

**В. Ф. Сивиркин, В. И. Мартынов
Л. П. Муркин**

ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРИИ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ С КОНИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ КАМЕРОЙ И ИХ КРИТЕРИАЛЬНОЕ ОБОБЩЕНИЕ

Приводятся результаты экспериментального измерения вольтамперных характеристик четырех вариантов электродуговых подогревателей с конической дуговой камерой. Произведено обобщение вольтамперных характеристик в рамках теории подобия.

Электродуговые подогреватели газа (ЭДП) в настоящее время широко применяются в научных исследованиях и в промышленности. Поэтому, всестороннему изучению их рабочего процесса, а также изучению возможности поддержания или изменения параметров рабочего процесса согласно заданной программы уделяется очень много внимания. Взаимодействие электрических, тепловых, газодинамических факторов, обуславливающих протекание рабочего процесса в камере ЭДП, является настолько сложным, что оставляет мало надежд на получение строгих аналитических решений. В такой ситуации в целях обобщения экспериментальных данных широкое распространение получили методы теории подобия. Для целого ряда практически важных случаев найдены системы определяющих критериев и показана плодотворность их применения [1÷5]. Во всех опубликованных к настоящему времени работах, как правило, речь идет об ЭДП с цилиндрическими дуговыми камерами. Между тем, переход от цилиндрических вариантов ЭДП к коническим связан с существенным изменением газодинамических характеристик течения, оказывающих сильное влияние на тепловые и электрические характеристики рабочего процесса ЭДП. В связи с этим исследование конических вариантов представляет несомненный интерес. Данная работа посвящена экспериментальному определению вольтамперных характеристик электродуговых подогревателей с конической дуговой камерой и их обобщению в рамках теории подобия.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка включала воздушный ЭДП постоянного тока, системы питания электрическим током, сжатым воздухом и охлаждающей водой, а также системы запуска и контроля и регулирования параметров рабочего процесса ЭДП. Источником постоянного тока служили два последовательно включенных машинных генератора ПН-1750. Запуск осуществлялся от осциллятора ОСПЗ-1М. Охлаждающая вода бралась из водопроводной сети. Сжатый воздух, получаемый от компрессора, очищался в вихревом влагомаслоотделителе.

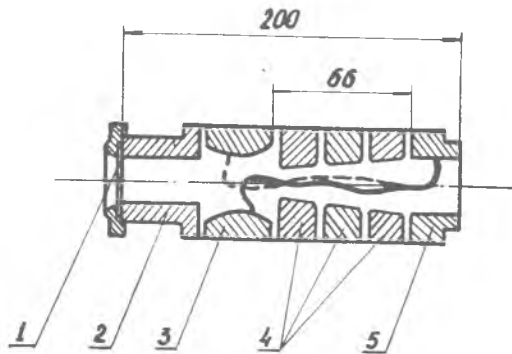


Рис. 1

Особенности воздушного тракта исследованных вариантов ЭДП показаны на рис. 1. Во всех вариантах геометрия катода и удлинителья, а также осевые размеры всех элементов ЭДП, сохранялись неизменными. Неизменным оставалось и соотношение расходов воздуха ($G_1:G_2:G_3:G_4:G_5 = 1,00:1,33:0,38:0,38:0,38$), обеспечиваемое жиклерами, работающими на сверхкритических перепадах давления. Диаметр сопла был переменным: у варианта № 1 $d_c = 10$ мм, у варианта № 2 $d_c = 20$ мм, у варианта № 3 $d_c = 30$ мм, у варианта № 4 $d_c = 40$ мм. Геометрия внутреннего тракта шайб определялась условием плавного конического сопряжения с цилиндрическим соплом.

Все элементы ЭДП, образующие рабочий тракт, изготовлялись из меди и охлаждались водой. Электроизоляция удлинителья, катода шайб и сопла осуществлялась с помощью текстолитовых колец, а уплотнение — с помощью резиновых колец. Воздух тангенциально подавался в зазоры между удлинителем и катодом (G_1), между катодом и первой шайбой (G_2), между первой и второй шайбами (G_3), между второй и третьей шайбами (G_4) и между третьей шайбой и соплом (G_5).

Таким образом, дуга, горевшая между катодом и анодом, стабилизировалась воздушным вихрем по всей ее длине. Схема питания ЭДП электрическим током и воздухом показана на рис. 2.

Результаты экспериментов

В экспериментах по определению вольтамперных характеристик измерялись: ток дуги I — с помощью милливольтметра с шунтом,

падение напряжения на дуге U — с помощью вольтметра, общий расход воздуха G — с помощью ротаметра и манометра (см. рис. 2).

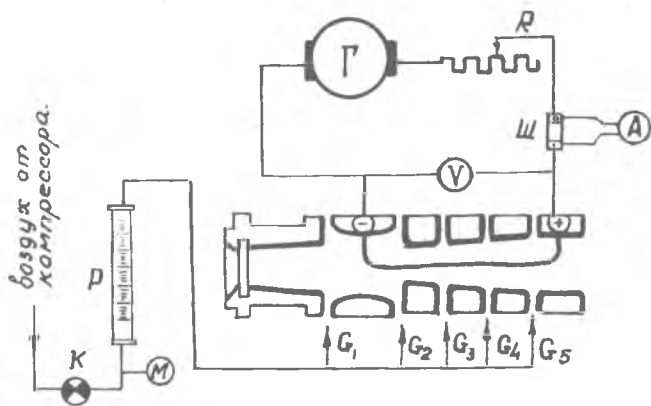
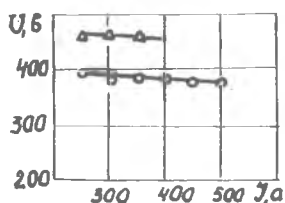


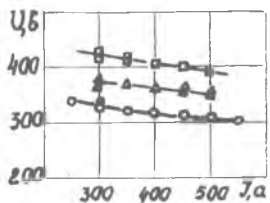
Рис. 2

Экспериментальные результаты показаны на рис. 3.

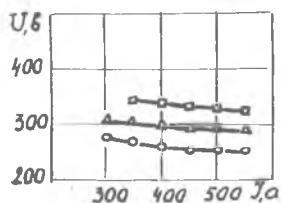
Как видим, при больших расходах воздуха вольтамперные характеристики располагаются выше. Это связано с тем, что с ростом расхода воздуха осевые скорости течения и давления в камере ЭДП увеличиваются. Оба этих фактора приводят к улучшению стабилизации дуги, а, следовательно, и к увеличению падения напряжения на ней.



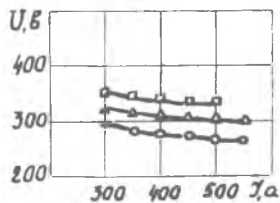
а)



б)



в)



г)

Рис. 3

С ростом диаметра сопла при неизменном расходе воздуха осевые скорости течения и давления в камере ЭДП уменьшаются. Это приводит к снижению вольтамперных характеристик, что хорошо видно на рис. 3а, 3б и 3в.

Некоторое повышение вольтамперных характеристик на рис. 3г по сравнению с рис. 3в объясняется тем, что при больших диаметрах сопла начинает заметно сказываться увеличение радиального участка анодной части дуги, приводящее к увеличению общей длины дуги.

У всех вариантов ЭДП в исследованном диапазоне изменения параметров вольтамперные характеристики слабо падающие. Это требует для электропитания подобных ЭДП источников постоянного тока с круто падающей вольтамперной характеристикой, а в противном случае — введения в цепь балластного сопротивления.

Критериальное обобщение экспериментальных результатов

При критериальном обобщении вольтамперных характеристик ЭДП с цилиндрическим рабочим трактом и с вихревой стабилизацией дуги хорошо зарекомендовали себя критерии $\frac{Ud\sigma}{I}$ и $\frac{I^2}{Gdch}$ [1.] Здесь d — характерный размер (чаще всего диаметр сопла), σ — удельная электропроводность газа, h — удельная энтальпия.

При использовании одного и того же рабочего газа из приведенных выше безразмерных критериев оказалось возможным исключить физические характеристики газа σ и h [2]. При этом обобщенную вольтамперную характеристику следует искать в виде функциональной связи между размерными комплексами $\frac{Ud}{I}$ и $\frac{I^2}{Gd}$. Попытка обобщения результатов, представленных на рис. 3, с использованием в качестве характерного размера диаметра сопла, привела к очень большому разбросу точек в координатах $\frac{Ud}{I}$ и $\frac{I^2}{Gd_c}$. В то же время, использование среднего диаметра рабочего тракта, определяемого как полусумма наименьшего внутреннего диаметра первой шайбы (во всех вариантах он был равен 10 мм) и диаметра сопла, позволило удовлетворительно сгруппировать точки около осредняющей всю их совокупность прямой, что хорошо видно из рис. 4.

Это объясняется так, что осреднены по длине дуги значения параметров, влияющих на горение дуги, близки к их значениям в среднем сечении дуговой камеры.

Уравнение прямой, показанной на рис. 4 после потенцирования, дает:

$$\frac{Ud_{cp}}{I} = 870 \left(\frac{Gd_{cp}}{I^2} \right)^{0,564}$$

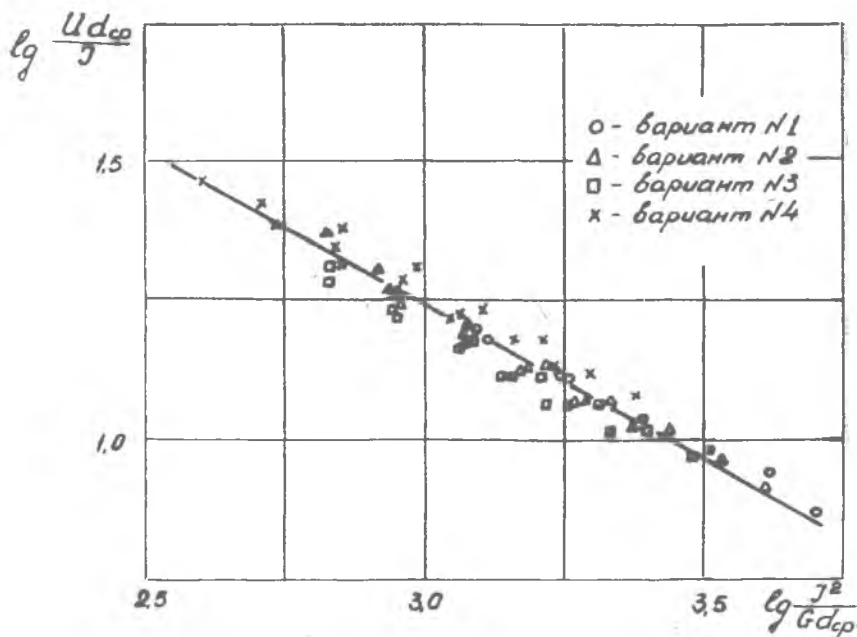


Рис. 4

Разрешая это уравнение относительно U , получим:

$$U = \frac{870 \cdot G^{0,564}}{d_{cp}^{0,436} \cdot I^{0,128}}$$

Если в него подставить G — в сек, d_{cp} — в мм, I — в а, то U будет в в. Расхождения между U , вычисленным по этой формуле, и U , определенными экспериментально, в худшем случае не превышают 13%, что является вполне удовлетворительным для целей инженерной практики.

ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы:

1. Создана серия ЭДП с конической дуговой камерой.
2. Экспериментально исследовано влияние угла конусности дуговой камеры (или, что то же самое — диаметр сопла) на вольт-амперные характеристики ЭДП.
3. Сделано критериальное обобщение вольт-амперных характеристик всех исследованных вариантов, удовлетворяющее целям инженерной практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Кутателадзе, О. И. Ясько. Обобщение характеристик электродуговых подогревателей. Инженерно-физический журнал, № 4, 1964.
2. О. И. Ясько. Обобщение характеристик электрических дуг. Инженерно-физический журнал, № 12, 1964.
3. Г. Ю. Даутов, М. Ф. Жуков. Некоторые обобщения исследования электрических дуг. Журнал прикладной механики и технической физики, № 1965.
4. Г. Б. Даутов, М. Ф. Жуков. Критериальное обобщение характеристик плазмотронов вихревой схемы. Журнал прикладной механики и технической физики, № 6, 1965.
5. С. С. Кутателадзе, А. К. Ребров, В. Н. Ярыгин. Геометрический размер в обобщенных характеристиках плазмотронов. Журнал прикладной механики и технической физики, № 4, 1967.