

УДК 533.931

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПАРАХ ВОДЫ

Г. П. Кузьмин, И. М. Минаев, А. А. Рухадзе, О. В. Тихоневич

Приводятся результаты экспериментальных исследований характеристик пробоя разрядного промежутка, в котором присутствуют пары воды. Полученные результаты показывают, что напряжение пробоя между металлическими электродами, расположенными над водой, и в случае, когда один из электродов (катод) погружен в воду, существенно возрастает при температуре насыщенных паров 90 °С и выше. Этот эффект может служить объяснением особенности развития электрического разряда над поверхностью воды.

Ключевые слова: электрический разряд, напряжение пробоя, жидкий электрод.

В работе [1] обнаружено, что электрический разряд по поверхности воды обладает свойством распространяться на некотором расстоянии от границы раздела жидкость – газ.

К настоящему времени опубликовано достаточное для понимания процесса количество работ, посвященных исследованию характеристик электрических разрядов в условиях, когда один из электродов или оба представляют собой водный раствор электролита [2–5]. Для стационарных и квазистационарных разрядов на твердых электродах эмиссия электронов из катода – единственный путь переноса отрицательного заряда в разрядную плазму. В условиях электролитного катода не исключены другие возможные механизмы переноса отрицательного заряда в плазму, которые при твердотельных электродах не осуществляются. Это обусловлено специфическими свойствами водных растворов электролита, такими как легкая испаряемость, ионная проводимость и т.д. [2]. В условиях, когда один из электродов является водным раствором электролита, в разрядном промежутке всегда присутствуют пары воды. Температура раствора определяется режимом работы разрядного устройства, и если в режиме одиночных импульсов

Учреждение Российской академии наук Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38, Россия.

плотность пара определяется внешней температурой, то в частотном или непрерывном режиме происходит интенсивный нагрев и испарение за счет нагрева раствора током самого разряда.

В работе представлены результаты исследований влияния водного пара на пробойные характеристики разряда с металлическими электродами, схема которого приведена на рис. 1, и разряда с катодом, покрытым слоем воды, схема которого приведена на рис. 3. В экспериментах использовалась водопроводная вода ($\sigma = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$), которую можно считать слабым раствором электролита.

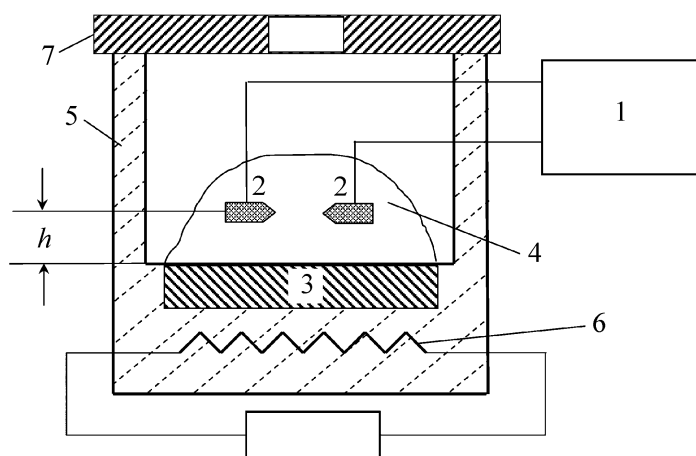


Рис. 1: *Схема измерений пробойных характеристик разряда с металлическими электродами. 1 – источник питания; 2 – электроды; 3 – вода; 4 – пар; 5 – кювета; 6 – нагревательный элемент; 7 – крышка.*

На рис. 2 приведены результаты измерений напряжения пробоя в зависимости от температуры воды для двух значений расстояния между электродами 2.5 мм (верхняя кривая) и 1.8 мм (нижняя).

Верхняя крышка в конструкции разрядников позволяла получать условия, при которых пар можно считать насыщенным (при атмосферном давлении и заданной температуре нагревателя). Электроды располагались на расстоянии h , равном 1–2 см от поверхности воды. В качестве источника питания электрической схемы использовался импульсный модулятор (1), позволяющий получать импульсы длительностью от 1 до 10 мкс. Величина накопительной емкости – 2700 пф. Выходное напряжение источника питания в импульсе изменялось до 15 кВ. Напряжение разряда определялось при помощи киловольтметра С-196.

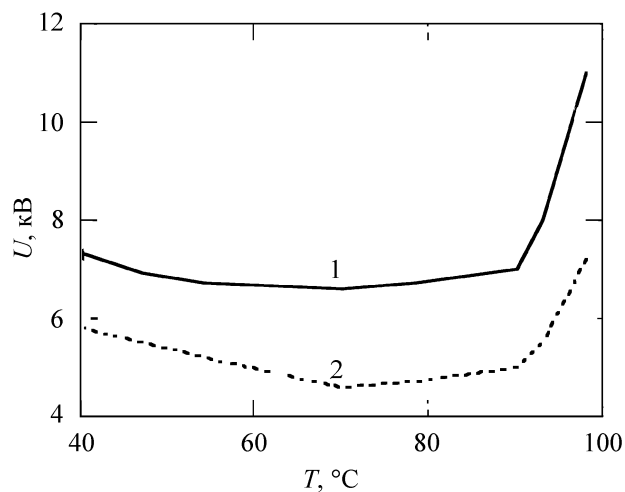


Рис. 2: Зависимость напряжения пробоя в разрядной камере (рис. 1) от температуры воды. 1 – величина разрядного промежутка 2.5 мм, 2 – 1.8 мм.

Как видно из рис. 2, напряжение пробоя снижается с увеличением температуры воды до значений температуры ~ 70 °С, а в дальнейшем медленно растет с увеличением температуры. В области значений температуры ~ 90 °С наблюдается резкий рост напряжения пробоя.

На рис. 3 представлена схема разрядной камеры для исследования температурной зависимости напряжения пробоя для разрядного промежутка, когда одним из электродов является водный раствор электролита.

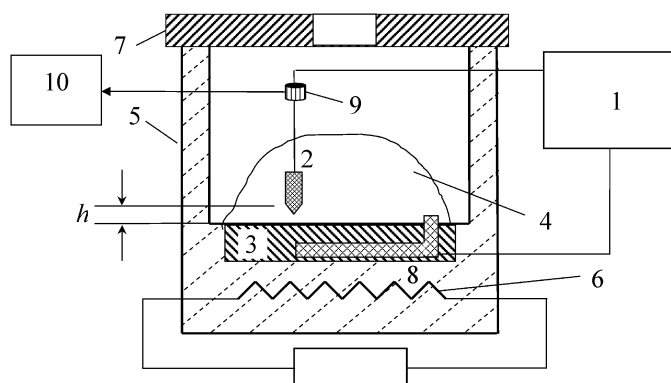


Рис. 3: Схема экспериментальной установки с катодом, покрытым слоем воды. 1 – источник питания; 2 – анод; 3 – вода; 4 – пар; 5 – ювета; 6 – нагревательный элемент; 7 – крышка; 8 – катод; 9 – пояс Роговского; 10 – осциллограф.

Вода наливалась в полость (3). Непосредственно над жидкостью располагался положительный электрод – анод (2), выполненный в виде медного стержня диаметром 4 мм. Расстояние h между ним и жидкостью можно было изменять в пределах 1–5 мм. Непосредственно в жидкости размещается плоский отрицательный электрод – катод (8), который соединяется с источником питания (1). При начальном пробое вода являлась вторым электродом.

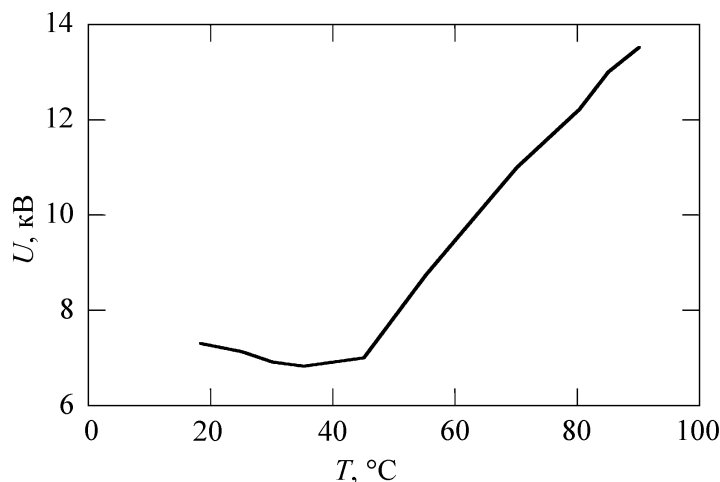


Рис. 4: Зависимость напряжения пробоя между твердым электродом (анод) и водой от температуры воды.

На рис. 4 приведены результаты измерений напряжения пробоя в разрядной камере (рис. 3) в зависимости от температуры воды. Анод расположен над поверхностью воды на расстоянии 2 мм.

Картина разряда внешне похожа на классический скользящий разряд по поверхности диэлектрика. Разряд распространялся от места начального пробоя на водный слой, покрывающий металлический катод, и замыкался на конец электрода, выступающий из воды. Характерной особенностью такого разряда является то, что разряд распространяется над поверхностью воды с зазором менее 1 мм. Возможные механизмы такого типа разряда будут рассмотрены в дальнейших работах.

Температурная зависимость напряжения пробоя, представленная на рис. 4, похожа на зависимость, представленную на рис. 2. Отличие заключается в том, что резкое возрастание пробойного напряжения начинается с температуры нагреваемой жидкости около 40 °C. Этот факт скорее всего объясняется дополнительным разогревом верхнего слоя воды током самого разряда.

Таким образом, в работе обнаружено, что при электрическом разряде в присутствии паров водного раствора электролита существует зависимость напряжения пробоя от плотности паров в разрядном промежутке, и экспериментально измерена эта зависимость.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Фундаментальные проблемы релятивистской импульсной и стационарной электроники большой мощности”.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] А. Ф. Александров, Д. Н. Ваулин, А. П. Ершов, В. А. Черников, Вестник Московского Университета, сер.3. Физика. Астрономия. N 1, 1 (2009).
- [2] О. В. Поляков, А. М. Бадалян, Л. Ф. Бахтурова, Анионный перенос отрицательного заряда из электролитного катода в газоразрядную плазму. Электронный журнал “Исследовано в России” <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/222.pdf>.
- [3] А. М. Анпилов, Э. М. Бархударов, В. А. Копьев, И. А. Косый, В. П. Силаков, *Одноканальный завершённый и незавершённый разряды на поверхности воды* в: Трудах Электрические и спектральные характеристики. XXXIII Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 2006 г. (М., ИОФАН, 2006), стр. 245.
- [4] А. И. Григорьев, ЖТФ **74**(5), 38 (2004).
- [5] Ю. А. Баринев, С. М. Школьник, ЖТФ **72**(3), 31 (2002).

Поступила в редакцию 27 октября 2009 г.