

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОГО ЭЛЕКТРОЛИТНОГО КАТОДА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ

Х.К. Тазмеев<sup>1</sup>, И.М. Арсланов<sup>1</sup>, Г.Х. Тазмеев<sup>2</sup>

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета<sup>1</sup>  
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.  
Туполева<sup>2</sup>  
tazmeevh@mail.ru

Экспериментально исследован энергетический баланс в газовом разряде между проточным электролитным катодом и металлическим анодом при мощностях, составляющих десятки киловатт. Разряд горел в воздухе в межэлектродном промежутке высотой 10 см. Электролитом служил раствор поваренной соли в дистиллированной воде. Концентрация раствора по массе составила 5,5 г/л. Установлены закономерности влияния массового расхода электролита через проточный катод на энергетические характеристики разряда. Выявлены режимы горения разряда, при которых в энергетическом балансе доля тепловых потерь на нагрев электролита достигает минимума.

### Введение

Газовые разряды с жидкими электролитными электродами имеют достаточно широкие возможности для практических приложений. Они перспективны для использования в таких процессах как бактериологическая очистка воды [1], обработка текстиля в водных растворах [2], плазменно-электролитная обработка материалов [3], получение ферромагнитных порошков [4]. В диапазонах мощностей, составляющих десятки киловатт, газовый разряд с жидким электролитным катодом может служить источником энергоносителя в плазменных технологиях переработки отходов [5].

При большом вкладе энергии в газовый разряд жидкий электролит нагревается и возникает необходимость его охлаждения. Нагрев происходит за счет выделения джоулевого тепла внутри электролита и поступления энергии от плазмы газового разряда. Теплообмен между электролитом и плазмой проходит в сложных условиях. Электролит испаряется и подвергается распылению. В этих условиях интенсивность охлаждения электролита существенно влияет на энергетические характеристики газового разряда, что было экспериментально установлено в работе [6] при токах 7 – 22 А и мощностях 8 – 33 кВт. В частности было выявлено снижение тепловых потерь на проточном катоде при уменьшении массового расхода электролита. В данной работе продолжены исследования при более малом поступлении электролита в зону контакта с разрядом.

### Эксперимент

Эксперименты проводились на установке, которая была использована в работе [6]. Частично были внесены конструктивные изменения в газоразрядный узел. Цилиндрический сосуд 1, из которого вытекал электролит, был разделен горизонтальной перегородкой 2 на две части (рис. 1). Такая модернизация позволила провести опыты в предельно допустимых условиях, при которых электролит истекал из горловины цилиндрического сосуда с температурой, очень близкой к 100 °С.

Джоулево тепло, выделяемое внутри электролита, рассчитывалось по формуле

$$Q_j = I \cdot \Delta U_k,$$

где  $\Delta U_k$  – падение напряжения внутри электролита, измеренное зондовым методом.

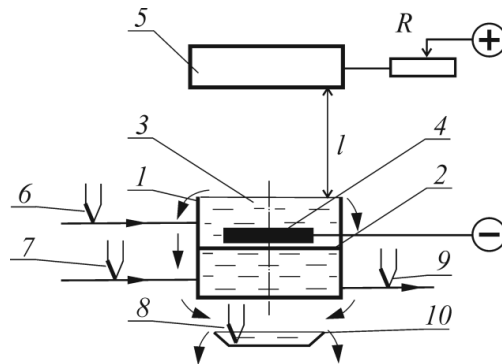


Рис. 1. Газоразрядный узел. 1 – сосуд цилиндрической формы, 2 – перегородка, 3 – жидкий электролит, 4 – токоподвод, 5 – анод, 6, 7, 8, 9 – термопары, 10 – сборная емкость.

В расчетах тепловых потерь теплоемкость  $c$  электролита принималась как у воды. Массовые расходы через верхнюю и нижнюю части цилиндрического сосуда, соответственно  $m_1$  и  $m_2$ , измерялись и контролировались поплавковыми ротаметрами. Числовые значения тепловых потерь на нагрев электролита, истекающего через горловину цилиндрического сосуда, вычислялись по формуле

$$Q_{к1} = c \cdot (m_1 - G) \cdot \Delta t_1,$$

где  $G$  – массовая скорость убыли электролита под воздействием газового разряда,  $\Delta t_1$  – разность температур, определяемая по показаниям термопар, одна из которых установлена на входе в цилиндрический сосуд, а другая на сборной емкости 10 (рис. 1), куда стекал электролит.

#### Результаты экспериментов

На рис. 2 представлены диаграммы, характеризующие энергетический баланс в газовом разряде при разных значениях массового расхода  $m_1$ .

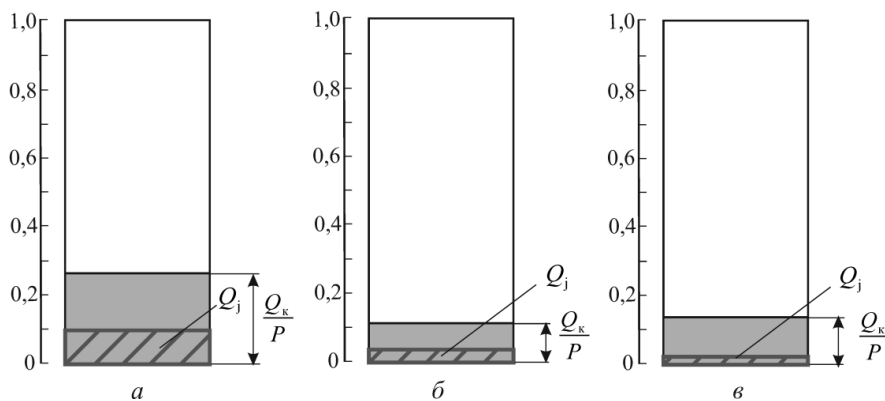


Рис. 2. Тепловые потери на электролитном катоде в энергетическом балансе газового разряда. Общий расход электролита  $m = 30$  г/с. а – по данным работы [6]; б –  $m_1 = 10$  г/с; в – 5. Разрядный ток: а –  $\langle I \rangle = 21,5$  А; б – 18,1; в – 8,6.

Диаграммы построены по экспериментальным данным, полученным при нулевом значении балластного резистора. При этом у источника питания кроме газоразрядного устройства не было других внешних нагрузок. Поэтому во всех рассматриваемых вариантах напряжение на клеммах разрядного устройства было одинаково.

Как видно из представленных диаграмм, при уменьшении массового расхода проточного электролита доля тепловых потерь в энергетическом балансе меняется не монотонно. Сначала она снижается, а затем несколько возрастает.

Часть тепловых потерь составляет джоулево тепло  $Q_j$ , выделяемое внутри электролита. В представленных диаграммах наблюдается снижение его доли в энергетическом балансе. Такая ситуация является вполне закономерной, т.к. в рассматриваемых вариантах уменьшение массового расхода электролита сопровождается снижением разрядного тока.

Изменение тока при варьировании массового расхода электролита происходит при постоянном напряжении, подводимом к клеммам газоразрядного устройства. Поэтому можно однозначно утвердить, что на разрядный ток существенное влияние оказывают тепловые явления на электролитном катоде.

При повышенных токах электролит сильно нагревается и доходит до состояния кипения. Пузырьки пара, выходящие на поверхность, разрывают привязку разряда к электролиту. Площадь контакта разряда с электролитом в жидком состоянии сокращается. По-видимому, вследствие таких явлений, происходит ограничение тока.

Кипение электролита приводит к полному разрыву токовых каналов, и разряд гаснет при достижении тока до некоторого предельного значения. При этом, чем меньше массовый расход электролита, тем ниже числовое значение предельного тока.

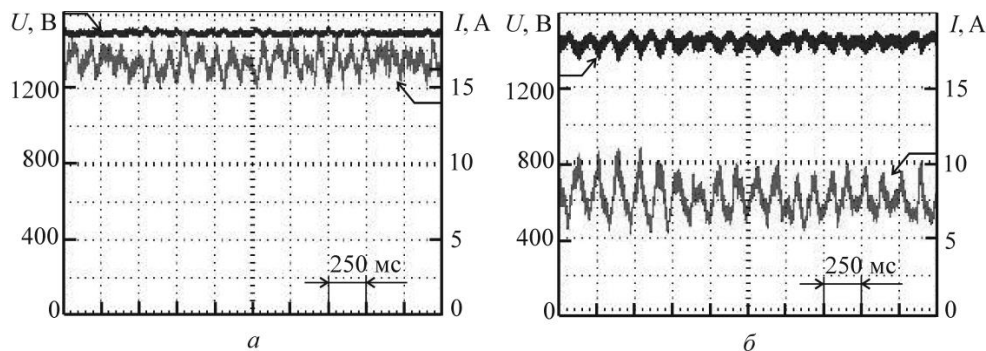


Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжений.  $m = 30$  г/с.  $a - m_1 = 10$  г/с;  $b - 5$ .

Возникновение неустойчивости горения разряда при малом массовом расходе электролита было зафиксировано на осциллограммах токов и напряжений. На рис. 3 представлены осциллограммы, полученные при двух разных массовых расходах электролита. Как видно, при меньшем расходе электролита амплитуды колебаний и тока и напряжения возрастают.

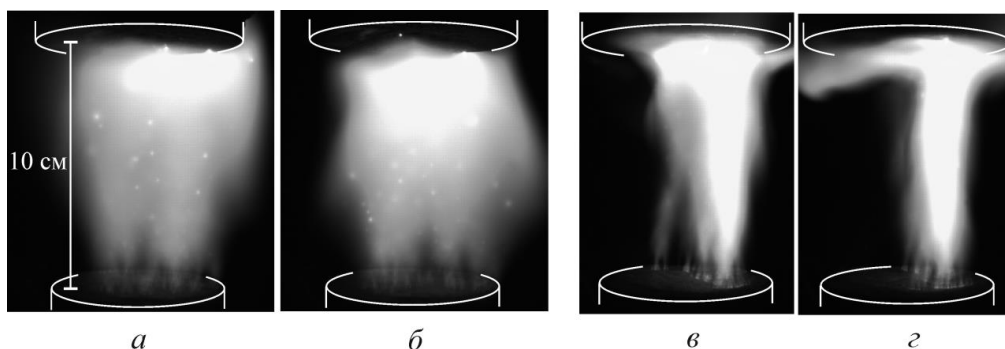


Рис. 4. Моментальные фотографии газового разряда. Экспозиция 200 мс. Интервал между кадрами 125 мс.  $m = 30$  г/с.  $a, b - m_1 = 10$  г/с и  $\langle I \rangle = 18,1$  А;  $v, z - 5$  и  $8,6$ .

Моментальные фотографии также зафиксировали появление неустойчивости горения газового разряда при малых расходах электролита. На рис. 4 приведены

фотографии, отснятые при двух разных массовых расходах электролита. Как видно, при малом расходе электролита контакт разряда с электролитом резко меняет свою геометрию и перемещается по поверхности электролита.

Таким образом, массовый расход электролита можно уменьшить лишь до определенного предела. При этом должны быть приняты меры для предотвращения кипения электролита в зоне привязки разряда.

#### Заключение

Энергетический баланс в газовом разряде с проточным электролитным катодом существенно зависит от массового расхода электролита. Варьированием массового расхода электролита можно снизить тепловые потери на катоде и уменьшить их долю в энергетическом балансе до 10 - 15 %, сохранив при этом устойчивый режим горения разряда.

#### Литература

1. Барин Ю.А., Кузикова И.Л., Зиновьева С.В., Школьник С.М., Медведева Н.Г. Антимикробное действие разряда с жидким катодом на электродную жидкость // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41, вып. 17. С. 68-75.
2. Титова Ю.В., Стокозенко В.Г., Неманова Ю.В., Максимов А.И. Модифицирование лубяных волокон под действием разряда атмосферного давления в объеме электролита // Химия высоких энергий. 2012. Т. 46. № 5. С. 412-416.
3. Kashapov L.N., Kashapov N.F., Kashapov R.N. Investigation of the process of plasma-electrolyte formation surface microrelief of cobalt chromium alloy // Journal of Physics: Conference Series. 2014. V. 567. Issue 1. Article number 012025.
4. Valiev R.A., Shakirov Yu.I., Iliuchin A.N. Phase and structural conditions of low-temperature plasma interaction products with steel // Journal of Physics: Conference Series. 2014. V. 567, Issue 1. Article number 012040.
5. Тазмеев А.Х., Фридланд С.В., Мифтахов М.Н. Содержание оксида углерода и углеводородов в синтез-газе при плазмохимической переработке полимерных отходов // Вестник Казанского Технологического Университета. 2006. №6. С. 43-46.
6. Tazmееv Kh.K., Tazmееv A.Kh. The influence of the mass flow rate of the electrolyte through the following cathode on the energy characteristics of the gas discharge// Journal of Physics: Conference Series. 2014. V. 567, Issue 1. Article number 012035.