Об эффективности ускорения плазмы в импульсно-периодической плазменной установке атмосферного давления

Ю.М. Гришин, М.В. Рыдкин

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия, ygrishin@power.bmstu.ru, maks.rydkin@gmail.com

Одним из направлений создания эффективных технологических установок, генерирующих высокоэнергетические импульсные плазменные потоки при нормальных атмосферных условиях, является применение гибридных двухступенчатых импульсно-периодических плазменных установок (ИППУ) [1]. Первая ступень ИППУ - система электродуговых стационарных плазмотронов (ССП), а вторая ступень – коаксиальный импульсный электромагнитный ускоритель плазмы. Система стационарных плазмотронов обеспечивает непрерывное заполнение электродного канала коаксиального импульсного ускорителя низкотемпературной плазмой пониженной плотности с невысокой степенью ионизации. В этой среде с заданной скважностью осуществляется импульсный сильноточный разряд, формируется плазменное образование, распространяющееся под действием электромагнитных и газодинамических сил по электродному каналу.

В работе сформулирована физико-математическая модель процессов в ИППУ. Модель стадии заполнения коаксиального канала электродного узла низкотемпературной плазмой построена в рамках 3-х мерного газодинамического приближения и реализована с использованием программного комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS CFX 12.1. Расчеты проведены при использовании ССП из трех микроплазмотронов, генерирующих дозвуковые плазменные струи со средней температурой из диапазона 8-10 кК. Определены особенности пространственного распределения параметров плазмы в коаксиальном канале электродного узла ИППУ. Установлено, что зависимость распределения массы плазмы вдоль канала может быть аппроксимирована квадратичной функцией. Движение плазменного образования по каналу электродного узла ИППУ при сильноточном импульсном разряде описано на основе электродинамического приближения в рамках модели “snowplow” [2] с квадратичным законом изменения массы ускоряемой плазмы и учетом перетока части нагретого газа через плазменный поршень [3]. Установлены особенности динамики движения плазменного образования в широких диапазонах изменения основных безразмерных критериев, зависящих от энергетических, электротехнических и геометрических параметров ИППУ. Определены условия для реализации режима ускорения плазмы, при которых максимум скорости достигается при вылете плазменного «поршня» из канала ИППУ.

Рассчитаны КПД преобразования запасенной в емкостном накопителе энергии в кинетическую и внутреннюю энергии формируемого плазменного образования. Показано, что механический КПД имеет максимум при определенных значениях безразмерных критериев процесса.

Дана оценка основных параметров формируемого плазменного образования для ИППУ, реализованного в [1]. Показано, что при оптимальных значениях основных энергетических параметров данная ИППУ может генерировать (в среде атмосферного давления) плазменные образования со скоростью 2-2.5 км/с и температурой 25-30кК.

Литература

1. Chivel Y., Bochkov V., Grishin Y. and others. Proceedings of Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), San Diego, CA, USA, 2012, pp. 215-217
2. Колесников П.М. Электродинамическое ускорение плазмы М., Атомиздат, 1971.
3. Лебедев А.Д., Урюков Б.А. Импульсные ускорители плазмы высокого давления / АН СССР. Сиб. Отд-ние. Ин-т теплофизики; Отв. Ред. М.Ф. Жуков. Новосибирск. 1990.