

Ал. Ф. Гайсин, И. Ш. Абдуллин, А. Х. Галлеев,  
И. А. Гришанова, О. С. Мигачева

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЕМКОСТНОЙ РАЗРЯД (ВЧЕР) С КАПЕЛЬНО-СТРУЙНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ И ПРОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКОЙ

*Ключевые слова:* высокочастотный емкостной разряд, струйный электролит, давление, многоканальные и объемные формы.

*В работе исследуется ВЧЕР с капельно-струйным электролитом и проточной электролитической ячейкой в насыщенном растворе NaCl в технической воде в широком диапазоне давления от  $10^4$  до  $7 \cdot 10^4$  Па. Изучены формы и структуры ВЧЕР в нетрадиционных условиях. Установлены многоканальные и объемные формы горения ВЧЕР.*

*Keywords:* high-frequency capacitor category, jet electrolyte, pressure, multichannel and volume forms.

*The high frequency capacitance discharge with a jet electrolyte electrode is investigated in the range of pressures from  $10^4$  to  $7 \cdot 10^4$  Pa. The electrolyte is a saturated solution of NaCl in technical water. The discharge occurs between an electrolyte jet and electrolyte cell. The discharge forms and structure are studied. It is established that there are multichannel and spatial voluminous forms of such discharges.*

В неравновесной низкотемпературной плазме электрического разряда постоянного тока между твердым и жидким электродами [1-3 и др.] обнаружено множество новых эффектов, полезных с точки зрения практических применений: очистка и полировка твердых металлических поверхностей, одностадийное получение металлического мелкодисперсного порошка из углеродистых и инструментальных сталей при атмосферном и пониженных давлениях. Одним из способов получения неравновесной плазмы является использование электрического разряда постоянного тока между струйным электролитом и твердым электродом [4]. В настоящее время практически отсутствуют как экспериментальные, так и теоретические исследования высокочастотного емкостного разряда между струйным электролитическим и проточным электролитическим электродами. ВЧЕР с струйным электролитом представляет большой интерес для изучения физических процессов в нетрадиционных условиях.

В связи с этим накопление экспериментальных данных для построения физических и математических моделей является весьма актуальной задачей.

Целью данной работы является изучение формы и структуры ВЧЕР между струйным электролитом и проточным электролитическим электродами в диапазоне давления  $P = 10^4$ - $7 \cdot 10^4$  Па и скорости струи электролита  $u = 0,9$  м·с<sup>-1</sup>.

Исследования ВЧЕР проводились на установке ВЧГ8-60/13, настроенного на частоту 13,58 МГц.

Вакуумная система установки состоит из вакуумной камеры, вакуумного насоса типа 2НВР-5ДМ. Видеосъемка разряда осуществлялась на видеокамеру «Sony HDR – SR72E». Время экспозиции одного кадра 0,04 с.

Разрядная камера состоит из основания и колпака. Основание и колпак разрядной камеры изготовлены из нержавеющей стали. В колпаке имеется стандартное окно с диаметром 100 мм, закрываемое оптическим стеклом из кварца, которое служит для наблюдения за ВЧЕР со струйным электроли-

том. Все соединения уплотнены вакуумной резиной. Для лучшей герметичности уплотнительная резина смазывается вакуумной смазкой. В основании разрядной камеры проделаны специальные отверстия, куда герметично вставлены штуцеры. Они соединяют камеру с вакуумной арматурой установки: вакуумным насосом и вакуумметром. Колпак поднимается и опускается с помощью специального привода. Внутри камеры находятся верхний и нижний электролитические ванны. Верхняя электролитическая ванна на половину заполнена раствором NaCl в технической воде. Расход электролита регулируется с помощью краника. Электролит через краник подается в специальную медную трубку, которая формирует струю электролита. Медная трубка с помощью устройства опирается по краям нижней электролитической ванны. Устройство обеспечивает устойчивое положение и движение крышки камеры вниз или вверх для получения ВЧЕР со струйным электролитом. Нижняя медная пластина треугольной формы была заземлена с помощью медного провода марки М1.

Рабочее давление в камере регулируется изменением скорости откачки, а измеряется вакуумметром модель 1227 класса точности 0.25. Расход электролита определяется с помощью мензурки и секундомера. Скорость вычислялась по формуле  $v = G / \rho S = G / \rho \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2$ , где  $\rho$  – плотность электролита,  $S$  сечение струи электролита.

Анализ экспериментальных данных показал, что при  $P = 10^4$  Па происходит переход однородного ОТС на поверхности медной трубки-капли-струи электролита к распределенным и неоднородным пятнам. В данном случае наблюдаются комбинированные и нестационарные пятна на поверхности медной трубки-капли-струи электролита. С ростом давления от  $10^4$  до  $2 \cdot 10^4$  Па при малых напряжениях источника питания  $U = 1000$  В ВЧЕР стабилизируется. Однородные пятна белого цвета наблюдаются на границе струи с проточным электролитом.

Как видно из фотографии рис. 1, верхнюю половину струи занимает микроразряды, а нижнюю половину занимает объемный ВЧЕР сферической формы. С ростом величины  $U$  от 1000 до 1500 В объемный ВЧЕР в форме эллипса занимает область у проточной электролитической ячейки (фотография рис. 2). С течением времени  $\Delta t = 0,04$  с происходит изменение структуры разряда. Наверху вдоль неоднородной струи наблюдаются микроразряды. Эти микроразряды появляются из-за разности потенциала на неоднородных участках вдоль струи электролита (фотография рис. 3). С ростом величины  $U$  от 1500 до 1700 В при  $P = 2 \cdot 10^4$  Па у проточной электролитической ячейки ВЧЕР становится неоднородным (фотография рис. 4). С дальнейшим ростом напряжения источника в интервале  $U = 1700-1900$  В объемный ВЧЕР полностью разрушается. Вдоль струи электролита наблюдаются микроразряды и небольшие объемные разряды (фотография рис. 5). Увеличение напряжения источника питания до 2000 В приводит к интересной особенности. Если вдоль струи наблюдается микроразряды различных размеров, то с правой стороны к струе электролита прилипает разряд к контрагированной точке (фотография рис. 6). Разряд имеет шарообразную головку с белым интенсивным свечением. От этой головки распространяется диффузионный хвост в сторону проточной электролитической ячейки.

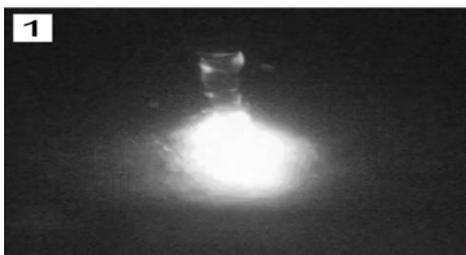


Рис. 1



Рис. 2

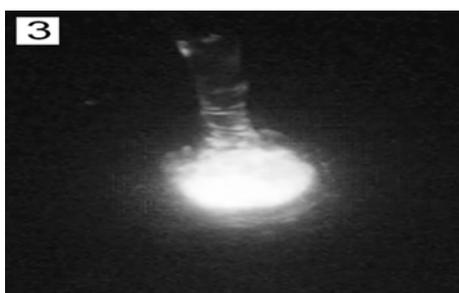


Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

Анализ экспериментальных данных в диапазоне от  $2 \cdot 10^4$  до  $7 \cdot 10^4$  Па показал следующие особенности горения ВЧЕР с капельно-струйным электролитом и проточной электролитической ячейкой с использованием насыщенного раствора NaCl в технической воде. С ростом давления ВЧЕР с капельно-струйным электролитом горит при больших напряжениях источника питания от 1500 до 3500 В. ВЧЕР принимает практически многоканальную форму.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований ВЧЕР с капельно-струйным электролитом и проточной электролитической ячейкой изучены формы и структуры ВЧЕР в широком диапазоне давления от  $10^4$  до  $7 \cdot 10^4$  Па. Установлена граница перехода однородного ОТС на поверхности электрода медная трубка – капельно-струйный электролит в неоднородные пятна. Выявлено, что с ростом давления ( $P = 10^4-2 \cdot 10^4$  Па) на поверхности капля-струя электролита происходит переход в ВЧЕР с микроразрядами. Установлено, что вдоль струи электролита может гореть одновременно многоканальный, объемный ВЧЕР и разряд с контрагированным пятном.

### Литература

1. Фортов В.Е. *Плазменные технологии* / В.Е. Фортов, Э.Е. Сон, Ф.М. Гайсин, К.Э. Сон, Б. Лесли, О.Дж. Хи, Их И Енг. Янг // изд-во МФТИ. Долгопрудный, 2006. 134 с.

2. Гайсин Ф.М. *Возникновение и развитие объемного разряда между твердыми и жидкими электродами* / Ф.М. Гайсин, Э.Е. Сон // Химия плазмы. Под ред. Смирнова Б.М.-М.: 1990. – Т.16. – с. 120-156.
3. Гайсин Ф.М. *Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами* / Ф.М. Гайсин,

Э.Е. Сон // Свердловск. Изд-во Уральского университета. 1989. – с. 432.

4. Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. *Паровоздушные разряды между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при пониженных давлениях* / Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. Теплофизика высоких температур. 2010. – Т.48, №3. – с. 1-4.

---

© **Ал. Ф. Гайсин** - к.т.н., доц. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, almaz87@mail.ru; **И. Ш. Абдуллин** - д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, abdullin\_i@kstu.ru; **А.Х. Галлеев** – асп. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ; **И. А. Гришанова** - к.т.н., доцент каф. моды и технологий КНИТУ; **О. С. Мигачева** - аспирант каф. Моды и технологий КНИТУ, olenka\_m88@mail.ru.