

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, так как 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 утверждать, 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 сокращается. По-видимому, вследствие таких явлений, происходит ограничение тока.

Кипение электролита приводит к полному разрыву токовых каналов, и разряд гасится при достижении тока до некоторого предельного значения. При этом, чем меньше массовый расход электролита, тем ниже числовое значение предельного тока. Возникновение неустойчивости горения разряда при малом массовом расходе электролита было зафиксировано на осциллограммах токов и напряжений, а также на мгновенных фотографиях газового разряда. 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.

#### **Литература**

1. Tazmeev Kh. K., Arslanov I. M., Tazmeev G. 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. Vol. 567. P. 012001.

---

УДК 537.523.9:621.387.143

### **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАТОДА НА РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ**

**Г. Х. Тазмеев<sup>1</sup>, Б. А. Тимеркаев<sup>1</sup>, Х. К. Тазмеев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

На практике в большинстве случаев металлический катод охлаждается пропусканием воды через его внутреннюю полость. Однако в условиях конкретных практических приложений газового разряда этот общепринятый способ охлаждения катода может быть необязательным. В данной работе экспериментально исследован один из возможных альтернативных вариантов. В выбранном варианте вода охлаждает металлический катод снаружи.

Газовый разряд зажигался в воздухе между медными электродами при токах 5–10 А. Источником питания служил выпрямитель со сглаживающим фильтром. Выходное напряжение составляло 1760 В. Ток ограничивался балластным резистором. Разряд был

ориентирован в вертикальном направлении. Катод располагался внизу, а анод – наверху. Анод представлял собой водоохлаждаемый диск с диаметром 50 мм. Он устанавливался горизонтально. Катод был выполнен в виде стержня с закругленным торцом и смонтирован внутри диэлектрической трубки (рис. 1). Охлаждающая вода подавалась в зазор между металлическим катодом и внутренней стенкой трубки.

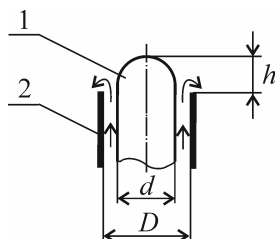


Рис. 1. Катодный узел. 1 – металлический катод; 2 – диэлектрическая трубка.  $d = 10$  мм,  $D = 12,7$  мм. Стрелками указано направление течения охлаждающей воды.  $h$  – выступ торца катода из трубки, регулируется перемещением катода относительно трубки

Ток и напряжение регистрировались осциллографом АКПП-15/1. Моментальные изображения разряда фотографировались скоростной камерой ВИДЕОСКАН-415. Температура охлаждающей воды на входе в катодный узел и на его выходе измерялись хромель-алюмелевыми термопарами. Количество тепла, уносимого охлаждающей водой, определялось калориметрическим способом.

Опыты проводились при различных вариантах обтекания металлического катода водой. Характерным признаком, различающим эти варианты друг от друга, послужило расположение верхнего края торца катода относительно уровня воды в диэлектрической трубке (рис. 2).

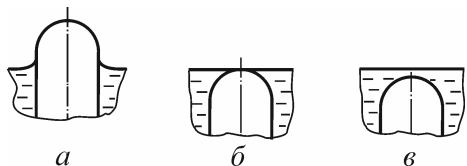


Рис. 2. Варианты обтекания катода водой. Торцы металлического катода: *a* – над водой; *б* – вровень с поверхностью воды; *в* – под водой

При малом расходе охлаждающей воды происходило сужение разрядного канала около катода (рис. 3, *a*, нижний ряд). На мгновенных фотографиях этот участок разряда проявлялся в алом цвете, что характерно для бальмеровской линии  $H_{\alpha}$  в спектре излучения водорода.

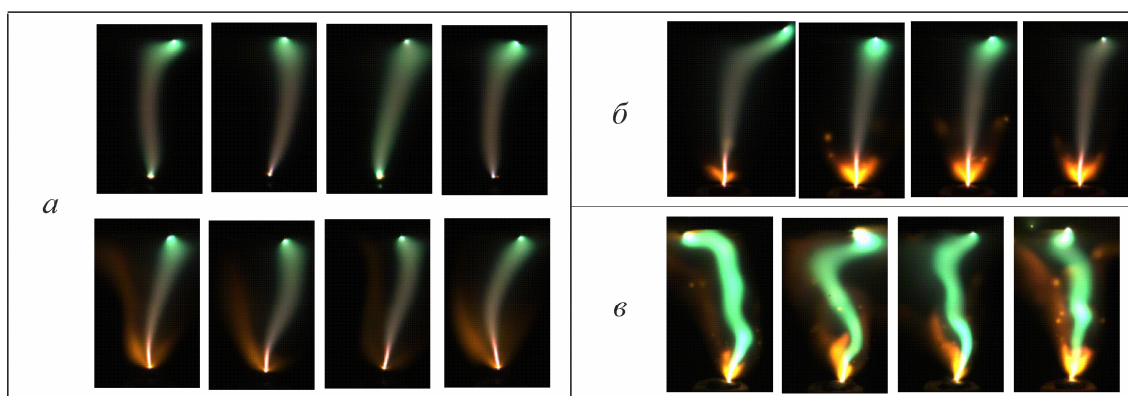


Рис. 3. Мгновенные фотографии газового разряда при разных вариантах обтекания катода водой. Экспозиция 200 мкс. Торцы металлического катода: *a* – над водой при  $h = 5$  мм; *б* – вровень с поверхностью воды; *в* – под водой на глубине 0,5 мм. Расход воды: *a* (верхний ряд) – 10 г/с; *a* (нижний ряд), *б*, *в* – 1,5. Среднее значение тока: *a* (верхний ряд) – 10,0 А; *a* (нижний ряд), *б* – 9,7; *в* – 8,7. Межэлектродное расстояние: *a* – 45 мм; *б*, *в* – 50 мм

При переходе (рис. 3, б) картина около катода несколько изменилась. Желтый ореол вокруг контрагированного разрядного канала стал ярче. В кадрах на фоне разрядного канала зафиксировались светящиеся круглые «пятна» желтого цвета.

Наиболее вероятной причиной сужения разрядного канала около катода является его охлаждение водяным паром. При большом расходе вода нагревается незначительно, а при малом расходе она вскипает в зоне контакта с накалившимся участком металлического катода и ее пары поступают в разрядную область. Натрий, содержащийся в воде, также попадает в эту область и добавляет желтый цвет в изображение разряда на фотографиях. В варианте на рис. 3, б вода распыляется. От мелкой капельки образуется паровое облако, которое проявляется на фотографии как желтое «пятно».

Характерной особенностью варианта, представленного на рис. 3, в, явилось то, что разрядный канал практически по всей длине был окрашен в зеленый цвет. Такая окраска свидетельствует об интенсивном поступлении атомов меди в разрядную область. По-видимому, атомарная медь образуется в электролизных процессах на катоде.

Присутствие атомов водорода, натрия и меди в плазменном столбе газового разряда подтвердили спектральные исследования. Распределения излучающих атомов вдоль разрядного канала, полученные в результате исследований, в полной мере соответствовали картинам на мгновенных фотографиях.

Одна из закономерностей, которая проявилась в опытах, заключается в том, что при одних и тех же параметрах электрической цепи (выходное напряжение источника питания, электрическое сопротивление балластного резистора, межэлектродное расстояние и др.) поступление паров воды в разрядную область приводит к снижению разрядного тока. Возможной причиной этой закономерности является увеличение электрического сопротивления разрядного канала из-за охлаждения. При попадании воды в межэлектродный промежуток (рис. 3, в) электрическое сопротивление цепи еще больше возрастает, что приводит к более резкому снижению среднего значения разрядного тока.

Для сравнительного анализа были проведены опыты с медным катодом, который охлаждался водой изнутри. В опытах не проявились закономерности, присущие внешнему охлаждению.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке плазменной техники, в частности, плазмохимических реакторов для конверсии жидкого сырья в газообразные продукты.

---

УДК 621.384.3/536.521

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕРМОГРАФА ИТ-ЗСМ**

**В. А. Фираго<sup>1</sup>, В. Ф. Шевцов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

На машиностроительных предприятиях Беларуси номенклатура изготавливаемых деталей обширная, а объем производимых партий небольшой, что осложняет непростые задачи по постоянной переналадке техпроцессов, снижению их энергоемкости с одновре-