

ВЛИЯНИЕ МАССОВОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЛИТА ЧЕРЕЗ ПРОТОЧНЫЙ КАТОД НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Х.К. Тазмеев¹, И.М. Арсланов¹, Г.Х. Тазмеев²

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета¹
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.
Туполева²
tazmeevh@mail.ru

Экспериментально исследованы энергетические характеристики газового разряда между проточным электролитным катодом и металлическим анодом при токах 7 – 22 А и мощностях 8 – 33 кВт. Установлено, что, меняя массовый расход электролита через проточный катод, можно регулировать режим горения разряда и получить поток пароводяной плазмы со среднемассовой температурой порядка 3000 К.

Введение.

Газовый разряд с жидким электролитным катодом представляет практический интерес как источник неравновесной плазмы атмосферного давления. Такая плазма перспективна для создания высокотемпературной парогазовой среды в плазмохимических реакторах, предназначенных для энергоемких плазменных технологий, в частности для конверсии углеводородов в синтез-газ [1,2]. Для рационального использования газового разряда на практике требуются его подробные энергетические характеристики и закономерности их изменения в технологически приемлемых интервалах мощности. Целью данной работы явилось получение газового разряда с электролитным катодом при таких мощностях и изучение влияния массового расхода электролита на его энергетические характеристики.

Эксперимент.

Проточный катод представлял собой цилиндрический сосуд 1, из которого истекал электролит 2. Наружный диаметр сосуда 1 составлял 75 мм и внутри него была смонтирована графитовая пластина 3 для подвода тока.

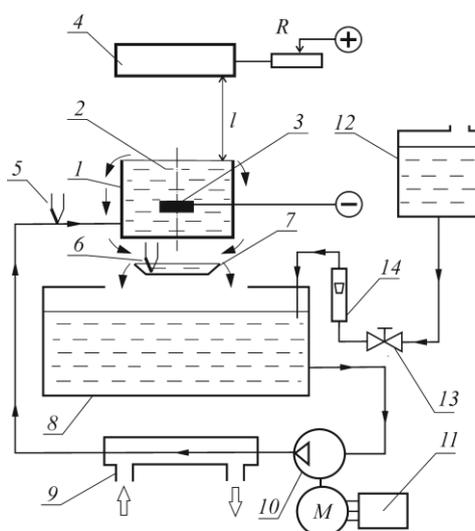


Рис. 1. Экспериментальная установка.

Разряд зажигался между жидким электролитом 2 и металлическим анодом 4. Расстояние l между ними составляло 10 см. Источником питания служил трехфазный двухполупериодный выпрямитель, подключенный к вторичным обмоткам повышающего трансформатора. Пульсации напряжения сглаживались С-Л-С фильтром. Ток менялся ступенчатым варьированием балластного сопротивления R . Для измерения электрических параметров применялась аппаратура и методика, подробно описанные в работе [3].

В качестве электролита использовался раствор поваренной соли в дистиллированной воде с массовой концентрацией 5,5 г/л. Такая концентрация электролита потребовалась для обеспечения устойчивости разряда при повышенных токах. В связи с зашлакованием электролита за счет электролизных процессов, производилась корректировка его удельной электрической проводимости σ перед началом каждого опыта. Измерения σ проводились кондуктометром АНИОН 4150. Продолжительности опытов выбирались так, чтобы увеличение σ не превышало 5 процентов от ее первоначального значения, которое составляло 10 мСм/см. Для снижения σ добавлялась дистиллированная вода.

Тепло Q_k , затрачиваемое на нагрев электролита, определялось калориметрическим способом. Температура электролита измерялась хромель-алюмелевыми термопарами 5 и 6, одна из которых устанавливалась на входном патрубке цилиндрического сосуда 1, а другая на небольшой емкости 7, расположенной под ним. Электролит, вытекающий из цилиндрического сосуда 1, практически в полном объеме попадал в эту небольшую емкость 7, а затем стекал в резервуар 8. Съем тепла от электролита осуществлялся пропусканием его через теплообменник 9, охлаждаемый водой. Число оборотов электродвигателя M гидронасоса 10 менялось частотным преобразователем 11. Таким способом обеспечивалось постоянство массового расхода электролита m через проточный катод. Предварительно опытным путем была получена зависимость m от частоты вращения, устанавливаемой частотным преобразователем.

Количество электролита, уносимое из системы циркуляции во время горения газового разряда, компенсировалось добавлением дистиллированной воды из питательной емкости 12. С помощью вентиля 13 ее расход устанавливался так, чтобы уровень электролита в резервуаре 8 находилась на неизменной высоте. Расход дистиллированной воды определялся по показаниям поплавкового ротаметра 14 и он принимался за массовый расход парогазовой смеси G , поступающей в разрядную область между катодом и анодом.

Результаты и их обсуждение.

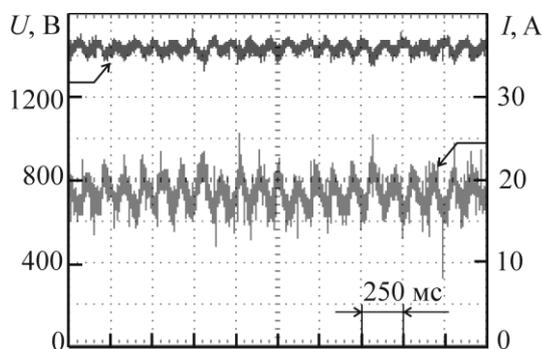


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения. $m = 20$ г/с; $R = 0$.

На рис. 2 приведены осциллограммы разрядного тока I и напряжения U , приложенного к клеммам катода и анода. Видно, что оба эти параметра подвержены пульсациям. Как было установлено в работе [4], такие низкочастотные пульсации со

значительными амплитудами вызваны изменением формы и размеров плазменного столба открытого разряда.

В связи с наличием пульсаций в графических представлениях экспериментальных результатов были использованы средние значения параметров. На рисунках и в тексте они обозначены общепринятыми знаками в виде угловых скобок.

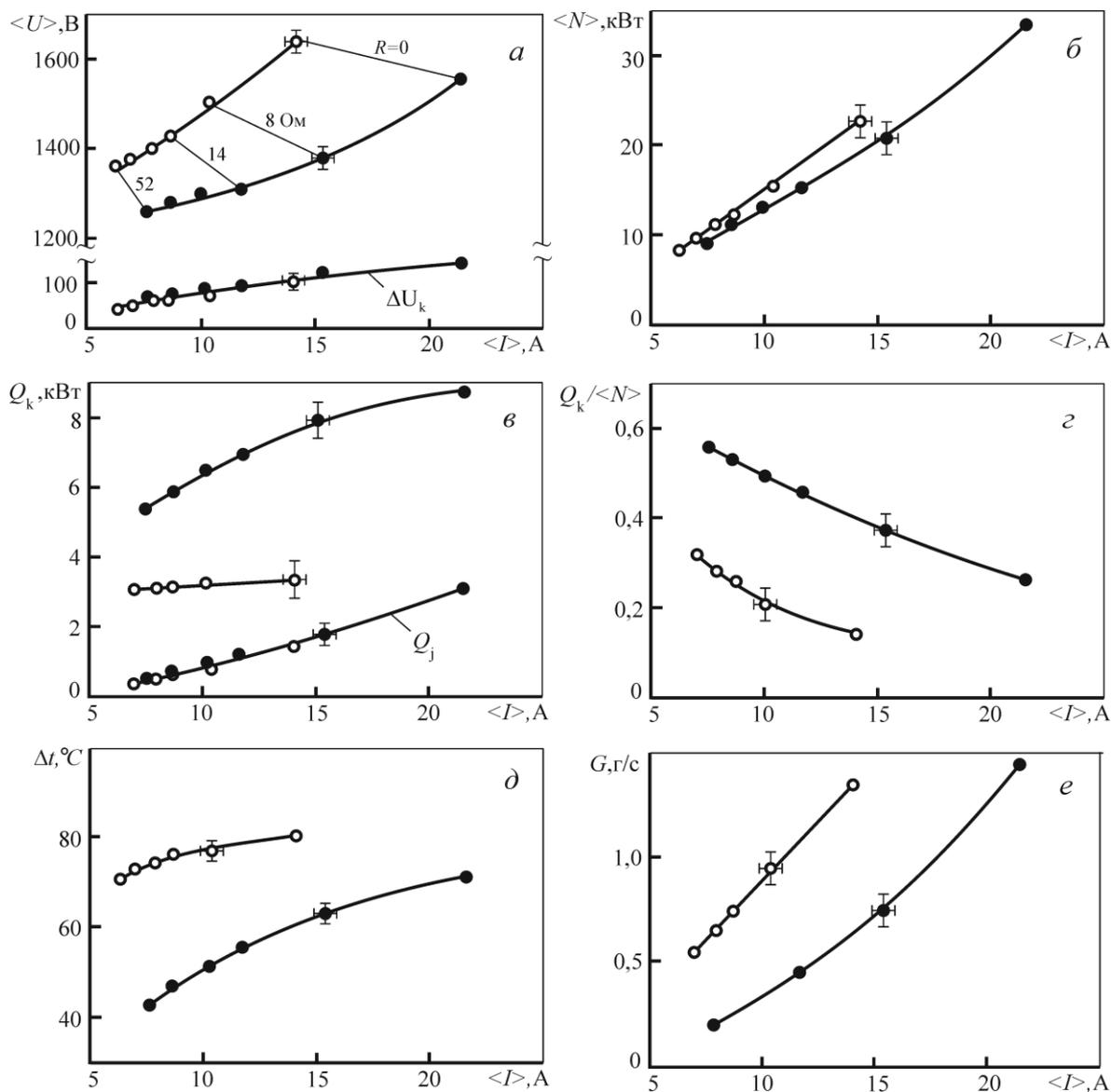


Рис. 3. Зависимости от разрядного тока: напряжения на клеммах электродов (а), потребляемой мощности (б), тепловых потерь на катоде (в), доли тепловых потерь на катоде в энергетическом балансе (г), приращения температуры электролита (д) и массовой скорости убыли электролита (е). $m = 10$ г/с (светлые кружочки) и $m = 30$ г/с (темные кружочки).

Напряжение, измеряемое на клеммах катода и анода, складывается из падения напряжения внутри электролита ΔU_k и напряжения в разрядном промежутке. Значения ΔU_k , измеренные при разных m , практически совпали (рис. 3а). Поэтому из сравнения графиков зависимости $\langle U \rangle$ от $\langle I \rangle$ явно следует, что уменьшение массового расхода электролита приводит к повышению напряжения в разрядном промежутке. При этом суммарная мощность, потребляемая в разрядном промежутке и внутри электролита (в виде джоулевого тепла), увеличивается незначительно (рис. 3б). Изменение m практически не влияет на мощность джоулевого тепловыделения Q_j внутри электролита (рис. 3в). А тепловые потери на катоде Q_k существенно снижаются при уменьшении m .

Это означает, что при малом массовом расходе электролит уносит меньше тепла от разрядной зоны. Затраты на нагрев электролита уменьшаются и снижается их доля в энергетическом балансе (рис. 3з). Ранее такая закономерность была выявлена в работе [5], в которой исследовался газовый разряд, создаваемый при других условиях, существенно отличающихся от условий в данной работе. Примечательно то, что при уменьшении m доля тепловых потерь в энергетическом балансе становится практически такой же, как у дугового пароводяного плазмотрона [6].

Как следовало ожидать, при малых m электролит нагревается до более высоких температур (рис. 3д). При этом существенно увеличивается количество электролита, уносимое из системы циркуляции, т.е. повышается массовая скорость убыли электролита G (рис. 3е). В основном, убыль электролита происходит за счет распыления и испарения под воздействием газового разряда в зоне его привязки к катоду. Поэтому величину G можно рассматривать как поток плазмообразующего вещества. В таком варианте упрощения энтальпия среды в плазменном столбе над электролитом может быть рассчитана по формуле

$$i = (\langle N \rangle - Q_k) / G.$$

Поскольку электролит является слабо концентрированным (массовая доля ~0,055 %), можно считать, что плазмообразующим веществом преимущественно служит водяной пар и результаты расчета i можно отнести к плазме водяного пара. Сравнение расчетных значений i с данными, представленными в [7] для пароводяной плазмы, позволило оценить среднемассовую температуру в плазменном столбе между катодом и анодом. Ее максимальное значение оказалось в пределах 3000-3200 К.

Выводы.

Уменьшение массового расхода электролита через проточный катод позволяет снизить тепловые потери и повысить эффективность использования электрической энергии для создания плазмы.

Литература

1. Артемов А.В., Переславцев А.В., Крутяков Ю.А. и др. Экологические аспекты плазменной переработки отходов // ЭКИП. 2011. № 9. С. 20 – 23.
2. Фридланд С.В., Тазмеев А.Х., Мифтахов М.Н., Тазмеев Х.К. О возможности переработки твердых отходов генераторами плазмы с жидкими электродами // Вестник машиностроения. 2006. № 7. С.72-73.
3. Тазмеев Х.К., Арсланов И.М., Тазмеев Г.Х. Электрические и спектральные характеристики газового разряда с жидким электролитным катодом в сильноточном режиме горения // Известия ВУЗов. Физика. 2014. Т. 57, № 3-2. С. 227-230.
4. Тазмеев Х.К., Арсланов И.М., Тазмеев Г.Х. О природе колебаний тока в газовом разряде с жидким электролитным катодом // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2013. № 2, вып. 2. С. 166-169.
5. Tazmeev Kh.K., Tazmeev A.Kh. Some specific features of heat and mass transfer of gas-discharge plasma with a liquid electrolytic cathode // Heat Transfer Research. 2005. Vol. 36, № 8. P. 623-629.
6. Аньшаков А.С., Радько С.И., Урбах Э.К. и др. Электрические и тепловые характеристики генератора плазмы водяного пара с медными трубчатыми электродами // Известия ВУЗов. Физика. 2014. Т. 57, № 3-2. С. 40-41.
7. Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии: Проблемы и перспективы / Г.Ю. Даутов, А.Н. Тимошевский, Б.А. Урюков и др. - Новосибирск: Наука, 2004. С. 105-145.