

Для очень мелких частиц поглощение пропорционально объему частицы и их количеству, т. е. количеству вещества [2, 4]:

$$\varepsilon_{эф} = ND \frac{36\pi n\chi}{(n^2 + \chi^2 + 2)^2 + 4n^2\chi^2} \frac{v}{\lambda},$$

где  $N$  – концентрация частиц,  $D$  – оптический путь в пламени,  $n$  – показатель преломления,  $\chi$  – показатель поглощения,  $v$  – объем частицы. Это позволяет из пирометрических измерений находить объемную концентрацию конденсированной фазы (сажи).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- нельзя измерять температуру пламени методом яркостной пирометрии;
- в исследуемом пламени содержатся мелкие частицы сажи  $r < 100$  нм;
- спектральная пирометрия позволяет измерить температуру пламени, для исследуемого пламени – это 1500 °С;
- по эффективной излучательной способности пламени можно оценить объемную концентрацию излучающих частиц (сажи), для исследуемого пламени  $vN = 1,3 \cdot 10^{-6}$ , что хорошо согласуется с [5].

#### Литература

1. Магунов А. Н. Спектральная пирометрия. М.: Физматлит, 2012.
2. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. М.–Л.: ГИТТЛ, 1951.
3. Мошаров В. Е., Радченко В. Н., Сенюев И. В. Пирометрия с использованием п.з.с.-камер // Приборы и техника эксперимента. 2013. № 4. С. 132–137.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
5. Сергиенко И. А., Флорко А. В., Шевчук В. Г. Особенности испускательных и поглощательных характеристик частиц сажи при температурах горения // ФГВ. 2000. Т. 36, № 2. С. 33–39.

УДК 537.523.9:621.387.143

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА НА ГРАНИЦЕ ПЛАЗМА–ЖИДКОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО КАТОДА

Г. Х. Тазмеев<sup>1</sup>, И. М. Арсланов<sup>1</sup>, Р. Н. Тазмеева<sup>2</sup>

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

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

При горении газового разряда между жидкими электролитными электродами плазма контактирует с жидкостью. Наиболее часто встречающимся вариантом является контакт с жидким электролитом, служащим в качестве катода. Тепломассообмен между электролитом и плазмой происходит в сложных условиях. Электролит нагревается, испаряется и подвергается распылению. В этих условиях характеристики газового разряда в значительной степени зависят от режима охлаждения электролита. В работе [1] были экспериментально исследованы энергетические характеристики газового разряда с проточным электролитным

катодом при сравнительно больших токах и мощностях, составляющих соответственно 7–22 А и 8–33 кВт. Было выявлено снижение тепловых потерь при уменьшении массового расхода электролита. В данной работе продолжены исследования при более малом поступлении электролита в зону контакта с разрядом.

Эксперименты проводились на установке, которая была описана ранее. 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 как  $Q_j = I\Delta U_k$ , где  $\Delta U_k$  – падение напряжения внутри электролита, измеренное зондовым методом.

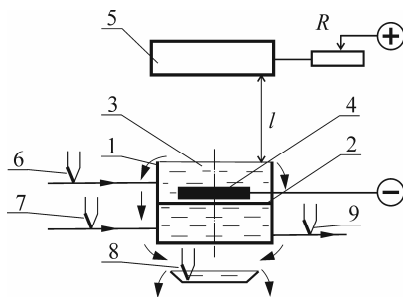


Рис. 1. Газоразрядный узел. 1 – сосуд цилиндрической формы, 2 – перегородка, 3 – жидкий электролит, 4 – токоподвод, 5 – анод, 6, 7, 8, 9 – термопары

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  $Q_{k1} = c(m_1 - G)\Delta t_1$ . Здесь  $G$  – 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 (рис. 1), куда стекал электролит.

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

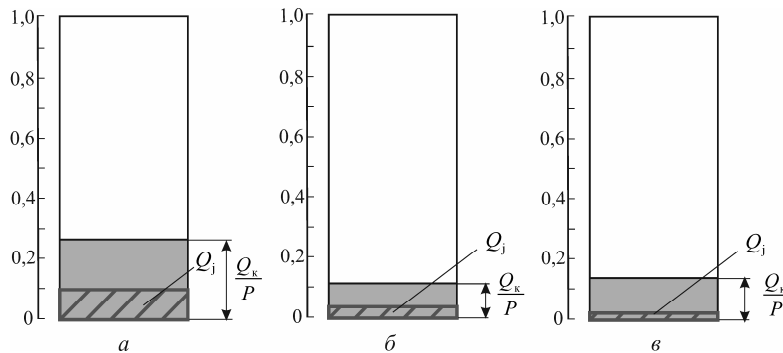


Рис. 2. Тепловые потери на электролитном катоде в энергетическом балансе газового разряда. Общий расход электролита  $m = 30$  г/с. а – по данным работы [1]; б –  $m_1 = 10$  г/с; в – 5. Разрядный ток: а –  $\langle I \rangle = 21,5$  А; б – 18,1; в – 8,6

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 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 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