

Л. Н. Багаутдинова, Аз. Ф. Гайсин, И. Ш. Абдуллин,  
Л. Ш. Гасимова, Ф. М. Гайсин, М. А. Леушка, Ал. Ф. Гайсин

## НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

*Ключевые слова:* низкочастотный разряд, электролит, вольтамперная характеристика, давление.

*Работа посвящена исследованию вольтамперных характеристик (ВАХ) низкочастотного электрического разряда переменного тока с частотой 50 Гц между стальным электродом и электролитом из 20 % и 30 % раствора  $\text{CuSO}_4$  при пониженных давлениях.*

*Keywords:* low-frequency category, electrolyte, voltampere characteristic, pressure.

*The work is devoted to the study of current-voltage characteristics (CVC) of low-frequency electric discharge alternating current with a frequency of 50 Hz between the steel electrode and an electrolyte of 20% and 30%  $\text{CuSO}_4$  solution at low pressures.*

В настоящее время электрические разряды переменного тока с электролитическим и твердым электродами представляют большой практический интерес, как генераторы низкотемпературной плазмы. Такие разряды могут использоваться в плазменной технике и технологии для обработки металлических поверхностей, нанесения покрытий различного назначения [1], получения мелкодисперсных металлических порошков [2], а также для нагрева металлов и сплавов в электролите [3]. Настоящая работа посвящена исследованию электрических характеристик низкочастотного разряда между твердым и жидким электродом (20 % и 30 % раствор  $\text{CuSO}_4$  в очищенной воде) в широком диапазоне давления  $P = (1,6 \div 8,0) \times 10^3$  Па, межэлектродного расстояния  $l = 5 \div 40$  мм, напряжения разряда  $U = 560 \div 1000$  В и тока разряда  $I = 120 \div 1250$  мА. В качестве твердого электрода служила сталь 3 диаметром 4 мм.

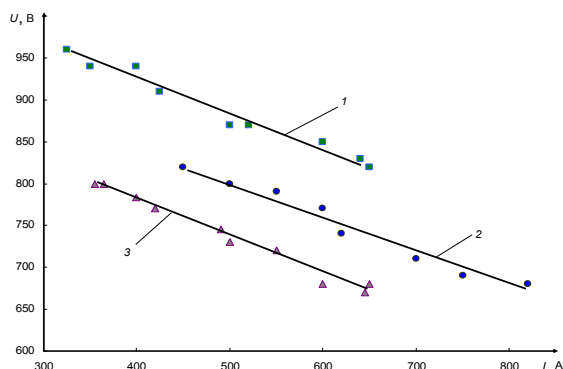
Установка, предназначенная для изучения электрического разряда, состоит из системы электрического питания, вакуумной разрядной камеры с системой регулирования давления, электролитической ванны, аппаратуры контроля и управления работой установки и измерения характеристик электрических разрядов. Система электропитания установки состоит из высоковольтной и низковольтной частей. Высоковольтная часть предназначена для питания изучаемого электрического разряда. Она состоит из регулятора напряжения и повышающего трансформатора. Низковольтная часть системы электропитания предназначена для питания вспомогательного и регулировочного оборудования установки: двигателя вакуумного насоса, контакторов управления, двигателей подачи электрода, координатного устройства. Использовался стандартный источник питания переменного тока БП-150 на 7 кВ. Токи напряжения измерялись щитовыми приборами PA1 и PV1 класса точности 0,5 и 1,5, установленными на пульте управления. Разрядная камера состоит из основания и колпака, изготовленных из оргстекла толщиной 30 мм. В колпаке имеется отверстие диаметром 100 мм, закрываемое крышкой из кварцевого стекла, которое служит для наблюдения за процессом

разряда. Внутри камеры установлены привод регулирования межэлектродного расстояния и координатное устройство для зондовых измерений с зондом и электролитическая ванна. Электролитическая ванна состоит из диэлектрического корпуса, стальной пластины для подвода напряжения к электролиту и стального электрода, подключенного к другой клемме источника питания и закрепленного на устройстве регулирования межэлектродного расстояния.

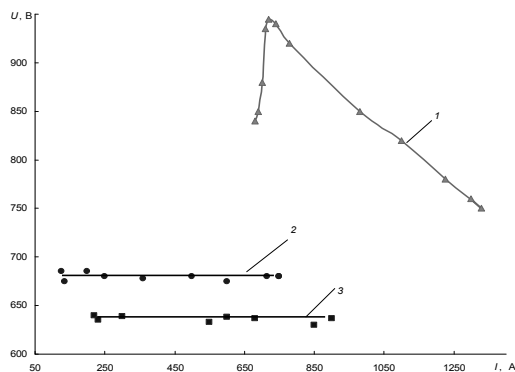
На рисунке 1 представлены ВАХ объемного разряда переменного тока между твердым и жидким электродами (20 % раствор  $\text{CuSO}_4$  в очищенной воде) для различных давлений и межэлектродных расстояний  $l$ . Из сравнения графиков 1 и 2 следует, что с ростом межэлектродного расстояния от 30 до 40 мм при  $P = 3,3$  кПа величина напряжения разряда возрастает. Например, при  $I = 600$  мА с увеличением  $l$  от 30 до 40 мм величина  $U$  переменного тока возрастает в 1,13 раза. Как видно из рис. 1 напряжение уменьшается с ростом тока разряда почти линейно. Анализ экспериментальных данных кривой 3 рис. 1 показывает, что при  $l = 20$  мм с ростом давления от 3,3 до 4,8 кПа характер зависимости  $U = f(I)$  практически не меняется.

На рисунке 2 представлены ВАХ низкочастотного электрического разряда переменного тока между твердым и жидким электродами (30 % раствор  $\text{CuSO}_4$  в очищенной воде) для различных давлений и межэлектродных расстояний  $l$ . Анализ зависимости величины  $U$  от тока разряда (кривая 1) показывает, что с ростом  $l$  от 700 до 725 мА напряжение разряда возрастает до максимального значения, а с дальнейшим ростом тока разряда от 725 до 1325 мА величина  $U$  постепенно уменьшается. Возрастающий участок кривой 1 объясняется горением аномального тлеющего разряда переменного тока между твердым и жидким электродами. Из сравнения экспериментальных данных рис. 1 и 2 следует, что ВАХ при  $P = 3,3$  и 3,5 кПа с ростом концентрации электролита от 20 до 30 % смещаются в сторону больших токов. С понижением давления от 1,6 до 2,1 кПа наблюдается другой характер зависимости  $U = f(I)$  и кривые 2 и 3 имеют горизонтальный вид. Рост межэлектродного расстояния от 20 до 30 мм

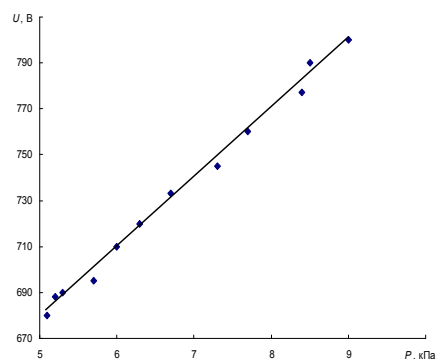
(кривые 2 и 3) приводит к росту напряжения разряда. Как видно из рисунка 3, с ростом давления величина  $U$  линейно возрастает.



**Рис. 1 - ВАХ объемного разряда (электролит-20% раствор  $\text{CuSO}_4$ ): прямая 1 –  $l = 40$  мм,  $P = 3,3$  кПа; прямая 2 –  $l = 30$  мм,  $P = 3,3$  кПа; прямая 3 –  $l = 20$  мм,  $P = 4,8$  кПа**



**Рис. 2 - ВАХ объемного разряда (электролит – 30% раствор  $\text{CuSO}_4$ ): кривая 1 –  $l = 5$  мм,  $P = 3,5$  кПа; прямая 2 –  $l = 30$  мм,  $P = 1,6$  кПа; прямая 3 –  $l = 20$  мм,  $P = 2,1$  кПа**



**Рис. 3 - Зависимость напряжения разряда переменного тока от давления при  $l = 25$  мм,  $I = 650$  мА и  $f = 50$  Гц**

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований низкочастотного электрического разряда переменного тока между твердым и жидким электродами были выявлены следующие особенности. В интервале давлений от 3,3 до 4,8 кПа вольтамперные характеристики имеют падающий вид, и увеличение концентрации электролита меняет характер ВАХ. Установлено, что с увеличением концентрации электролита от 20 до 30 % для давлений от 1,6 до 2,1 кПа вольтамперные характеристики низкочастотного разряда приобретают горизонтальный вид.

## Литература

1. Гайсин Ф.М. *Электрические разряды в парогазовой среде с нетрадиционными электродами* / Ф.М. Гайсин, Э.Е. Сон // Энциклопедия низкотемпературной плазмы / под ред. Фортова В.Е. – М.: Наука. 2000. – 241 с.
2. *Способ получения металлического порошка (варианты)* / Патент № 2332280 от 30.06.2006.
3. Дураджи В.Н. *Электрофизические явления между металлом и электролитом и их применение* / В.Н. Дураджи, Ф.М. Гайсин // Казань: Изд-во Казан.гос.техн. ун-та, 2011. – 228 с.

© Л. Н. Багаутдинова - к.т.н., доц. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, lilup@bk.ru; **Аз. Ф. Гайсин** – д.т.н., проф. той же кафедры, gasimova.techph@kstu-kai.ru; **И. Ш. Абдуллин** - д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, abdullin\_i@kstu.ru; **Л. Ш. Гасимова** - соиск., вед. инж. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ; **Ф. М. Гайсин** - д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ; **М. А. Леушка** – магистр той же кафедры; **Ал. Ф. Гайсин** - к.т.н., доц. той же кафедры, almaz87@mail.ru.