a_0 является функцией координаты.

Плотность ρ зависит от размеров частиц, их дисперсности:

$$\rho = \frac{m}{V_0} = \sum_{i=1}^N \rho_0 \frac{V_{ij}}{V_0} = \rho_0 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n N_{ij} \frac{V_{ij}}{V_0} = \rho_0 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n N_{ij} V_{ij}, \quad (4)$$

где j – номер размера частицы;

V_i – объем j – той частицы;

m, V_0 – масса и объем испытуемого образца;

ρ_0 – рентгеновская плотность (плотность сплошного) материала;

N_{ij} – количество частиц имеющих объем V_{ij} ,

$\sum N_{ij} = N_0$ – является функцией размера частиц.

Для упрощения описания дисперсного состава смеси предположим, что частицы смеси имеют сферическую форму. Тогда при высоких давлениях неразрушающего прессования i – тый объем частиц с порядковым номером j представляется:

$$V_{ij} = \frac{4}{3} \pi r_j^3 \quad (5)$$

где r_j – радиус j – го размера.

В общем случае, когда форма частиц отличается от сферической, объем V_{ij} можно представить с помощью усредненного коэффициента формы K_{cp} :

$$V_{ij} = K_{cp} \cdot r_j^3.$$

Тогда плотность состава можно описать следующим образом:

$$\rho = \left(\rho_0 \frac{K_{cp}}{V_0} \right) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n N_{ij} r_j^3 \quad (6)$$

Отсюда следует, что из кривой распределения частиц по размерам и плотности частиц, можно оценить усредненный фактор формы частиц K_{cp} и коэффициент пропорциональности A_0 между дисперсностью частиц и плотностью:

$$A_0 = \rho_0 \frac{K_{cp}}{V_0}$$

Чтобы сопоставить кривые распределения частиц по размерам, на лазерном гранулометре Cilas 715 оценивалась дисперсность различных замедляющих составов. Для серии испытанных образцов (рис. 2) был определен коэффициент $A_0 = 0,488 \pm 0,005$ г/см.

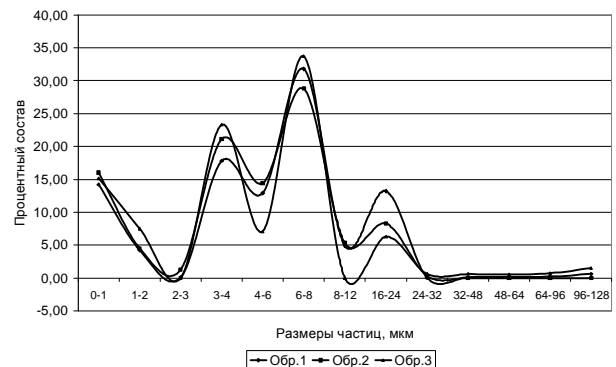


Рисунок 2 – Распределение частиц по размерам

Обращает внимание тот факт, что для образцов, отличающихся как по среднему размеру частиц, так и по плотности, величины A_0 , определенные из кривых распределения частиц по размерам, оказались

равними. Далее, используя этот коэффициент, можно по дисперсности состава оценивать плотности исследуемых образцов, а значит прогнозировать скорость горения.

Совпадение значений A_0 , полученных из экспериментальных данных для образцов, имеющих различную плотность и средний размер частиц, позволяет использовать ее для экспресс-оценки состава образцов. Как видно из графика, во всех исследуемых образцах характер распределения идентичен и различается незначительными отклонениями от среднего значения распределения. Можно допустить, что такое распределение частиц характерно для состава, измельченного на соответствующем оборудовании по определенной методике.

На следующем этапе исследований целесообразно оценить влияние других факторов, связанных с изменением плотности испытываемых образцов.

При подборе составов замедлителей ЭД по времени замедления используются методики оценки насыпного веса, которая косвенно характеризует удельную поверхность и средний размер частиц смеси.

Для оценки взаимосвязи насыпного веса, удельной поверхности, дисперсности продукта и времени замедления ЭД, в данной работе эти параметры оценивались в различных партиях исходных продуктов и готовых ЭД.

Чтобы исследовать зависимость времени замедления (горения) образцов от среднего размера частиц и их дисперсности, была проделана серия опытов, которые отличались дисперсностью и средним размером частиц. Результаты измерений приведены в табл. 1, где показаны физические и технологические свойства образцов продуктов, дисперсные свойства которых описываются кривыми рис.2. Из анализа результатов следует, что время замедления образца зависит от среднего размера частиц продукта. Так, образцы №2 и №3, имея одинаковый средний размер (3,5мкм и 3,6 мкм соответственно) и долю мелкой фракции от 0-до 6 мкм соответственно 86,1% и 86,7% отличаются по крупной фракции. Это приводит к значительному (почти в 1,6 раза) росту разброса по времени замедления. Следует отметить, что образцы №1 и №3, имеющие близкие удельные поверхности, имеют совершенно разные по дисперсному составу, средний размер частиц, время срабатывания, средний разброс времени замедления. Поэтому использовать оценку дисперсности частиц по удельной поверхности нецелесообразно.

Таблица 1 – Физические и технологические свойства образцов продукта

| № образца | Насыпной вес, г/см ³ | Среднее время замедления, с | Средний разброс времени замедления, с |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| №1 | 3294 | 4,155 | 0,63 |
| №2 | 2856 | 3,952 | 0,265 |
| №3 | 3216 | 3,835 | 0,43 |

Выводы. Проанализирована зависимость разброса времени замедления ЭД от различных факторов. Учет этой зависимости позволяет, регулируя дисперсность образцов, т.е. меняя долю мелкой и крупной фракций в порошке, регулировать как время замедления, так и средний разброс по времени замедления.

Для выявления других причин, влияющих на разброс времени замедления, ЭД, следует рассмотреть замедляющий состав ЭД как многокомпонентную смесь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевцов Н.Р., Купенко И.В., Лабинский К.Н., Бабичев В.А., Пудак В.И. Исследование процесса раздвижки патронов в шупрах при взрывных работах в вертикальных шахтных стволах. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений // Сб. науч. трудов. - Донецк: ООО "НОРД Компьютер", 2000. - 54 с.
2. Граевский М.М. Справочник по электрическому взрыванию зарядов ВВ. – М: Рандеву-АМ, 2000. – 448 с.
3. Кушнеров П.И., Павлыш Б.П., Кашуба О.И. Влияние герметичности ЭД на время срабатывания // Горный журнал.– 1979. – №3. С. 57...58.
4. Белов А.Г., Хизев С.Н., Щербаков А.Ф. О прожигании ЭД продуктами горения зажигательно-го состава // Сб. науч. Трудов МакНИИ. – Макеевка-Донбасс. – 1990. – 104 с.
5. Баглюк Г.А., Радомысельский И.Д., Юрчук В.Л. Анализ напряженно-деформированного состояния уплотняемого осесимметричного пористого тела с использованием вариационных методов // Порошковая металлургия.1986. – №10. – С. 26 – 30.
6. Андреева Н.В., Радомысельский И.Д., Щербань Н.И. Исследование уплотняемости порошков // Порошковая металлургия. 1975. – № 6.– С. 32 – 42.
7. Анциферов В.Н., Перельман В.Е. Механика процессов прессования порошковых и композиционных материалов. – М.: Наука, 2001. – 628 с.
8. Фролов Ю.В., Пивкина А. Н. Фрактальная структура и особенности процессов энерговыделения (горения) в ГКС // Физика горения и взрыва. – 1997. – Т. 33, № 5. – С. 3 – 19.
9. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен / Пер. с англ. Р.Н. Гизатуллина, В.И. Ягодкина. Под ред. В.Е. Дорошенко. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
10. Zarko V.E., Kuo K.K. Critical Review of Methods for Regression Rate Measurements of Condensed Phase Systems // Nonintrusive Combustion Diagnostics, edited by K.K. Kuo, T. Parr.– New York: Begel House, 1994.– P. 600 – 623.
11. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович Б.В. Махвиладзе Г.М. Теория горения и взрыва. – М., Наука, 1981.– 478с.

Статья поступила 20.03.2007 г.
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
Воробйовым В.В