

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВИХРЕВОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

А.П. Степанов, ст. преп.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26 тел. (38451)-7-77-65

E-mail: apsuti@rambler.ru

При исследовании высокочастотного дугового разряда в вакуумном сферическом конденсаторе (рис. 1) визуально обнаружено вращение токовых нитей электрической дуги и активных пятен дуги. При этом отчетливо видны анодное и катодное пятна, непрерывное вращательное движение этих пятен и токовых нитей. Таким образом, при горении разряда происходит эффективное вращательное (вихревое) движение столба и пятен дуги.

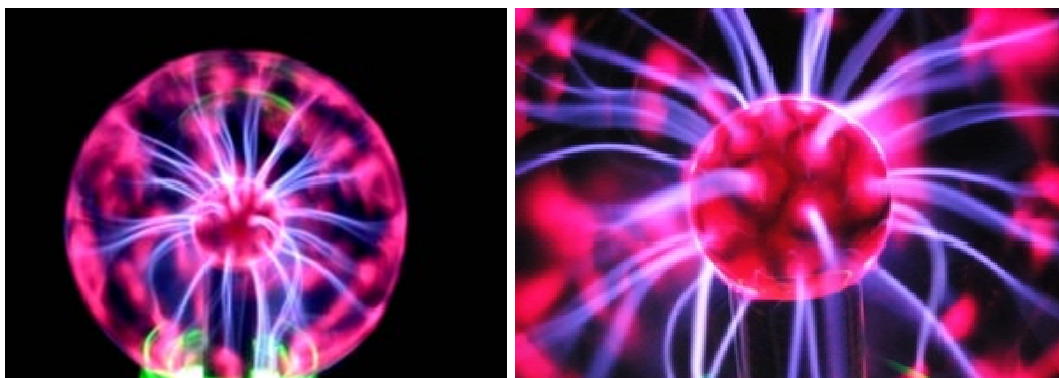


Рис. 1. Высокочастотный дуговой разряд в сферическом вакуумном конденсаторе (плазменная лампа Теслы)

Из теории вихрей известно, что вихревое движение – это движение жидкости или газа, при котором их малые элементы (частицы) перемещаются не только поступательно, но и вращаются около некоторой мгновенной оси [1]. Как следует из проведенных экспериментов, при горении электрической дуги существует вращательное движение заряженных частиц столба вокруг своей оси. При этом происходит также поступательное движение частиц по направлению к электродам. Значит, при горении электрической дуги происходит вихревое движение заряженных частиц и, следовательно, дуга является физическим объектом с вихревой структурой, короче – вихрем заряженных частиц.

Если электрическая дуга есть вихрь, значит, ее основные свойства подобны свойствам вихревых физических объектов в жидкости или газе: воронка, смерч, торнадо и т.п. (рис. 2, а), и значит, она должна подчиняться универсальным основным закономерностям вихревой теории.

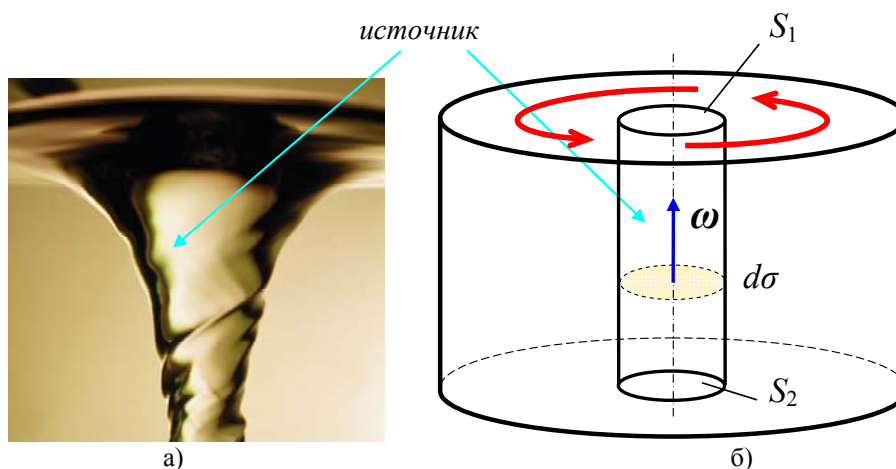


Рис. 2. Вихревое движение жидкости (газа)

По аналогии с вихревой теорией сформулируем основные понятия и положения, которым должна удовлетворять вихревая модель электрической дуги.

Основными понятиями вихревой теории являются понятия вихревого движения, вихревая линия, вихревая нить и теоремы Гельмгольца о вихревых нитях. Под вихревым движением плазменного столба дуги будем называть движение, при котором частицы столба перемещаются не только поступательно, но и вращаются около некоторой мгновенной оси. Количественно вихревое движение характеризуют вектором ω угловой скорости вращения заряженных частиц. В общем случае вектор ω зависит от координат в плазменном столбе и от времени.

Согласно Гельмгольцу [2], линию, касательные к которой совпадают направлениями мгновенных осей вращения частиц, называют вихревой линией. По аналогии с теорией вихрей [1] можно сделать вывод, что в плазменном столбе электрической дуги должен существовать источник вихревого движения – вихревая нить (рис. 4, б), в результате чего плазменный столб вращается вокруг вихревой линии. При этом для вихревых нитей должны выполняться четыре теоремы Гельмгольца.

По первой теореме Гельмгольца вихревое движение складывается из поступательного движения, вращательного и движения деформации. Движение деформации имеет потенциал скоростей. Бесконечно малый вихревой шарик, деформируясь, обращается в бесконечно малый вихревой эллипсоид, причем оси его направлены по осям деформации.

Произведение площади сечения вихревой нити $d\sigma$ на угловую скорость вращения частиц ω в этой нити называется напряжением вихревой нити. По второй теореме Гельмгольца напряжение вдоль всей вихревой нити остается величиной постоянной. Она устанавливает понятие о вихревых нитях и показывает, что они не могут иметь внутри столба дуги ни начала, ни конца. Вихревая нить (трубка) имеет начало и конец только на поверхности электродов.

По третьей теореме Гельмгольца вихревая нить всегда остается нитью. Четвертая теорема Гельмгольца – теорема о неразрушимости и неизменности напряжения вихревой нити во все время ее движения. Напряжение вихревой нити во все время движения одинаково. Хотя площадь сечения вихревой нити и угловая скорость могут меняться, но напряжение вихревой нити будет одно и то же. Она не может ни разорваться, ни исчезнуть.

Таким образом, на основании вихревой теории и теорем Гельмгольца можно утверждать: 1) вихревая нить и вихревой канал проводимости дуги должны быть геометрически и физически подобны; 2) вихревой канал проводимости (вихревой шнур) не может ни разорваться, ни исчезнуть; 3) напряжение вихревого шнура всегда одно и то же; 4) на концах вихревого шнура всегда будет пониженное давление, поэтому он своими концами будет «прилипать» к электродам.

Существует множество моделей дуги, в которых детально рассмотрены процессы в столбе дуги и в приэлектродных областях [3]. Однако в этих моделях дуги не постулируются физические условия для возникновения вихревого вращательного движения – нет силы вращения.

Рассмотрим произвольный объем в среде, в которой имеется вихревое движение. Среда состоит из определенных тел (частиц). Значит, на произвольную частицу этой среды должна действовать сила F , которая является причиной вихревого движения.

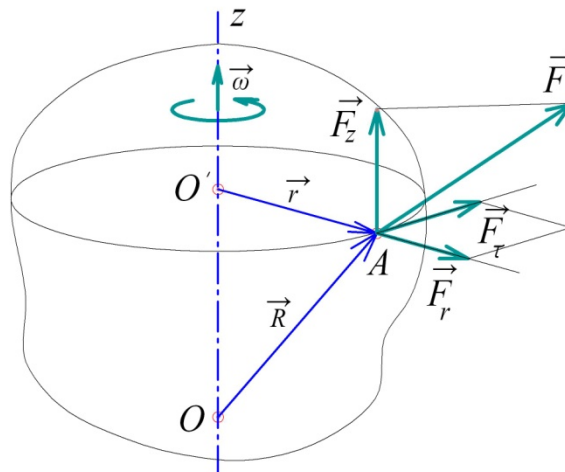


Рис. 3. Силы, действующие на частицу при вихревом движении

Проведем через точку приложения силы A (рис. 3) окружность с центром на оси вращения, плоскость которой перпендикулярна этой оси. Разложим вектор силы на следующие составляющие: осевую F_z – вдоль оси вращения; радиальную F_r – вдоль касательной к построенной окружности; тангенциальную F_t – вдоль касательной к построенной окружности. Каждая из этих составляющих имеет наглядный и очевидный смысл. Осевая составляющая стремится сдвинуть тело вдоль оси, радиальная составляющая стремится сдвинуть тело по направлению к оси и только тангенциальная составляющая способна придать вращение телу.

Таким образом, для возникновения вихревого движения плазменного столба электрической дуги, на заряженные частицы в межэлектродном промежутке должны действовать все три составляющие силы F . Осевую силу F_z , действующую на заряженные частицы, обеспечивает электрическое поле между катодом и анодом. Радиальная сила F_r , согласно современным моделям дуги, возникает из-за наличия собственного магнитного поля дуги. Тангенциальной силы F_t , которая обеспечивает вихревое движение, в известных моделях дуги не существует. Поэтому эти модели не позволяют адекватно объяснить эффект вращения дуги, наличие вихревой структуры плазменного столба дуги.

Для объяснения наблюдаемого в экспериментах вращения столба дуги и электродных пятен разработана электродинамическая вихревая модель электрической дуги. Согласно этой модели при возбуждении дуги сначала формируется вихревой шнур, образованный упорядоченным вихревым движением электронов. Этот электронный вихревой шнур образует основу квазинейтрального вихревого канала проводимости в плазменном столбе электрической дуги. Токопроводящий канал замыкает цепь электрической дуги между анодом и катодом. На границе с электродами он образует характерное свечение – анодное и катодное пятна. Электродинамическая вихревая модель дуги является единственной моделью, в которой дуга рассматривается как физический объект с вихревой структурой.

Литература.

8. Жуковский Н.Е. Основы вихревого движения // Собрание сочинений. Т.7. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950. С.132-149.
9. Гельмгольц Г. Основы вихревой теории. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, С. 246.
10. Низкотемпературная плазма / В.С. Энгельшт, В.Ц. Гурович, Г.А. Десятков и др. В 7 т. Т.1: Теория столба электрической дуги. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 376.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАПЛЕПЕРЕНОСОМ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А.В. Филонов, старший преподаватель

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 5-09-06
E-mail: a.filonow@mail.ru*

Многие характеристики процесса сварки плавящимся электродом в защитных газах зависят от типа каплепереноса металла электрода. Типы переноса металла, а также силы, действующие на металл электрода в дуге, описаны в работах [1, 2]. Каждый тип переноса металла характеризуется как преимуществами, так и недостатками.

Возможны несколько вариантов получения капель заданной массы. Одним из перспективных направлений для решения задач управления каплепереносом является введение в процесс импульсных воздействий [3]. В настоящее время получили развитие три системы управления каплепереносом:

- электрические системы, воздействующие на процесс импульсами тока от специальных источников (импульсно-дуговой процесс);
- механические системы, реализуемые с помощью подающих механизмов с импульсной подачей электродной проволоки;
- комбинированные системы, сочетающие совместное воздействие электрических и механических систем.

Первое направление – электрические системы – изучено наиболее полно и воплощено в различных импульсных источниках питания сварочной дуги [4]. Разнообразие способов реализации первого направления позволяет получить практически любые алгоритмы изменения энергетических характеристик сварочной дуги. Кроме того реализация обратных связей в подобных устройствах позволяет создавать адаптивные системы управления.