

М.И. Баранов

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАЗМОИДОВ ИСКУССТВЕННОЙ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

*Приведені перші результати експериментального відтворення в лабораторних умовах сферообразних низькоенергетичних плазмодів штучної кульової блискавки (КБ). Отримані дані свідчать про принципову можливість надійного отримання в повітряній атмосфері таких плазмодів за допомогою розрядного кола високовольтної установки, що має зігнутий канал дугового електричного розряду між графітовим електродом і плоскістю технічної води. Час "життя" подібних плазмодів штучної КБ діаметром до 0,3 м в проведених дослідах не перевищувало 0,6 с.*

*Приведены первые результаты экспериментального воспроизведения в лабораторных условиях сферообразных низкоэнергетических плазмодов искусственной шаровой молнии (ШМ). Полученные данные свидетельствуют о принципиальной возможности надежного получения в воздушной атмосфере таких плазмодов с помощью разрядной цепи высоковольтной установки, имеющей изогнутый канал дугового электрического разряда между графитовым электродом и плоскостью технической воды. Время "жизни" подобных плазмодов искусственной ШМ диаметром до 0,3 м в проведенных опытах не превышало 0,6 с.*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросам математического моделирования электрофизических процессов, возникающих при формировании и протекании в воздушной атмосфере такого природного феномена как шаровая молния (ШМ), посвящено достаточно большое количество научных публикаций (например, [1-5]). Ряд теоретических разработок в области этой научной проблемы, как оказалось по существу тесно связанной с проблемами управляемого термоядерного синтеза и создания нового поколения мощных малогабаритных накопителей электромагнитной энергии, сделал и автор этой статьи (например, [6-9]). Однако, все эти работы носят либо преимущественно описательный характер очевидцев наблюдения природной ШМ [1, 2], либо сугубо теоретический характер [3-9]. Большой интерес среди физиков-теоретиков имеют экспериментальные исследования, проводимые в научных высоковольтных лабораториях мира и посвященные опытам по созданию плазмодов искусственной ШМ. Среди подобных исследований следует указать, прежде всего, результаты ученых Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН, приведенные в [10]. Судя по экспериментальным данным из работы [11], аналогичными опытными исследованиями плазмодов искусственной ШМ вплотную занялись в последние годы и ученые ННЦ "Харьковский физико-технический институт" НАН Украины.

### 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ПЛАЗМОИДОВ ИСКУССТВЕННОЙ ШМ

Проверка принципиальной возможности получения в лабораторных условиях низкоэнергетических плазмодов искусственной ШМ, похожих на теоретически описанный в [9], была осуществлена с помощью высоковольтной экспериментальной электроустановки с накопителем энергии конденсаторного типа, общий вид которой приведен на рис. 1. Принципиальная электрическая схема этой электроустановки, содержащей в своем составе конденсаторную батарею емкостью  $C_p \approx 840$  мкФ (шесть параллельно включенных конденсаторов ИМ2-5-140) на номинальное зарядное напряжение  $U_3 \approx \pm 5$  кВ и номинальную запасаемую электрическую энергию  $W_p \approx 10,5$  кДж, показана

на рис. 2. Главной электрофизической особенностью данной высоковольтной моделирующей электроустановки, работающей в режиме генерирования изогнутого канала 2 дугового электрического разряда в атмосферном воздухе над горизонтальной плоской поверхностью технической воды 3 (см. рис. 2), помещенной в изоляционную рабочую камеру (РК) объемом до 10 л, является то, что она для этого содержит специальную двухэлектродную систему (ДЭС).

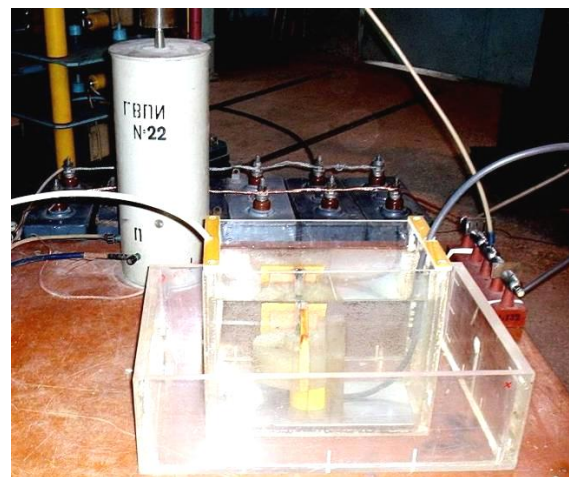


Рис. 1. Внешний вид основных элементов высоковольтной электроустановки на зарядное напряжение до  $U_3 \approx \pm 5$  кВ и запасаемую электрическую энергию до  $W_p \approx 10,5$  кДж ( $C_p \approx 840$  мкФ), формирующей сферические низкоэнергетические плазмоды искусственной ШМ в воздушной атмосфере над специальной ДЭС изоляционной РК из оргстекла с технической водой объемом до 10 л ( $h \approx 190$  мм)

Одним из электродов указанной ДЭС является вертикально расположенный сплошной потенциальный графитовый цилиндр 1, а другим – техническая вода 3 с помещенным в ней плоским заземленным алюминиевым электродом 5 (см. рис. 2). Графитовый электрод 1 диаметром 7 мм при этом был отделен от воды 3 изоляционной трубкой с толщиной стенки в 1 мм, выполненной, как и в [10], из кварцевого стекла. В ДЭС графитовый электрод 1, кварцевая трубка которого выступала примерно на 5 мм над поверхно-

© М.И. Баранов

стью воды 3, при помощи изолированного токопровода 6 был подсоединен к многозачорному воздушному коммутатору  $F$  типа МЗК-100 (с двумя закороченными и двумя рабочими зазорами длиной 2 мм каждый между стальными цилиндрическими электродами с полусферическими рабочими поверхностями) [12]. Коммутатор  $F$  в нашем случае электрически управляется при помощи генератора высоковольтных поджигающих импульсов (ГВПИ) 8 с разделительной емкостью в 180 пФ на своем выходе [13], подающего на его средний стальной электрод запускаящий импульс высокого напряжения амплитудой до  $\pm 100$  кВ микросекундного временного диапазона (см. рис. 1 и 2).

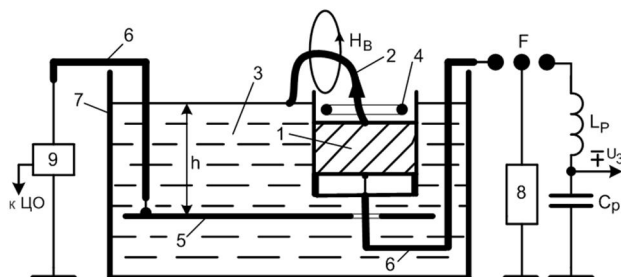


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема экспериментальной высоковольтной установки, воспроизводящей в атмосферном воздухе над специальной ДЭС изоляционной РК с технической водой сферические низкоэнергетические плазмоиды искусственной ШМ (1 – цилиндрический графитовый электрод ДЭС; 2 – изогнутый канал дугового разряда; 3 – техническая вода; 4 – вероятный тор спирально-кольцевого электронного тока; 5 – плоский алюминиевый электрод; 6 – радиочастотный кабель с медной жилой и снятой оплеткой; 7 – корпус из оргстекла рабочей камеры; 8 – генератор ГВПИ на импульсное напряжение  $\pm 100$  кВ; 9 – измерительный шунт ШК-300;  $F$  – многозачорный воздушный коммутатор МЗК-100;  $L_p \approx 2$  мкГн,  $C_p \approx 840$  мкФ – индуктивность и емкость разрядной цепи электроустановки)

Высота  $h$  столба воды 3 в РК между ее наружной поверхностью и плоскостью заземленного посредством изолированного токопровода 6 электрода 5 могла изменяться от 10 до 190 мм. ДЭС описываемой экспериментальной электроустановки была выполнена с возможностью размещения на плоской поверхности ее графитового электрода 1 нескольких капель воды [10]. Измерение в разрядной цепи экспериментальной электроустановки амплитудно-временных параметров (АВП) импульсного тока после заряда ее конденсаторов до требуемого напряжения  $U_3$ , срабатывания от ГВПИ коммутатора  $F$  и электрического пробоя изоляционного промежутка в ДЭС проводилось с помощью метрологически поверенного коаксиального шунта 9 типа ШК-300 [13], включенного в заземленную часть разрядной цепи высоковольтной экспериментальной установки, и запоминающего цифрового осциллографа (ЦО) типа Tektronix TDS 1012.

## 2. ПОЛУЧЕННЫЕ ОПЫТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ В ЛАБОРАТОРИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАЗМОИДОВ ИСКУССТВЕННОЙ ШМ

На рис. 3-5 показаны соответственно начальная, промежуточная и финальная стадии образования в воздушной атмосфере прямо над описанной и приведенной на рис. 1 и 2 ДЭС экспериментальной электроустановки ярко светящегося сферического низкоэнергетического плазмоида искусственной ШМ. За-

рядное напряжение отрицательной полярности конденсаторной батареи при этом составляло  $U_3 \approx 4,5$  кВ ( $W_p \approx 9,1$  кДж). Данный плазмоид искусственной ШМ, диаметр которого при  $h \approx 190$  мм достигал до  $D_p \approx 0,2$  м, был зафиксирован при помощи цифровой камеры типа Canon SX 200JS [14]. Многократно проведенные с непосредственным участием автора опыты по получению на описанной электроустановке подобных искусственных плазмоидов свидетельствуют о том, что при изменении уровня зарядного напряжения  $U_3$  для примененных конденсаторов от 2 до 5 кВ и при высоте  $h \approx 190$  мм столба воды в РК время "жизни" надежно воспроизводимых на ней плазмоидов не превышало  $\tau_T \approx 0,5$  с. Скорость их подъема в воздухе над ДЭС и плоскостью воды в РК составляла около 0,8 м/с.

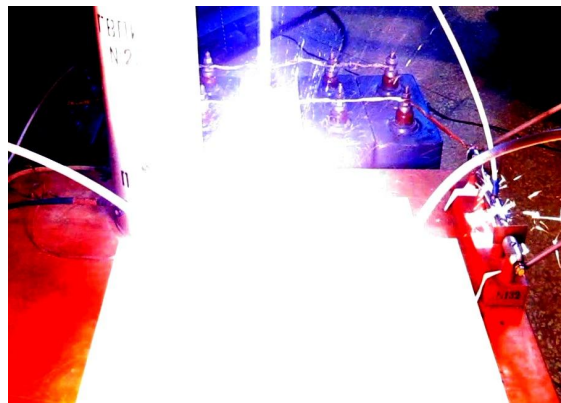


Рис. 3. Начальная стадия образования ярко светящегося сферического низкоэнергетического плазмоида искусственной ШМ в воздушной атмосфере над специальной ДЭС изоляционной РК из оргстекла с технической водой объемом до 10 л высоковольтной электроустановки ( $U_3 \approx 4,5$  кВ;  $W_p \approx 9,1$  кДж;  $I_{mp} \approx 3,8$  кА;  $\tau_T \approx 0,5$  с;  $h \approx 190$  мм)

Проведенные в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" эксперименты подтвердили зависимость формы и диаметра  $D_p$  образуемых в воздухе в зоне изгиба канала дугового разряда плазмоидов от знака полярности подаваемого на графитовый электрод ДЭС потенциала [10]. Только отрицательная полярность зарядного напряжения  $U_3$  конденсаторной батареи в нашей электроустановке обеспечивала получение округлых плазмоидов с временем их "жизни"  $\tau_T$  порядка 0,5 с. При подаче на графитовый электрод ДЭС электрического потенциала положительной полярности резко уменьшаются как численные значения  $D_p$ , так и  $\tau_T$ . При этом округлость поднимающихся над ДЭС электроустановки плазменно-кластерных образований нарушается. Эти данные могут указывать на заметное влияние концентрации  $n_e$  свободных электронов в зоне изгиба канала дугового электрического разряда на процесс формирования энергетического ядра и оболочки получаемых в проведенных опытах искусственных плазменных образований. При отрицательном электрическом потенциале графитового электрода ДЭС за счет термической эмиссии электронов из его материала в окружающее воздушное пространство [15] плотность  $n_e$  свободных электронов вблизи изгиба канала разряда заметно повышается. При положительном же электрическом потенциале графитового электрода ДЭС указанная плотность  $n_e$  свободных электронов будет существенно снижаться. Эта выявленная экспериментальным путем электрофизическая

особенность хорошо коррелирует с научными положениями, лежащими в основе предложенной автором в [9] электродинамической модели ШМ. Ведь для этой модели ШМ низкая плотность  $n_e$  электронов в плазме вне сильноточного разрядного канала не способствует формированию в зоне его (этого канала) изгиба мощного электронного высокопроводного тора радиусом  $r_T$  с будущим кольцевым током проводимости  $i_{eT}$ , способного стать энергетическим ядром ШМ.

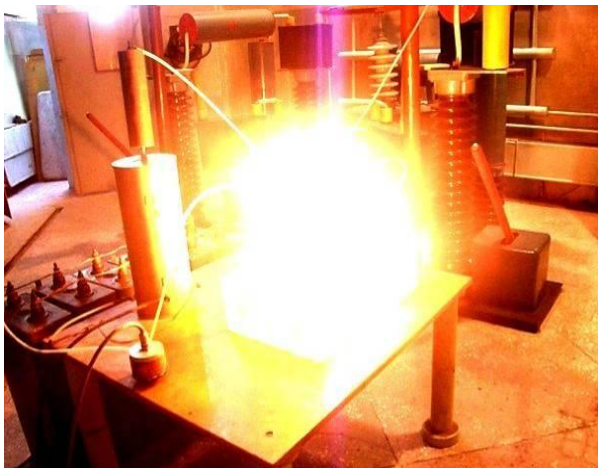


Рис. 4. Промежуточная стадия образования ярко светящегося сферического низкоэнергетического плазмоида искусственной ШМ в воздушной атмосфере над специальной ДЭС изоляционной РК из оргстекла с технической водой объемом до 10 л высоковольтной электроустановки ( $U_3 \approx 4,5$  кВ;  $W_p \approx 9,1$  кДж;  $I_{mp} \approx 3,8$  кА;  $\tau_T \approx 0,5$  с;  $h \approx 190$  мм)

Из данных приведенной на рис. 6 осциллограммы импульсного затухающего тока в разрядной цепи примененной нами в опытах электроустановки видно, что в начале процесса разряда заряженной до напряжения  $U_3 \approx 4,5$  кВ емкости  $C_p$  конденсаторной батареи ( $W_p \approx 9,1$  кДж) на участке длительностью до 0,5 мкс амплитуда  $I_{mp}$  импульсного тока, протекающего через ДЭС, за счет наложенных колебаний тока (с круговой частотой до 251 МГц) от генератора ГВПИ принимает численные значения, достигающие 3,8 кА.

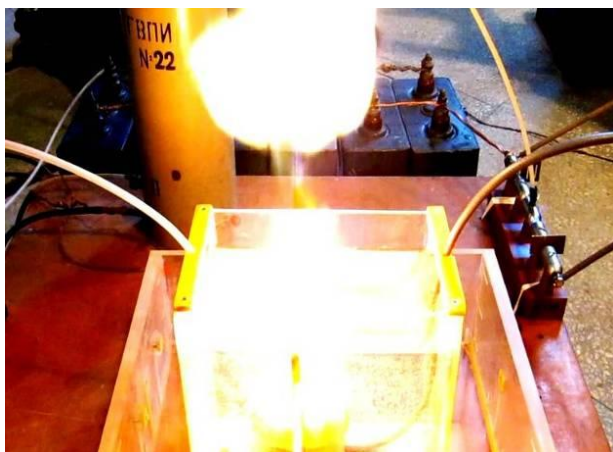


Рис. 5. Финальная стадия образования ярко светящегося сферического низкоэнергетического плазмоида искусственной ШМ в воздушной атмосфере над специальной ДЭС изоляционной РК из оргстекла с технической водой объемом до 10 л высоковольтной электроустановки ( $U_3 \approx 4,5$  кВ;  $W_p \approx 9,1$  кДж;  $I_{mp} \approx 3,8$  кА;  $D_p \approx 0,2$  м;  $\tau_T \approx 0,5$  с;  $h \approx 190$  мм)

При временах  $t \approx 5$  мкс наибольшая величина тока  $I_{mp}$  становится равной около 100 А. В последующем амплитуда  $I_{mp}$  разрядного тока снижается и при  $t \approx 100$  мс не превышает 10 А. Поэтому формирование автономного сферического низкоэнергетического плазмоида в воздушной атмосфере в зоне изгиба канала дугового электрического разряда завершается, как и в [11], при величинах амплитуд  $I_{mp}$  разрядного тока в цепи конденсаторной батареи в единицы ампер.

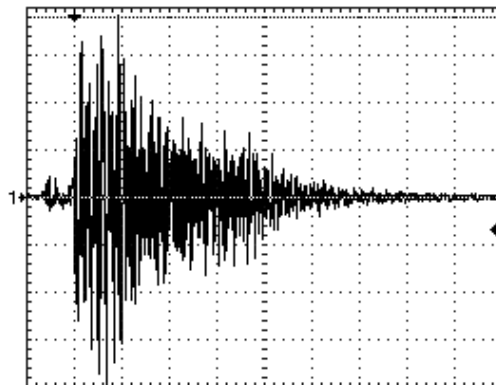


Рис. 6. Осциллограмма импульсного тока в разрядной цепи высоковольтной электроустановки, моделирующей над специальной ДЭС изоляционной РК с технической водой сферические низкоэнергетические плазмоиды искусственной ШМ (эта осциллограмма была получена с учетом влияния затухающих импульсов тока от генератора ГВПИ в режиме срабатывания с его помощью многоазорного воздушного коммутатора МЗК-100 и разряда на ДЭС конденсаторной батареи емкостью  $C_p \approx 840$  мкФ;  $U_3 \approx 4,5$  кВ;  $W_p \approx 9,1$  кДж;  $I_{mp} \approx 3,8$  кА;  $\tau_T \approx 0,5$  с;  $h \approx 190$  мм; масштаб по вертикали – 1 кА/клетка; масштаб по горизонтали – 500 нс/клетка)

Выполненные эксперименты показали, что при изменении высоты  $h$  столба воды в РК (см. рис. 2) со 190 до 10 мм диаметр  $D_p$  формируемых в электроустановке искусственных плазмоидов увеличивается примерно в полтора раза и достигает до 0,3 м, а значение времени их "жизни"  $\tau_T$  изменяется незначительно и остается на уровне порядка (0,5-0,6) с [16].

Несмотря на возникшие сложности в физической трактовке некоторых полученных в ходе проведенных экспериментов по моделированию искусственных плазмоидов ШМ результатов, необходимо отметить тот факт, что во всех опытах был визуально зафиксирован пучок излучения сиреневого цвета диаметром до 30 мм, вертикально уходящий от ДЭС в окружающее воздушное пространство на высоту до 3 м (см. рис. 3 и 4). На мой взгляд, это может косвенно указывать в пользу возможного образования в горизонтальной плоскости схематически показанного на рис. 2 (см. позицию под номером 4) тора высокочастотного спирально-кольцевого электронного тока проводимости в зоне изгиба разрядного канала дугового воздушного электрического разряда в цепи конденсаторной батареи используемой в опытах высоковольтной электроустановки. Ведь при подобном пространственном положении тора-кольца с током проводимости сверхвысокой частоты (не менее 40 МГц) в зоне примененной ДЭС диаграмма направленности его электромагнитного излучения будет как раз и направлена вертикально вверх к потолку лабораторного помещения, в котором проводились данные опыты с низкоэнергетическими плазмоидами искусственной ШМ.

## ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты на высоковольтной моделирующей электроустановке при зарядном напряжении до  $\pm 5$  кВ и запасаемой энергии в ее конденсаторной батарее до 10,5 кДж, генерирующей в воздушной атмосфере изогнутый канал дугового электрического разряда в специальной ДЭС с графитовым электродом и технической водой, подтвердили возможность получения в лабораторных условиях ярко светящихся сферических низкоэнергетических плазмодов искусственной ШМ. Диаметр данных плазмодов может достигать до 0,3 м, а наибольшее время их "жизни" составляет до 0,6 с. Ряд выявленных электрофизических особенностей при используемом формировании в лаборатории искусственных плазмодов указывает на возможную работоспособность предложенной в [9] электродинамической модели ШМ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Б.М. Физика шаровой молнии // Успехи физических наук. – 1990. – Том 160. – Вып. №4. – С. 1-45.
2. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. – М.: Научный мир, 1996. – 264 с.
3. Шакирзянов Ф.Н. Электромагнитная модель шаровой молнии // Электричество. – 1999. – № 10. – С. 74-77.
4. Никитин А.И. Образование шаровой молнии при развитии линейной молнии // Электричество. – 2000. – № 3. – С. 16-23.
5. Никитин А.И. Устойчивость и предельное энергосодержание автономной шаровой молнии // Электричество. – 2004. – № 3. – С. 29-36.
6. Баранов М.И. Электрофизическая природа шаровой молнии // Электричество. – 2009. – № 9. – С. 15-25.
7. Баранов М.И. Электрическая корона в микродипольной модели шаровой молнии // Электричество. – 2010. – № 1. – С. 23-28.
8. Баранов М.И. Расчетная оценка температуры в микродипольной модели шаровой молнии // Электричество. – 2010. – № 6. – С. 15-20.
9. Баранов М.И. Усовершенствование микродипольной модели шаровой молнии и электродинамическое развитие теории этого явления // Электротехника и электромеханика. – 2013. – № 3. – С. 42-50.
10. Егоров А.И., Степанов С.И., Шабанов Г.Д. Демонстрация шаровой молнии в лаборатории // Успехи физических наук. – 2004. – Том 174. – Вып. № 1. – С. 107-109.
11. Юферов В.Б., Муфель Е.В., Ткачев В.И. и др. О некоторых особенностях плазменных разрядов над поверхностью воды // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – №41. – С. 155-162.
12. Баранов М.И., Бочаров В.А., Зябко Ю.П. и др. Высоковольтные сильноточные искровые коммутаторы для генераторов импульсных напряжений и токов // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 3. – С. 41-47.
13. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 3. – С. 81-85.
14. Баранов М.И., Зиньковский В.М., Зябко Ю.П. и др. Некоторые новые электротехнологические возможности высоковольтной импульсной техники НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 21. – С. 3-10.
15. Баранов М.И. Термоэлектронная эмиссия из металла при нагреве и электрическом взрыве проводников под воздействием больших импульсных токов // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 3. – С. 3-8.

16. Патент України на корисну модель №74850. Спосіб отримання в повітряній атмосфері плазмодів штучної кульової блискавки / Баранов М.И. Заявка №021205642 від 08.05.2012, опубл. 12.11.2012, Бюл. №21.

**Bibliography (transliterated):** 1. Smirnov B.M. Fizika sharovoy molnii // Uspehi fizicheskikh nauk. – 1990. – Tom 160. – Vyp. №4. – S. 1-45. 2. Stahanov I.P. O fizicheskoy prirode sharovoy molnii. – M.: Nauchnyj mir, 1996. – 264 s. 3. Shakirzyanov F.N. `Elektromagnitnaya model' sharovoy molnii // `Elektrichestvo. – 1999. – № 10. – S. 74-77. 4. Nikitin A.I. Obrazovanie sharovoy molnii pri razvitiі lineynoy molnii // `Elektrichestvo. – 2000. – № 3. – S. 16-23. 5. Nikitin A.I. Ustojchivost' i predel'noe `energosoederzhanie avtonomnoy sharovoy molnii // `Elektrichestvo. – 2004. – № 3. – S. 29-36. 6. Baranov M.I. `Elektrofizicheskaya priroda sharovoy molnii // `Elektrichestvo. – 2009. – № 9. – S. 15-25. 7. Baranov M.I. `Elektricheskaya korona v mikrodipl'noy modeli sharovoy molnii // `Elektrichestvo. – 2010. – № 1. – S. 23-28. 8. Baranov M.I. Raschetnaya ocenka temperatury v mikrodipl'noy modeli sharovoy molnii // `Elektrichestvo. – 2010. – № 6. – S. 15-20. 9. Baranov M.I. Usovershenstvovanie mikrodipl'noy modeli sharovoy molnii i `elektrodinamicheskoe razvitiie teorii `etogo yavleniya // Elektrotehnika i elektromehaniika. – 2013. – № 3. – S. 42-50. 10. Egorov A.I., Stepanov S.I., Shabanov G.D. Demonstraciya sharovoy molnii v laboratorii // Uspehi fizicheskikh nauk. – 2004. – Tom 174. – Vyp. № 1. – S. 107-109. 11. Yuferov V.B., Mufel' E.V., Tkachev V.I. i dr. O nekotoryh osobennostyah plazmennyyh razryadov nad poverhnost'yu vody // Visnik NTU "HPI". Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk: Problemi udoskonalennya elektrichnih mashin i aparativ. - Harkiv: NTU "HPI". – 2009. – №41. – S. 155-162. 12. Baranov M.I., Bocharov V.A., Zybko Yu.P. i dr. Vysokovol'tnye sil'notochnye iskrovye kommutatory dlya generatorov impul'snyh napryazhenij i tokov // Tehnichna elektrodinamika. – 2003. – № 3. – S. 41-47. 13. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Generator toka iskusstvennoy molnii dlya naturnyh ispytaniy tehniceskikh ob'ektov // Pribory i tehnika `eksperimenta. – 2008. – № 3. – S. 81-85. 14. Baranov M.I., Zin'kovskij V.M., Zybko Yu.P. i dr. Nekotorye novye `elektrotehnologicheskie vozmozhnosti vysokovol'tnoj impul'snoj tehniki NIPKI "Molniya" NTU "HPI" // Visnik NTU "HPI". Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk: Tehnika ta elektrofizika visokih naprug. - Harkiv: NTU "HPI". – 2012. – № 21. – S. 3-10. 15. Baranov M.I. Termo`elektronnaya `emissiya iz metalla pri nagreve i `elektricheskom vzryve provodnikov pod vozdejstviem bol'shih impul'snyh tokov // Tehnichna elektrodinamika. – 2008. – № 3. – S. 3-8. 16. Patent Ukraїni na korisnu model' №74850. Sposib otrimannya v povitryanij atmosferi plazmoїdiv sztuchnoї kul'ovoi bliskavki / Baranov M.I. Zayavka №021205642 vid 08.05.2012, opubl. 12.11.2012, Byul. №21.

Поступила 11.01.2013

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.

НИПКИ "Молния"

Национального технического университета

"Харьковский политехнический институт".

61013, Харьков, ул. Шевченко, 47

тел. (057) 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Baranov M.I.

### Some results of experimental research on artificial ball lightning low-energy plasmoids in a high-voltage laboratory.

First results of experimental laboratory-scale reproduction of spheroidal low-energy plasmoids of an artificial ball lightning are given. The data obtained indicate a possibility in principle of reliable generation of such plasmoids in the air atmosphere via the discharge circuit of a high-voltage installation comprising a curved arc discharge channel between a graphite electrode and technical water surface. The artificial 0.3m-diameter ball lightning plasmoid lifetime was less than 0.6 s in the experiments conducted.

**Key words** – artificial ball lightning, plasmoids, experimental research.