

А.Р. Ризун, В.А. Поздеев, Ю.В. Голень

### ОДНОРАЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ СИСТЕМЫ ПРИ ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ РАЗРУШЕНИИ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕГАБАРИТОВ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, [dpcd@iipr.com.ua](mailto:dpcd@iipr.com.ua)*

#### Введение

Актуальность рассматриваемого технологического процесса заключается в исключении дорогостоящих электроразрядных систем многоразового использования из процессов шпурового электроразрядного разрушения природных и искусственных негабаритов. Практикой установлено, что количество разрядов, воспроизведенных многоразовой электродной системой, не покрывает затрат на их изготовление до первых восстановительных работ или их замены.

Предлагается замена электродных систем многоразового использования на электроразрядные системы одноразового использования, стоимость которых значительно ниже при тех же соотношениях к количеству подрывов [1].

#### Характеристика предлагаемой технологии

Высоковольтный электрохимический взрыв (ВЭХВ) – это комплекс физико-химических явлений, протекающих при наличии в зоне разрядного канала веществ или составов, способных к экзотермическим химическим превращениям в условиях высоких температур и давлений, создаваемых в канале разряда. Высвобождающаяся энергия при таких превращениях суммируется с электрической, накопленной на обкладках конденсаторных батарей. В результате такого суммирования энергия разрушения возрастает в несколько раз без увеличения габаритов оборудования, в том числе и количества конденсаторов [2].

#### Теплофизические процессы в шпуровой зоне

На рис. 1 представлена схема электрического разряда в шпуре с одноразовой разрядной системой (ОРС) при наличии экзотермической смеси (ЭС). Электроразряд в данном случае выполняет две функции. Он является, во-первых, источником для образования первоначальной волны давления и, во-вторых, электроразрядом для зажигания экзотермической смеси [3].

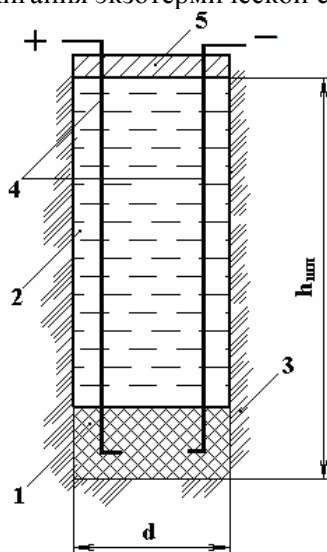


Рис. 1. Схема реализации ВЭХВ для одноразовых разрядных систем: 1 – экзотермическая композиция; 2 – вода; 3 – грунт; 4 – высоковольтные шлейфы; 5 – крышка

Весь процесс можно разбить на две стадии. На первой происходит пробой, образуется канал разряда, который развивается вследствие выделения электрической энергии в последнем. Во время второй наблюдается прогрев экзотермической смеси. Зажигание и условие горения экзотермической смеси наступают после прогрева ее вблизи канала до температуры возгорания. Стабильное горение смеси возможно при равенстве подведенного к слоям и отведенного от нее тепла. Это условие определяется решением теплофизической задачи. В общем трехмерном случае и сложной геометрии объема экзотермической смеси задача до настоящего времени не рассматривалась. В данном случае использована модель разряда цилиндрической симметрии, где длина канала  $l$  значительно превышает его радиус  $R$ , а поперечные размеры объема смеси также значительно больше радиуса канала разряда.

Для рассмотрения общей теплофизической задачи воспользуемся методом плоских сечений [4] (рис. 2, 3).

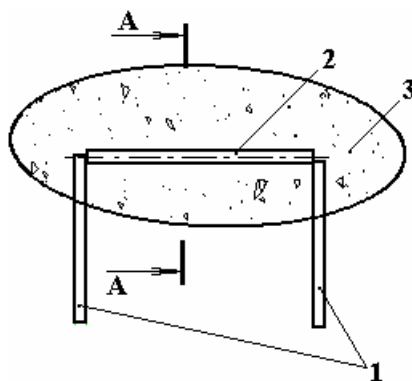


Рис. 2. Схема электроразряда в экзотермической среде: 1 – высоковольтные шлейфы; 2 – канал разряда; 3 – экзотермическая среда

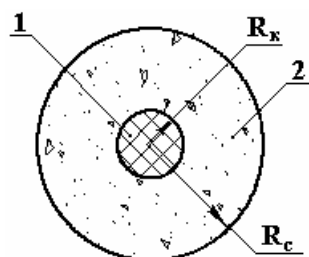


Рис. 3. Схема сечения по A-A: 1 – плазма канала разряда радиуса  $R_k(t)$ ; 2 – экзотермическая среда;  $R_c$  – общий радиус

Далее воспользуемся подходом, представленным в [5]. Распространение тепла описывается основной системой уравнений теплопроводности:

$$\rho_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{d}{dr} \left( \lambda_1 \frac{dT_1}{dr} \right) + \frac{\lambda_1}{r} \frac{dT_1}{dr} + w_1; \quad (1)$$

$$(0 < r < R_k(t))$$

$$\rho_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} = \frac{d}{dr} \left( \lambda_2 \frac{dT_2}{dr} \right) + \frac{\lambda_2}{r} \frac{dT_2}{dr} + w_2; \quad (2)$$

$$(R_k < r < R_c)$$

с начальными условиями:

$$\left. \begin{aligned} T_1(r) &= T_0 \quad \text{при } t = 0 \\ T_2(r) &= T_0 \quad \text{при } t = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

и граничными условиями:

$$\frac{dT_1}{dr} = 0 \quad \text{при} \quad r = 0, \quad (4)$$

$$\lambda_1 \left. \frac{dT_1}{dr} \right|_{r=R_k} = \lambda_2 \left. \frac{dT_2}{dr} \right|_{r=R_k}, \quad (5)$$

$$T_1 = T_2 \quad \text{при} \quad r = R_k(t), \quad (6)$$

$$T_2 = T_0 \quad \text{при} \quad r = R_c, \quad (7)$$

где  $\rho_i (i=1, 2)$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>;  $c_i (i=1, 2)$  – теплоемкость, Дж/К;  $T_i (i=1, 2)$  – температура вещества, К;  $\lambda_i (i=1, 2)$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $w_i (i=1, 2)$  – плотность тепловых источников, Вт/м<sup>2</sup>.

В приведенных выражениях индекс “1” относится к каналу, индекс “2” – к окружающей экзотермической среде.

Плотность энерговыделения внутри канала равна:

$$w_1 = \frac{I^2(t)}{\sigma(T_1)}, \quad (8)$$

где  $w_1$  – плотность энерговыделения внутри канала, Вт/м<sup>2</sup>;  $I(t)$  – плотность тока в канале, А/м<sup>2</sup>;  $\sigma(T_1)$  – проводимость среды (плазмы) канала, См/м.

В свою очередь

$$I(t) = \frac{\dot{I}(t)}{\pi R_k^2(t)}, \quad (9)$$

где  $I(t)$  – ток в канале, А.

Полагаем, что выгорание экзотермической среды в начальной стадии незначительно, то есть  $w_2 \ll w_1$ . Поэтому полагаем, что до момента зажигания (начала горения) смеси  $w_2 = 0$ . Момент зажигания смеси  $t_3$ , согласно [5], определяем системой уравнений:

$$\begin{aligned} q(t_3) &= k \int_R^{R_c} w_2(T_2(r, t_3)) 2\pi r dr; \\ q(t_3) &= -\lambda_2 \frac{dT_2(R_k, t_3)}{dr}. \end{aligned} \quad (10)$$

Система (10) сравнивает теплоотвод в зоне реакции горения от внешнего источника (канала разряда) с экзотермическим теплом. Момент равенства потоков тепла дает время зажигания смеси. Предполагается, что

$$w_2(T) = \sum_{k=1}^k A_k (T_2 - T_0)^{\alpha_k}, \quad (11)$$

где  $A_k, \alpha_k$  – некоторые постоянные.

Для упрощения решения задачи (1) – (11) воспользуемся рекомендациями [2, 3], где предполагается примерное равенство:

$$t_3 \sim t_0, \quad (12)$$

где  $t_0$  – длительность первого полупериода колебаний разрядного тока, с.

На рис. 4 приведена полученная расчетным путем зависимость выделения электрической мощности от времени. Как видно из рисунка, время первого полупериода слабо зависит как от начального напряжения на обкладках конденсатора, так и от количества экзотермической смеси.

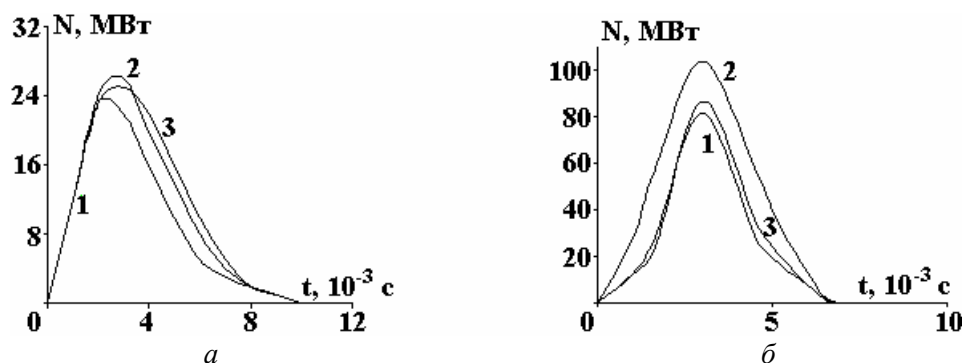


Рис. 4. Зависимость выделяемой мощности от времени, полученная расчетным путем ((1) – (11)).  $U_0$ , кВ: а – 10; б – 20.  $L=3 \cdot 10^{-6}$  Гн;  $C=3 \cdot 10^{-6}$  Ф; экзотермическая смесь, кг. 1 – 0,0003, 2 – 0,0005, 3 – 0,0007

Таким образом  $t_3 = t_0$  считается временным началом стабильного горения экзотермической смеси.

#### Заключение

Время первого полупериода играет решающую роль в достижении полноты сгорания экзотермической смеси и максимального выделения энергии при ее сгорании [6].

Выделившаяся мощность в первый полупериод должна быть достаточна для максимальной полноты сгорания экзотермической смеси. На практике величина  $t_3$  устанавливается за счет емкости  $C$  при постоянном значении индуктивности оборудования.

Использование одноразовых систем и экзотермических смесей значительно снижает себестоимость электроразрядного разрушения, снижает габариты оборудования, повышает его мобильность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент Украины № 26101, МПК(2006)E21C37/18. Спосіб електророзрядного руйнування монолітних ґрунтів під водою / А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Г.П. Муштатный, Г.Н. Морев, Т.Д. Денисюк. № u200613738; заявл. 25.12.2006; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.
2. Вовченко А.И., Посохов А.А. Управляемые электровзрывные процессы преобразования энергии в конденсированных средах / К.: Наукова думка, 1992. 168 с.
3. Вовченко А.И., Кучеренко В.В., Шамко В.В. Особенности пространственно-временной эволюции парогазовых полостей, генерируемых подводным искровым разрядом / А.И. Вовченко // Журн. прикл. механики и техн. физики. 1978. № 5. С. 58–64.
4. Поздеев В.А., Ищенко Ж. Н. Аппроксимация закона ввода энергии при электрическом разряде и взрыве проволоки // Электроразрядные процессы: теория, эксперимент, практика: Сб. науч. трудов. Киев: Наукова думка, 1984. С. 58–64.
5. Куперитох А.Л., Лукьянченков Л.А. Определение эффективной кинетики тепловыделения при зажигании гетерогенных конденсированных веществ // Механика быстропротекающих процессов: Сб. науч. тр. СО АН СССР. Институт гидродинамики. М.; 1983. Вып. 62. С. 68–74.
6. Ризун А.Р., Голень Ю.В., Денисюк Т.Д., Поздеев В.А. Разработка и внедрение технологического процесса электроразрядного разрушения донных грунтов // Наука та іновації. 2007. № 3. С. 50–54.

Поступила 30.12.09

#### Summary

Thermophysical phenomena are revealed of blast hole electrochemical explosion processes with use of one-shot electrode systems having advantage over expensive electrode systems of multiple use.