Моделирование ТЕЧЕНИЯ ГАЗА С УЧЁТОМ НАГРЕВА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПЛАЗМОТРОНОВ переменного тока

А.М. Боровской

Институт электрофизики и электроэнергетики Российской Академии Наук (ИЭЭ РАН), Санкт-Петербург, Россия, borovskoi.alex@mail.ru

Характеристики плазмотронов зависят от организации подачи плазмообразующего газа и характера взаимодействия газового потока с электрическими дугами. В этой связи предпринята попытка моделирования течений газа, подаваемого тангенциально для осевой стабилизации дуги в канале, с учётом его взаимодействия с нагретой столбом электрической дуги областью цилиндрического канала. Объекты исследования – высоковольтные плазмотроны переменного тока: однофазный двухканальный и трёхфазный трёхканальный, у которых одинаковые электродные узлы, но разные длины каналов и формы смесительной камеры. Для построения сетки расчётной области и моделирования течения плазмообразующего газа использовались программы GAMBIT и FLUENT с применением модели турбулентности Spalart-Allmares; причём плотность газа (воздуха) определялась по формуле идеального газа; вязкость, удельная теплоёмкость и коэффициент теплопроводности – по кинетической теории; молярная масса считалась постоянной, а число степеней свободы – равным 5. В сечениях входных отверстий тангенциальной подачи, объединённых в одну поверхность, задавались массовые расходы газа для разных режимов работы плазмотронов при температуре 20°С и нормальном атмосферном давлении; на стенках исследуемых плазмотронов и на поверхностях электродных модулей задавались условия прилипания при температуре 20°С, при этом для элементов конструкции были выбраны соответствующие материалы (сталь, медь, пластик); на поверхностях дуг, горящих в каналах, в сужающемся сопле или в смесительной камере исследуемых плазмотронов и снаружи (в окружающей среде), т.е. где дуги встречаются и замыкаются друг на друга, задавались обязательно поверхностная и необязательно объёмная плотности теплового потока (отношение тепловой мощности дуги, соответственно, к её площади поверхности и к объёму); а на поверхностях окружающей среды, учитываемой внешней сеткой программы GAMBIT, задавались возвратные течения, температура 20°С и нормальное атмосферное давление. Таким образом, промоделировано течение воздуха с учётом нагрева от электрической дуги в областях тангенциальной подачи, в цилиндрическом канале, в смесительной камере и в окружающей среде. Построены поля скоростей (модуля скорости, тангенциальной, радиальной и осевой составляющих скорости) и температуры газа в различных сечениях по продольной координате; а также рассчитаны среднемассовые значения этих величин и построены их зависимости от продольной координаты. В итоге выявлено, что модуль скорости принимает максимальное значение в сечении канала, близком к месту ввода газа, где наибольший вклад вносит тангенциальная составляющая скорости; а минимальные значения скорости наблюдаются в выходном сечении канала, при этом наибольший вклад вносит осевая составляющая скорости. Температура газа внутри канала в области его подачи и по всей длине электрода соизмерима с температурой окружающей среды, а на участке от наконечника электрода до выходного сечения канала наблюдается её резкое повышение. Далее вблизи выходного отверстия газ плавно охлаждается до выхода из смесительной камеры плазмотронов, а с выходом в окружающую среду его температура резко убывает. Заметное уменьшение модуля скорости наблюдается в каналах обоих плазмотронов по мере приближения к выходу и снаружи по мере движения от смесительной камеры. Значения модуля скорости газа на выходе из смесительных камер плазмотронов, полученные в работе с учётом нагрева от столба электрической дуги в 4-5 раз превышают значения, полученные ранее для холодного течения.