Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Акционерное общество «НПО «Поиск»
Санкт-Петербургский государственный унниверситет

Г.Г. Савенков, И.А. Оськин, В.А. Брагин,
В.А.Морозов, А.А. Лукин

ИНИЦИИРОВАНИЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ИНЕРТНЫМИ ДОБАВКАМИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

«ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2017»
г. Снежинск, 20 – 24 марта 2017 г.

АКТУАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Присутствие небольших количеств токопроводящих порошкообразных инертных добавок (например, алюминия или меди) микронного [1] или нано [2] размера резко снижает энергию возбуждения взрывчатых превращений в энергонасыщенных материалах (ЭНМ).

2. По данным [1] нетокопроводящие добавки снижают чувствительность к электрическому разряду.

3. Так ли это при введение в ЭНМ наноразмерных непроводящих добавок? Если это не так, то насколько и как повышают наноразмерные непроводящие и полупроводящие добавки?

Ответы на вопросы, поставленные в п.3, – <u>цель</u> настоящей работы.

[1] Мельников М.А., Никитин В.В. Влияние алюминия на чувствительность и возбуждение детонации ВВ электрической искрой // ФГВ. 1972. № 4. С. 485 – 490.

[2] Брагин В.А., Душенок С.А., Куликов В.Г., Савенков Г.Г., и др. Влияние металлических нанопорошков на чувствительность взрывчатых веществ к высоковольтному электрическому разряду. Фрактально-перколяционный подход // Химическая физика. 2012. Т. 31, № 5. С. 57 – 64.

ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ДОБАВКИ

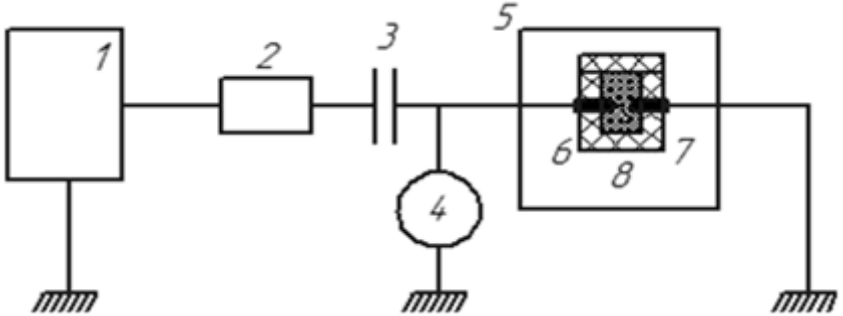
ЭНМ - на основе пикрата калия (в дальнейшем – ЭНМ-1) и на основе свинцового сурика (ЭНМ-2). Размер частиц для обоих ЭНМ ~ 100 μm;

Наноразмерные добавки: 1) медный порошок с первоначальными размерами 50 – 70 nm, но покрытый толстой окисной плёнкой толщиной 50 – 60 nm, так что порошок был абсолютно чёрного цвета с размерами частиц 100 – 130 nm (в дальнейшем будем обозначать этот порошок – CuO);

2) Детонационные наноалмазы (ДНА), размер частиц которых менее 100 nm. Выбор данной добавки определялся тем, что ДНА являются диэлектриками и представляют собой полирадикалы, которые гипотетически должны катализировать цепные процессы при горении энергонасыщенных материалов. ДНА более химически инертны, чем металлические наноразмерные порошки, и можно не опасаться, что со временем они покроются окисной плёнкой.

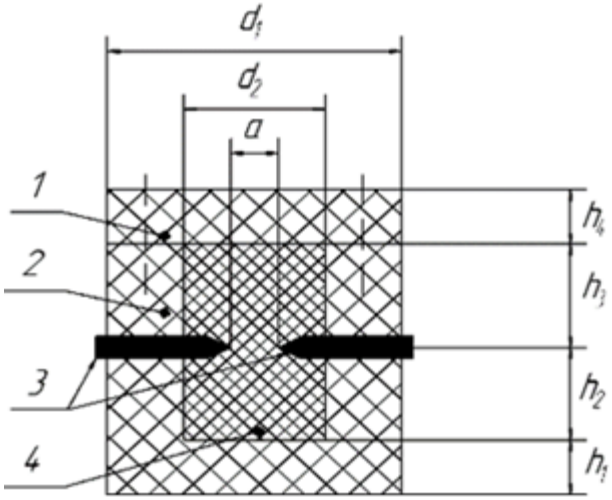
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Электрическая схема проведения эксперимента



1 – источник высокого напряжения, 2 – зарядное сопротивление, 3 – зарядная емкость (0.5 μF), 4 – киловольтметр, 5 – камера, 6 – высоковольтный электрод, 7 – заземленный электрод, 8 – контейнер

Контейнер с энергонасыщенной смесью

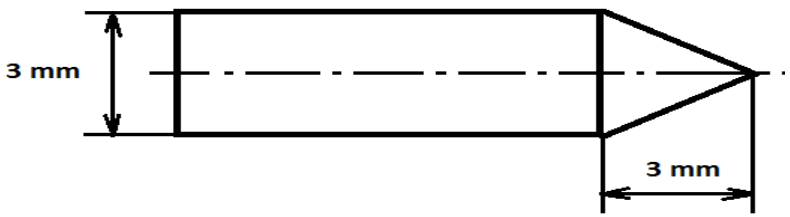


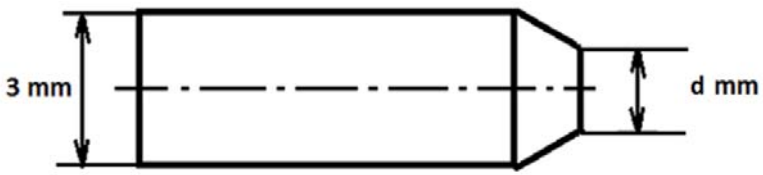
h_1 = 5 mm, h_2 = 5 mm, (h_2+h_3) = 10 mm, h_4 = 5 mm, d_1 = 20 mm, d_2=10 mm, a = 3 mm

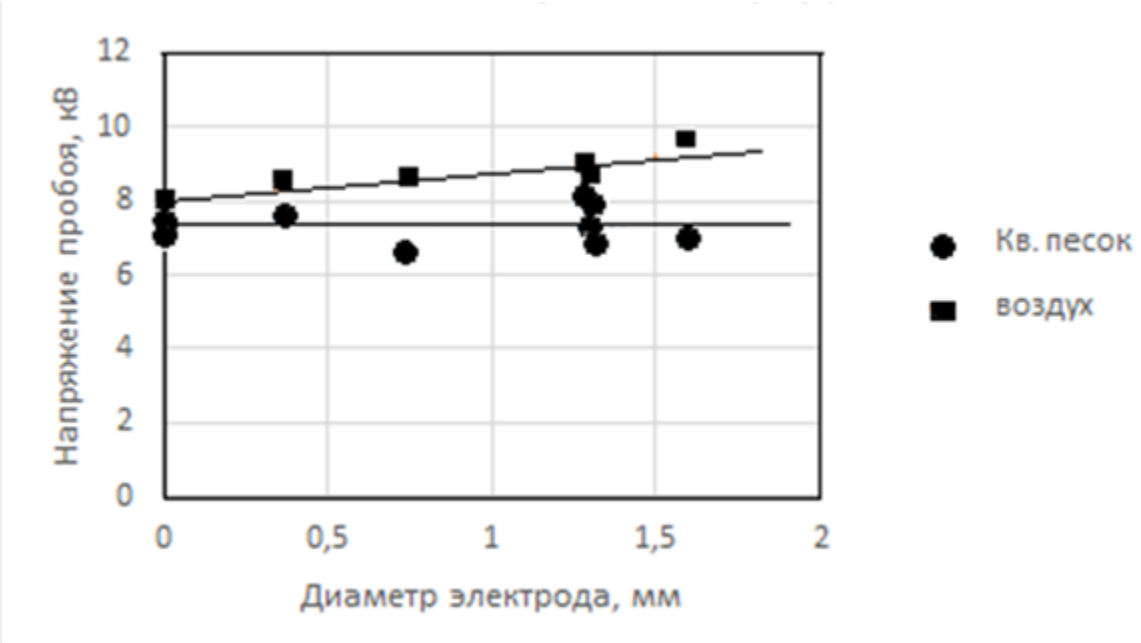
НЕКОТОРЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

ПРОБОЙ В ВОЗДУХЕ

U_b = <u>8.0 – 8.4 kV</u>, но по литературным источникам U_b = <u>10</u> kV.







РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Разрушенный контейнер в экспериментальной камере

Плотность: ЭНМ–1 + CuO – 0,7 – 0,9 g/cm^3
ЭНМ–1 + ДНА – 0,7 – 0,8 g/cm^3 ;
ЭНМ–2 + CuO – 1,82 – 1,86 g/cm^3 ;
CuO – 1,9 g/cm^3 ;
ДНА – 0,85 g/cm^3 .

Скорость подъёма напряжения – 1 кV/s

Для CuO: U_b = 0,22 кV
для ДНА: U_b = 4,25 кV

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты экспериментов с композициями на основе ЭНМ-1

№	ЭНМ + CuO		ЭНМ + ДНА	
	%CuO	U_b, kV	% ДНА	U_b, kV
1	0	9,5	0	9,5
2	4	9,0	3	9,0
3	5	7,5/8,2	4	7,7
4	6	5,0/6,6	5	7,5
5	6,8	3,8/6,25	7	7,0
6	7,5	0,8	12	6,45
7	9,5	0,5	20	6,15
8	12,5	0,35	36	5,4

В знаменателе приведены значения напряжения пробоя при скорости подъёма напряжения 2.0 kV/s

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты экспериментов с композициями на основе ЭНМ-2

№	%CuO	U_b, kV
1	0	5,8
2	1,25	3,4
3	2,5	1,65
4	5,0	1,0
5	7,5	1,0
6	10,0	1,0
7	12,5	0,6
8	15,0	0*

* Ток течёт по проводнику

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

За счет поляризации диэлектрические частицы нанопорошка приобретают дипольные моменты. В результате, под действием дипольного притяжения и дипольного взаимодействия с внешним электрическим полем наночастицы будут собираться в кластеры, вытянутые вдоль силовых линий электрического поля. С течением времени размеры этих кластеров будут расти и при определенных условиях в порах образца может возникнуть бесконечный перколяционный кластер, замыкающий электроды. В этом случае в образце возникнет вынужденная (в отличие от естественной, «геометрической») перколяция.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Условие пробоя энергонасыщенной порошковой композиции

$$U_b = \begin{cases} U_n, U_p < U_n \\ U_p, U_n < U_p < U_0, \\ U_0, U_p > U_0 \end{cases}$$

U_0 — **напряжение пробоя воздуха в порах образца;**

U_n — **напряжение пробоя перколяционного кластера;**

U_p — **напряжение между электродами, достигаемое в момент образования перколяционного кластера.**

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

$$U_p = A \cdot U_0^{2/3} \cdot \dot{U}^{1/3} \left(\frac{1 - m_k}{m_k} \right)^{5/9}$$

$m_k = m -$ **массовая доля частиц наноразмерного порошка;**

$$m_k = m_1 = m - m_0$$

$m_0 -$ **массовая доля связанных наноразмерных частиц.**

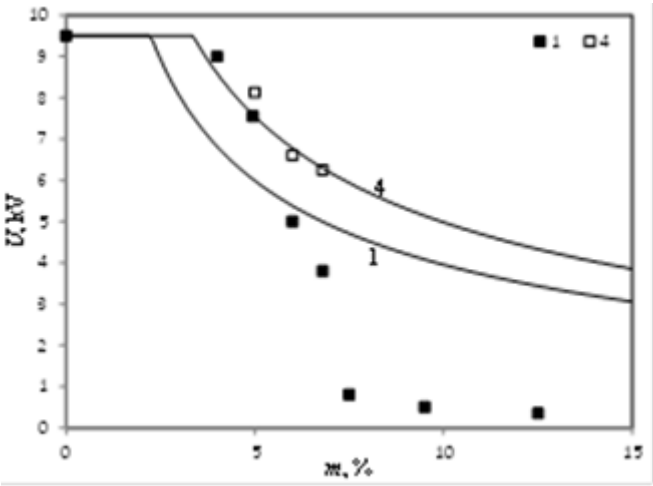
$$A = A_0 \left(\varepsilon_n - 1 \right)^{2/3} \left(\frac{\rho_c}{\rho_n} \cdot \frac{1 - \rho}{\rho} \right)^{5/9}$$

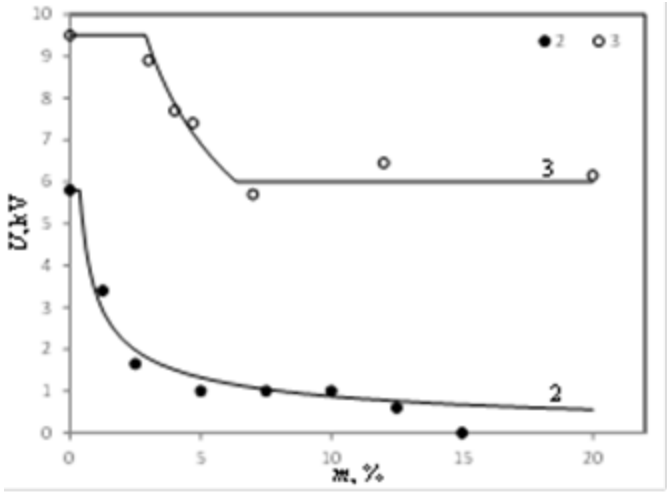
$\rho, \rho_c, \rho_n -$ **плотность частиц ЭНМ, композита и частиц нанопорошка, соответственно.**

$$A_0 = F(E_{cr}, U_0, V_n)$$

$E_{cr} -$ **напряженность электрического поля внутри пор, при которой происходит пробой композита (смеси).**

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА С РАСЧЁТОМ





↑

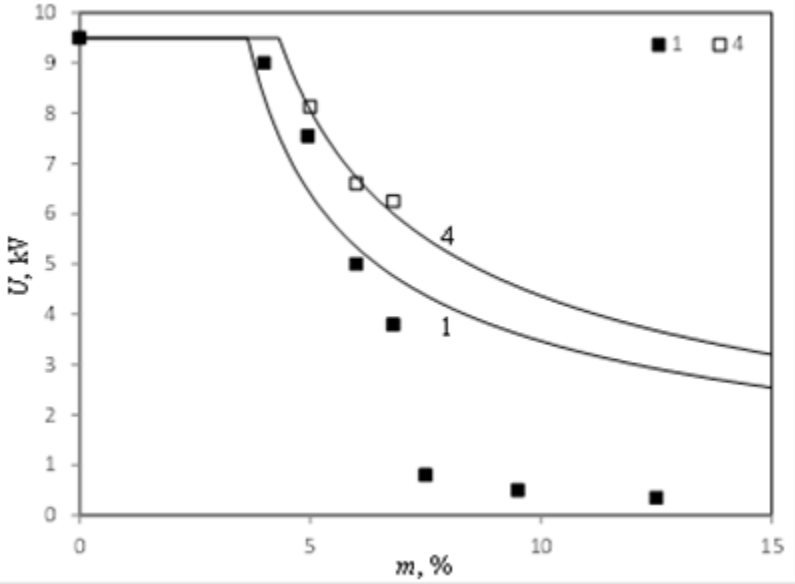
ЭНМ–1+CuO

4 – $\dot{U} = 2$ **kV/s**

↑

2 – ЭНМ–2 + CuO

3 – ЭНМ – 2 + ДНА



$m_0 = 2{,}5\%$

ВЫВОДЫ

1. **Электрический пробой порошковой композиции является первичным явлением, а инициирование энергонасыщенной смеси является следствием этого пробоя;**
2. **При добавлении в энергонасыщенные материалы наноразмерных добавок (нанопорошка с окисной плёнкой на поверхности и детонационных наноалмазов) наблюдается существенное снижение напряжения пробоя (инициирования), причём, тем больше, чем больше содержание в нём наноразмерной добавки;**
3. **Чем больше скорость подъёма напряжения в эксперименте, тем больше напряжение пробоя зарядов ЭНМ с наноразмерными добавками;**
4. **Преложенная модель электрического пробоя и инициирования ЭКС удовлетворительно описывает экспериментальные данные (исключение составляет композиция на основе пикрата калия, что может быть связано с отрывом частиц наноразмерного порошка от частиц пикрата при низких значениях напряжения).**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!