

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА НАНОУГЛЕРОДА ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В РАСТВОРАХ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ. Часть I. ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ И ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА

Л.З. Богуславский, Н.И. Кускова, С.А. Хайнацкий, А.Н. Ющишина

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, boguslavsky@mail.ru, defr@iip.com.ua,  
iip@iip.com.ua*

**Введение.** Развитие нанотехнологий и расширение использования наноматериалов в промышленном производстве делают все более актуальной задачу создания новых экономичных и производительных технологий их синтеза. После открытия нанокристаллических материалов методы синтеза последних постоянно исследуются и совершенствуются. Большая их часть основана на переработке графита и другого твердофазного карбонового сырья. Наиболее распространенным методом, использующим газообразное сырье, является пиролиз. В ИИПТ НАН Украины ранее был предложен способ переработки жидкого сырья, основанный на методе электровзрывной деструкции углеводородных жидкостей [1] и позволяющий быстро получать рекордные в сравнении с другими методами количества нанокристаллического углерода.

Суть его заключается в синтезе нанокристаллических материалов в плазме электрического разряда в органических жидкостях. Но несмотря на высокую эффективность и технологичность, он также не лишен некоторых ограничений. Поскольку все применявшиеся для этих целей жидкости [2] являются диэлектрическими (их удельное электрическое сопротивление превышает  $10^{10}$  Ом·см), разряд в них характеризуется формированием единичного неразветвленного плазменного канала, длина которого практически совпадает с длиной межэлектродного промежутка. Увеличение объема плазмы канала разряда с целью повышения производительности синтеза наноматериалов в единичном импульсе здесь возможно только при значительном увеличении напряженности поля по сравнению с пробивной, что существенно скажется на энергозатратах. Решение проблемы увеличения объема жидкости, подверженной объемному электроразрядному воздействию, следует искать в этом случае в существенном увеличении электропроводности обрабатываемых сред, ведь сильная зависимость структуры лидерной системы от удельной электропроводности раствора – разветвленности, количества лидеров – является хорошо известным и давно установленным фактом [3].

Одним из возможных способов решения этой проблемы может быть создание электролитов на основе хорошо растворимых, к примеру в воде, углеродсодержащих соединений (например, органических кислот) или органических растворителей. Поэтому цель настоящей работы – определение рабочих углеродных сред и диапазонов параметров электротехнических устройств, необходимых для получения углеродных наноматериалов при объемной электроразрядной обработке углеродных сред. Исследование направлено на решение важной научно-технической проблемы – поиск новых физико-технических путей синтеза чистого нанокристаллического углерода на базе объемного электроразрядного воздействия на жидкие углеводородные среды с помощью импульсных разрядов.

**Некоторые особенности импульсного электрического разряда в жидкости.** Поскольку структура лидерной системы, как мы уже указывали выше, достаточно сложно зависит от удельной электропроводности раствора, электродной системы и таких параметров разрядного контура, как начальное напряжение и емкость конденсаторной батареи, для определенности будем считать, что в дальнейшем все процессы станем рассматривать в окрестности так называемой критической напряженности поля [4], значение которой для воды составляет  $\approx (4-6) \cdot 10^6$  В/м. В таком случае можно определить некоторые условные диапазоны электропроводности, характеризующие уровень ветвления лидерных систем. Так, разряд в дистиллированной воде ( $\sigma_0 \approx 10^{-6}$  См/м) характеризуется единичным неразветвленным лидером, в водопроводной ( $\sigma_0 \approx 10^{-3}$  См/м) – разветвленной лидерной системой, в морской ( $\sigma_0 \approx 2$  См/м) – мощной кистевой короной. Такая импульсная корона в воде представляет собой развитую систему лидеров кустообразной пространственной ориентации. Возникает она в разрядном промежутке с неоднородным и резко неоднородным полем и характеризуется тем, что ни

один из прорастающих в глубь промежутка лидеров не достигает противоположного электрода. В этом – существенное отличие подводной импульсной короны от "линейного" подводного искрового разряда.

Таким образом, при изменении внешних условий, в частности при увеличении электропроводности электролита  $\sigma_0$ , число лидеров увеличивается, диаметр их у основания становится больше, а при некоторых электропроводностях они покрывают всю свободную поверхность электрода, образуя сплошное плазменное образование (СПО). При некоторых критических значениях  $\sigma_0$  лидеры сливаются друг с другом с самого начала разряда, и СПО полностью повторяет форму электрода. Если оконечность неизолированной части электрода имеет форму полусферы, то и плазма, окружающая его, также имеет форму полусферы. Ток разряда из-за значительной электропроводности среды может достигать десятков килоампер [4]. Плотная низкотемпературная плазма коронного разряда в электролитах, имеющая температуру порядка  $10^4$  К, должна подвергнуться деструкции любые органические молекулы, а за счет разветвленной плазменной короны под воздействие может попадать значительно больший объем жидкости по сравнению с известными электровзрывными методами.

Импульсный коронный разряд (ИКР) в жидкости, обладающий высокой стабильностью электрических характеристик, имеет еще целый ряд преимуществ. Например, для увеличения объема обрабатываемой жидкости можно одновременно зажигать его на 100 и более остриях. Такой подход реализуется в многофакельном ИКР [5]. Возможна также реализация протяженного (линейного) ИКР. В целом свойства ИКР позволяют создавать плазменные области практически любой наперед заданной конфигурации. Учитывая все эти обстоятельства, можно сделать вывод, что для синтеза углеродных наноматериалов при электрическом разряде в жидкости следует по возможности создавать условия для реализации ИКР со СПО.

Обычно ИКР реализуется в водных растворах электролитов, при этом наиболее исследованными являются растворы поваренной соли. Данные по влиянию на процесс развития разряда химического состава различных примесей достаточно противоречивы. Так, в [6] исследовался разряд в водных растворах различных химических веществ с электрической проводимостью от  $5 \cdot 10^{-3}$  до 74 См/м. С помощью осциллографирования установлено, что поведение всех растворов при высокой напряженности поля зависит только от  $\sigma_0$  растворов, а не от химического состава примесей. То есть отмечается решающее влияние низковольтной удельной электрической проводимости на высоковольтное поведение раствора. Аналогичный вывод делается и в [7].

Однако в [8] отмечается, что при одинаковом значении  $\sigma_0$  лидеры появляются раньше при наличии в жидкости атомов со сравнительно малым потенциалом возбуждения и ионизации (Na и K). Различие в развитии разрядов в зависимости от рода ионов и их концентрации в водном растворе при значениях  $\sigma_0$  от 0,1 до 13,5 См/м наблюдалось и в [9]. С изменением химического состава может изменяться характер разряда (перейти от разряда с пробоем в коронный разряд ([8])). При коронном разряде в растворах с  $\sigma_0 = 13,5$  См/м, хотя осциллограммы тока и напряжения были почти одинаковыми, различия наблюдались в продолжительности свечения от максимальной интенсивности до полного затухания. Кроме того, в отличие от щелочей и нейтральной среды, для которых полярность выражена слабо, в кислой среде развитие разряда происходило преимущественно с положительного электрода [7]. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при выборе рабочих жидкостей и расчете параметров энергоузла.

**Выбор рабочей жидкости.** Как уже указывалось выше, одним из основных требований, предъявляемых к органическим жидкостям с целью реализации в них коронного разряда, является их высокая электрическая проводимость – от 1 до 10 См/м. Однако органические вещества по своей природе большей частью неполярные или слабополярные. Исключением является формамид, диэлектрическая проницаемость которого ( $\epsilon = (109 \pm 1,5)$  Ф/м) выше, чем у воды, а электрическая проводимость  $\sigma_0 = 26,3$  См/м.

Тем не менее органические составы, используемые в качестве электролитов, известны. К ним, например, относится электролит алюминирования, в состав которого входят 1,2,4,5-тетраметилбензол, алюминий бромид и ксилол. Проводящими свойствами обладают также водные растворы органических кислот (щавелевая, лимонная, аскорбиновая, янтарная, уксусная). Можно ожидать, что определенную электрическую проводимость будут иметь водные растворы сахара, растворимого крахмала, желатина, поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Однако наряду с необходимой электрической проводимостью органическое вещество – сырье для получения углеродных наноматериалов – должно быть относительно доступно, безопасно в условиях электрического разряда, а также содержать большую массовую долю атомов углерода. Состав для алюминирования представляется нам экзотическим; кроме того, способ его приготовления трудо-

емкий и энергозатратный. Другие из вышеупомянутых веществ обладают совокупностью необходимых качеств в большей или меньшей степени. Свойства некоторых органических веществ – возможного сырья для получения УНМ в коронном разряде – представлены в табл. 1 [10]. Из данных, представленных в табл. 1, следует, что поверхностно-активные вещества имеют максимальное содержание углерода; кроме того, многие ионогенные ПАВ хорошо растворимы в воде и спиртах, а также относительно безопасны и легкодоступны. Поэтому могут быть наиболее перспективным сырьем для получения УНМ. Кроме того, они могут являться побочным результатом (отходами) ряда производств, причем утилизация их обычными способами затруднена и затратна.

Большинство представленных в табл. 1 соединений растворимы в этаноле, который при зажигании в нем ИКР будет сам также являться источником углерода для синтеза наноуглерода.

Таблица 1. Свойства некоторых органических веществ

Название органического вещества	Химическая формула	Растворимость	$\sigma_0$ , См/м	Дипольный момент, Кл·м	Массовая доля атомов углерода, %
Формаид	$\text{HCONH}_2$	Вода + Бензол – Этанол +	26,3	$11,24 \cdot 10^{-30}$	27
Щавелевая кислота	$\text{HOOC}\cdot\text{COOH}$	Вода + Бензол – Этанол +	5,08 (3,5% <sub>(масс.)</sub> , 18°C), 7,83 (7% <sub>(масс.)</sub> , 18°C)	$0,1 \cdot 10^{-30}$	27
Уксусная кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}$	Вода + Бензол +/- Этанол +		$5,6 \cdot 10^{-30}$	40
Янтарная кислота	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$	Вода + Бензол – Этанол +		$5,5 \cdot 10^{-30}$	40,7
Лимонная кислота	(НО- $\text{OCC}\text{H}_2$ ) <sub>2</sub> $\text{C}(\text{OH})\text{C}$ ООН	Вода + Бензол – Этанол +		–	37,5
Аскорбиновая кислота	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	Вода + Бензол – Этанол +		–	41
Глюкоза	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Вода + Бензол – Этанол +/-		$47 \cdot 10^{-30}$	40
Натрий додецил-сульфат (ПАВ)	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$	Вода + Бензол – Этанол +		–	50

Примечание: в 3-м столбце знак «+» означает, что вещество растворимо в указанном растворителе, «-» – не растворимо, «+/-» – малорастворимо

Растворы органических веществ, представленных в таблице, являются слабыми электролитами, степень диссоциации которых  $\alpha \ll 1$ . Удельная электропроводность слабых электролитов значительно ниже удельной электрической проводимости сильных электролитов той же концентрации, что обусловлено небольшой степенью диссоциации слабого электролита. При повышении его концентрации одновременно увеличивается число молекул, способных диссоциировать, но снижается степень диссоциации. Как видно, данных об удельной и молярной электрической проводимости растворов слабых электролитов в литературе крайне мало. Для щавелевой кислоты в [11] представлены данные только для двух концентраций раствора, для лимонной и других органических кислот их обнаружить не удалось. Сравнение данных для щавелевой кислоты и зависимости электропроводности водных растворов поваренной соли от массовой концентрации растворов показывает, что для приведенного диапазона значений электропроводность раствора щавелевой кислоты примерно в полтора раза ниже, чем раствора NaCl. Для других кислот это соотношение еще ниже. Тем не менее диапазон

значений начальной удельной электропроводности насыщенных растворов органических кислот при определенных параметрах разрядного контура и электродной системы может позволить реализовать ИКР со СПО с расщеплением молекул органического соединения до атомарного уровня.

**Расчет внешних регулируемых параметров импульсного генератора** в составе технологической электроразрядной установки для плазмохимического синтеза наноуглеродных материалов можно проводить как минимум двумя способами. Первый – «прямой», – опираясь на физически непротиворечивую модель явления ИКР, рассчитать зависимость характеристик СПО от внешних параметров и по ней определить их наборы для «экстремальных» состояний СПО с максимальным объемом плазмы разряда. Таких моделей, включающих в себя сложные системы нелинейных интегродифференциальных уравнений в частных производных, которые в достаточно точном приближении описывают процессы в разрядном промежутке – динамику СПО и переходного слоя плазма-жидкость, неоднородную диссипацию энергии в электролите, – предложено немало (см., например, [12]). Недостатками метода являются его высокая трудоемкость и недостаточная иллюстративность получаемых результатов, поскольку решение таких систем уравнений можно получить только численными методами.

Второй метод – косвенный – опирается на приближенные аналитические вычисления ряда технологических параметров ИКР, таких как максимальное давление на границе СПО и его радиус, максимальное давление на фронте волны сжатия на удалении от СПО и электроакустический КПД разряда, в расчете на то, что их «экстремальные» значения точно соответствуют состояниям СПО с максимальным объемом плазмы разряда. Такой приближенный расчет параметров ИКР реализован нами для одноострийных, многоострийных и протяженных электродных систем; инженерная методика расчета опубликована в [13–15].

Ряд упрощающих допущений, принятых при постановке задачи, хоть и несколько снижающих точность описания процесса разряда, позволил получить аналитические зависимости максимальных параметров ИКР и его электроакустического КПД при достижении максимума мощности. Для оценки внешних регулируемых параметров в системе с одним острийковым анодом из предложенной в [13] инженерной методики расчета необходимо руководствоваться в первую очередь условиями получения ИКР со СПО:

$$\beta = \frac{\sigma_0 U_0^2 (LC)^{\frac{3}{2}}}{\rho_0 r_{эл}^4},$$

где  $\sigma_0$  – электропроводность электролита,  $U_0$  – напряжение заряда емкостного накопителя,  $C$  – емкость накопителя,  $L$  – индуктивность разрядного контура,  $r_{эл}$  – радиус закругления острия электрода,  $\rho_0$  – плотность электролита. Критерий  $\beta$  является мерой отношения плотностей потока энергии электрического поля и энергии динамического напора жидкой среды на единицу длины как линейного размера острия, так и длины окружности дискового электрода. Получение ИКР со СПО возможно только при  $\beta > 0,2$ , в противном случае необходимо менять внешние регулируемые параметры. Для протяженных электродных систем этот критерий идентичен, а для многоострийных систем с  $n$  электродами вместо ( $r_{эл}$ ) записывается ( $nr_{эл}$ ).

Следующим шагом должен быть расчет режима электрического разряда по значению декремента затухания. Выражения для зависимости декремента затухания для ИКР со СПО при различной геометрии электродной системы приведены в табл. 2.

Таблица 2. Зависимость декремента затухания для ИКР со СПО при различной геометрии электродной системы [13–15]

Электродная система		
Один острий- ковый анод	Линейное острие	Дисковый элек- трод
$\delta = \frac{1}{4\pi\sigma_0 r_{эл}} \sqrt{\frac{C}{L}}$	$\delta = \frac{\ln\left(\frac{h}{r_{эл}}\right)}{2\pi\sigma_0 l} \sqrt{\frac{C}{L}}$	$\delta = \frac{\ln\left(\frac{h}{r_{эл}}\right)}{4\pi^2\sigma_0 R} \sqrt{\frac{C}{L}}$

Здесь  $\delta$  – логарифмический декремент затухания,  $h$  – длина выступающей (неизолированной) части электрода,  $l$  – длина острия,  $R$  – радиус диска. В случае  $\delta < 1$  разряд будет колебательный, при  $\delta \approx 1$  – разряд критический и при  $\delta > 1$  – разряд аperiодический. Для ИКР реализуются в основном критиче-

ский и аperiodический режимы разряда.

При зажигании СПО на  $n$  одинаковых остриях одновременно необходимо учитывать еще одно условие, определяющее максимальное количество острий, на которых гарантированно зажжется ИКР со СПО [14]:

$$n << \frac{\alpha}{\rho_0 c_p} \frac{U_0^2 C}{r_{эл}^3}.$$

Здесь  $\alpha$  – температурный коэффициент электропроводности,  $c_p$  – теплоемкость жидкости.

Для протяженного острия необходимо учитывать, что существует максимальный линейный размер острия  $l_m$ , на котором гарантированно зажжется ИКР по всей его длине [15]:

$$l_m = \frac{0,1\alpha}{\rho_0 c_p} \frac{U_0^2 C}{\pi \cdot r_{эл}^2 \ln \frac{h}{r_{эл}}},$$

а для дискового электрода – величина максимального радиуса диска:

$$R_m = \frac{0,1\alpha}{\rho_0 c_p} \frac{U_0^2 C}{2\pi^2 \cdot r_{эл}^2 \ln \frac{h}{r_{эл}}}.$$

При расчете внешних регулируемых параметров необходимо также учесть, что при одноострийной электродной системе радиус СПО, соответствующий максимуму мощности, растет с увеличением запасенной энергии  $W_0 = CU_0^2/2$ , электропроводности жидкости  $\sigma_0$ , с уменьшением индуктивности  $L$  и начального радиуса электрода  $r_{эл}$ . Наиболее сильно из внешних регулируемых параметров на максимальный объем СПО при одноострийной электродной системе влияют начальное напряжение на конденсаторной батарее и ее емкость:  $a_m \sim U_0^{1/2}$ ;  $C^{1/2}$ , соответственно объем  $\sim U_0^{3/2}$ ;  $C^{3/2}$ . Такая же зависимость сохраняется для каждого из электродов и в многоострийной электродной системе.

Для протяженных плазменных поршней – линейного полуцилиндра и внешнего полутора – характер зависимости максимального радиуса плазменного поршня от внешних регулируемых параметров одинаков. Отличия составляют только разница в суммарном значении коэффициентов и характере их зависимости от линейных параметров электродной системы, что определяется их разной геометрией. В то же время, по сравнению с одноострийной электродной системой, для протяженного плазменного поршня зависимость его максимального радиуса и объема от внешних регулируемых параметров является более сильной. Если в первом случае  $a_m \sim U_0^{1/2}$ ,  $C^{1/2}$  и соответственно объем  $\sim U_0^{3/2}$ ,  $C^{3/2}$ , то во втором  $a_m \sim U_0^{2/3}$ ,  $C^{2/3}$ , соответственно объем  $\sim U_0^2$ ,  $C^2$ . Если же учитывать коэффициент сплошности плазмы [16], то для любой электродной системы реальный объем плазмы при высоких электропроводностях жидкости, при формировании ИКР со СПО, может оказаться в несколько раз больше, чем рассчитываемый по [13–15].

**Выводы.** Таким образом, реализация условий, необходимых для осуществления импульсного коронного разряда со сплошным плазменным образованием в углеродсодержащей жидкости, возможна только при условии учета всех особенностей такого разряда, правильного выбора рабочих сред и предварительного расчета внешних регулируемых параметров энергоузла. Первым необходимым условием является создание электродной системы с резко неоднородным полем у положительного острия (кромки и т.п.). При этом напряженность поля у острия должна быть выше критической ( $\sim 10^7$  В/м). Для наиболее продуктивного синтеза углеродных наноматериалов при электрическом разряде в жидкости следует по возможности создавать условия для реализации ИКР со СПО. Поэтому в качестве рабочей среды следует выбирать растворы электролитов с максимально высокой удельной электропроводностью и по возможности – и с наличием ионов с малым потенциалом возбуждения и ионизации. При этом органическое вещество – сырье для получения углеродных наноматериалов – должно быть относительно доступно, безопасно в условиях электрического разряда, а также содержать большую массовую долю атомов углерода.

При оценке внешних регулируемых параметров генератора необходимо руководствоваться условиями получения ИКР со СПО, расчетом режима электрического разряда по значению декрементата затухания для электродных систем с различной геометрией и условиями, определяющими максимальное количество острий, на которых гарантированно зажжется ИКР со СПО, либо максимальную

длину острия для линейного поршня, или величину максимального радиуса диска для дискового электрода, на котором зажжется ИКР по всей кромке.

Учитывая более сильную зависимость объема плазмы от внешних регулируемых параметров для протяженных электродных систем и то, что в выражение для объема плазменного поршня в качестве третьего измерения вместо радиуса входит линейный размер электродной системы, который в большинстве случаев значительно превышает радиус плазменного образования, следует ожидать, что система с протяженным плазменным поршнем окажется эффективней.

Материалы экспериментальных исследований возможности синтеза наноуглерода при электрическом разряде в растворах органических кислот представлены во второй части работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кускова Н.И., Богуславский Л.З., Рудь А.Д., Уваров В.Н., Иващук Л.И., Перекос А.Е., Орешкин В.И. Электровзрывные методы синтеза углеродных наноматериалов. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2008, **30**(6), 833–847.
2. Kuskova N.I., Boguslavskii L.Z., Smal'ko A.A. and Zubenko A.A. Obtaining nanocarbon using the electric-discharge treatment method of organic liquids. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2007, **43**(4), 269–275.
3. Наугольных К.А., Рой Н.А. *Электрические разряды в воде*. М: Наука, 1971. 155 с.
4. Богуславский Л.З., Кривицкий Е.В., Петриченко В.Н. Коронный разряд в сильных электролитах. *Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий. Вып.1*. Киев: Наук. Думка, 1993. С. 8–12.
5. 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. Вып.4*. Киев: Наук. Думка, 2002. С. 7–15.
6. Бродская Б., Эйскоп Р., Паю А. Особенности развития импульсных разрядов в сильнопроводящих жидкостях. *Известия АН ЭССР. Химия. Геология*. 1968, **17**(3), 251–256.
7. Кривицкий Е.В., Петриченко В.Н., Бондарец Л.М. Исследование энергетических характеристик предпробойной стадии подводного искрового разряда. *Журнал технической физики*. 1977, **47**(2), 319–325.
8. Трофимова Н.Б. Исследование пробоя проводящих недегазированных жидкостей. *Пробой диэлектриков и полупроводников*. М.; Л.: Энергия, 1964. С. 219–224.
9. Бродская Б., Трапидо Г., Губергриц М. Интенсивность световых вспышек и электрические характеристики сильноточных импульсных разрядов в электролитах разного состава. *Известия АН ЭССР. Химия, Геология*. 1972, **21**(4), 375–378.
10. “Химия”: Справ. изд. [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://www.xumuk.ru>; “Википедия”. *Портал: техника*. [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://ru.wikipedia.org>.
11. *Справочник по электрохимии*. Под ред. д.х.н., проф. А.М.Сухотина. Л.: Химия, 1981. 485 с.
12. Шамко В.В., Богуславский Л.З. Математическое моделирование коронного разряда в сильных водных электролитах. *Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий*. 2002, (4), 34–44.
13. Boguslavskii L.Z. Engineering method of calculating the technological parameters of pulse corona discharge in strong electrolytes: I. Single-point electrode systems. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009, **45**(5), 390–396.
14. Boguslavskii L.Z. Engineering methods of the calculation the technological parameters of a pulse corona discharge in strong electrolytes and for a multipoint electrode system. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009, **45**(6), 492–494.
15. Boguslavskii L.Z. Engineering methods for the calculation of the technological parameters of a pulsed corona discharge in strong electrolytes and for the extensive plasma piston. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2010, **46**(2), 131–137.
16. Богуславский Л.З., Кучеренко В.В., Кривицкий Е.В. *Динамика импульсного коронного разряда в водных электролитах*. Препринт № 22 ИИПТ АН Украины. Николаев, 1993. 41 с.

Поступила 23.12.10

## Summary

Terms, necessary for realization of impulsive crown digit with continuous plasma education in a liquid containing a carbon, are certain. The organic compositions used as electrolytes are chosen. Approach for the calculation of the external managed parameters of impulsive generator was offered.