

# ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО КОРОННОГО РАЗРЯДА В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

## 2. МНОГООСТРИЙНАЯ ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины.  
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, iipt@iipt.com.ua*

**Введение.** Предложенная в первой части этой статьи инженерная методика расчета характеристик импульсного коронного разряда (ИКР) в сильно проводящих жидкостях, когда разветвленная корона превращается в сплошное плазменное образование (СПО), для одноострийной электродной системы показала достаточно надежные данные по выбору регулируемых параметров генератора импульсных токов в составе технологической установки и их соответствие с известными экспериментальными результатами.

Использование ИКР в технологических приложениях позволяет формировать в жидкости поля давлений заданной конфигурации за счет большого количества острий, распределенных в пространстве, на которых одновременно зажигается разряд [1, 2]. Такая многоострийная электродная система может быть максимально приближена к объекту обработки и дает возможность учитывать все нюансы сложной обрабатываемой поверхности без механического перемещения электрода либо обрабатываемого объекта. Последнее особенно важно, так как механически перемещаемые системы в условиях высоких импульсных нагрузений являются одним из слабых звеньев в надежности технологических электроразрядных установок и требуют разработки сложных систем автоматического управления ими. Применение параллельных электродов, включенных в один разрядный контур, позволяет существенно расширить технологические возможности использования ИКР со СПО.

Вторая часть статьи посвящена разработке инженерной методики расчета технологических параметров ИКР при выбранных параметрах импульсного энергоузла для многоострийной либо многоэлектродной системы.

**Зажигания ИКР на многоострийной электродной системе.** Согласно исследованиям [2] для проводимостей электролита  $\sigma_0 \geq 0,1$  См/м возможно зажигание СПО на  $n$  одинаковых остриях одновременно с практически идентичными параметрами своего развития. В этом случае при разработке инженерной методики расчета ИКР возникает еще одно условие, связанное с одновременным зажиганием разряда на  $n$  остриях. Согласно [3] необходимым условием для зажигания разряда в электролитах является развитие перегревной неустойчивости. Основная характеристика, определяющая этот процесс, – время ее развития  $t_n$ , которое должно быть намного меньше постоянной времени разряда емкостного накопителя  $C$ :

$$t_n < R_{\text{пр}} C. \quad (1)$$

Начальное сопротивление промежутка в этом случае будет определяться как

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{эл}}}{n} = \frac{1}{2\pi\sigma_0 n r_{\text{эл}}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{эл}}$  – сопротивление промежутка на одном острие и  $r_{\text{эл}}$  – радиус закругления одного острия.

Развитие перегревной неустойчивости согласно [3] рассчитывается как

$$t_n = \frac{\rho_e c_p}{\alpha} \frac{1}{\sigma_0 E_0^2} = \frac{\rho_e c_p}{\alpha} \frac{r_{\text{эл}}^2}{\sigma_0 U_0^2}, \quad (3)$$

где  $\rho_e$  – плотность жидкости,  $c_p$  – теплоемкость,  $\alpha$  – температурный коэффициент электропроводности жидкости,  $E_0$  – напряженность электрического поля на острие,  $U_0$  – начальное напряжение на емкостном накопителе.

Таким образом, получим, что  $\frac{\rho_e c_p}{\alpha} \frac{r_{эл}^2}{\sigma_0 U_0^2} \ll \frac{1}{2\pi\sigma_0 n r_{эл}}$ , откуда максимальное количество острий, на которых гарантированно зажжется ИКР со СПО, не должно превышать

$$n \ll \frac{\alpha}{\rho_e c_p} \frac{U_0^2 C}{r_{эл}^3}. \quad (4)$$

Выражение (4) должно быть одним из критериев для выбора параметров разрядного контура и радиуса электрода  $r_{эл}$ .

Мощность диссипации энергии, которая станет выделяться в каждом из  $n$  зажегшихся СПО  $N_{nam}$ , определится следующим образом:

$$N_{nam} = \frac{N_{am}}{n}, \quad (5)$$

где  $N_{am}$  – мощность, выделившаяся на всем разрядном промежутке.

Тогда, согласно первой части данной статьи, давление на границе плазма-жидкость на каждом из острий достигнет максимального значения из условия

$$P_{nam} = \left( \frac{25(\gamma-1)^2 A_s U_0^2 k \rho_0^2 v_{am} k^* \sigma_0}{16\pi^2 (\gamma + \frac{1}{3}) L^2 n r_{эл} (1 + \frac{v_{am}}{c_0})^2} \right)^{1/4}, \quad (6)$$

где  $\gamma=1,26$  – эффективный показатель адиабаты разрядной плазмы;  $A_s=10^5(\text{В}^2\cdot\text{с})/\text{м}^2$  – искровая постоянная;  $c_0 = 1400$  м/с – скорость звука в воде;  $k^* = 0,126$  м/См – коэффициент;  $v_{am} = 10^3$  м/с – скорость расширения СПО к моменту максимума тока;  $L$  – индуктивность разрядного контура;  $\rho_0$  – плотность электролита.

При этом коэффициент  $k$  для апериодического разряда также должен учитывать изменение сопротивления промежутка за счет изменения декремента затухания:

$$\delta = \frac{1}{4\pi\sigma_0 n r_{эл}} \sqrt{\frac{C}{L}}. \quad (7)$$

Максимальный радиус каждого из СПО примет вид

$$a_{nm} = \left( \frac{(\gamma-1)^2 A_s U_0^2 C^2 k_{am} k^* \sigma_0 \left(1 + \frac{v_{am}}{c_0}\right)^2}{25\pi^2 (\gamma + \frac{1}{3}) r_{эл} \rho_0^2 v_{am}^3} \right)^{1/4}, \quad (8)$$

и соответственно давление на фронте ударной волны от каждого из СПО определится как

$$P_{nm} = \frac{(\gamma-1)}{2\pi r} \left( \frac{2A_s W_0 k k^* \sigma_0}{(\gamma + \frac{1}{3}) r_{эл} v_{am} L n} \right)^{1/2}, \quad (9)$$

$W_0$  – энергия, запасенная в емкостном накопителе.

**Методика расчета параметров ИКР при многоострийной электродной системе.** В целом методика расчета для  $n$  электродов должна включать следующие позиции:

1. Определение необходимых параметров разрядного контура из представленных в первой части статьи условий для получения необходимого уровня давления на фронте ударной волны для одного электрода.

2. Для выбранных параметров фиксируем декремент затухания  $\delta$ , который в этом случае выступает критерием подобия, и по уменьшению  $r_{эл}$  или увеличению емкости накопителя выбираем  $n$  – количество параллельных острий либо электродов.

3. По зависимости  $n = \frac{\alpha}{10\rho_e c_p} \frac{U_0^2 C}{r_{эл}^3}$  определяем максимальное количество параллельных электродов, на которых зажигается СПО. В случае, если рассчитанное значение не меньше количеств-

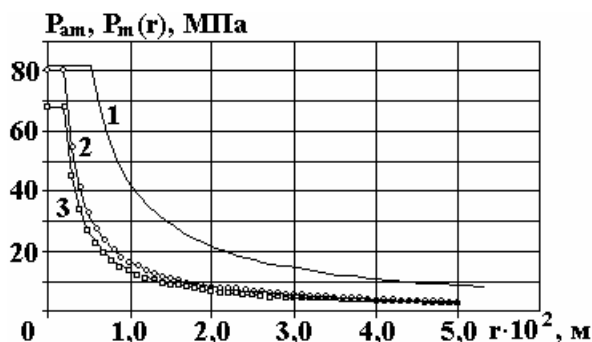
ва выбранных электродов, принимаем значения, выбранные согласно п.2. Если нет, то соответственно вносим коррективы в выбранные значения либо количества  $n$ , либо параметры  $U_0$ ,  $C$ ,  $r_{эл}$ .

4. Необходимо отслеживать величину критерия подобия  $\beta$  [4], который в случае  $n$  электродов имеет вид

$$\beta = \frac{\sigma_0 U_0^2 (LC)^{2/3}}{\rho_0 (nr_{эл})^4}.$$

5. Таким образом, если все условия выполнены, можно использовать  $n$  параллельных электродов и рассчитать давление по формуле (9).

Результаты расчетов по предложенной методике максимума давления на стенке плазменной полости ИКР и на фронте ударной волны в многоострийной электродной системе на каждом острие при их различных количествах представлены на рисунке.



Расчетные максимальные давления на стенке плазменной полости  $P_{ам}$  и на фронте волны сжатия  $P_m(r)$  на одном острие при их различных количествах в зависимости от расстояния до СПО при  $C=2$  мкФ,  $U_0=50$  кВ,  $L=6$  мкГ,  $\sigma_0=2,2$  См/м,  $r_{эл}=5$  мм. 1 —  $n_{эл} = 1$ ; 2 —  $n_{эл} = 3$ ; 3 —  $n_{эл} = 6$

**Выводы.** Полученные аналитические зависимости основных технологических параметров ИКР со СПО — максимального давления на границе СПО и его радиуса, максимального давления на фронте волны сжатия на удалении от СПО для многоострийной либо многоэлектродной системы — позволили предложить инженерную методику расчета характеристик ИКР по внешним регулируемым параметрам импульсного энергоисточника с емкостным накопителем энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теляшов Л.Л. Особенности развития "беспробойного" разряда в жидкости // Электронная обработка материалов. 1989. № 2. С. 38–41.
2. Богуславский Л.З., Бристецкий Е.В., Кривицкий Е.В., Петриченко В.Н. Исследование зажигания многофакельного коронного разряда в слабопроводящих электролитах // Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий. 2002. Вып. 4. С. 7–15.
3. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. Киев: Наукова думка, 1986. 208 с.
4. Шамко В.В., Кривицкий Е.В., Кучеренко В.В. Приближенное подобие электрофизических и кинематических процессов при импульсном коронном разряде в сильных водных электролитах // Журн. техн. физики. 1999. Т. 69. Вып. 5. С. 30–34.

Поступила 03.06.09

## Summary

It is offered an engineering calculation method of technological parameters of pulse corona discharge - maximal pressure on the continuous plasma formation boundary and its radius, maximal pressure at the compression wave-front and discharge electroacoustic efficiency for the selectable external adjustable parameters of pulse generator in composition the technological electrical discharge equipment. The parameters calculation for the single-point is resulted at the first part of the work.