

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 537.84, 533.95

DOI: 10.17223/00213411/63/3/137

Е.В. НЕФЁДЦЕВ, Л.А. ЗЮЛЬКОВА

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОЙ ДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ *

На основе результатов численного моделирования показана принципиальная возможность достижения эффективной магнито-индукционной корректировки разлета высокоградиентной плазмы из локализованного дугового источника и соответствующего повышения тягового импульса в несколько раз при крутизне нарастания индукции в ускорительном устройстве порядка 10^4 Тл/с. При этом необходим импульсно-периодический режим функционирования устройства с задержкой фронта импульса тока в источнике магнитного поля относительно импульса напряжения поджига в источнике плазмы, определяемой скоростью расширения плазменного облака в пределах устройства.

Ключевые слова: гидродинамическая модель плазмы, импульсное магнитное поле, сильноточный вакуумно-дуговой разряд, тяга плазменного двигателя космического аппарата.

Введение

В последнее время существует большое количество проектов двигателей для космических аппаратов, основанных на электрической тяге. Каждый из таких проектов претендует на определенную функциональную нишу (маршевые, корректирующие, компенсирующие устройства), зависящую от параметров тяги (сила тяги, импульс, энергетическая и тяговая эффективность, угловая диаграмма разлета рабочего тела, стабильность, время функционирования, экологические требования и т.д.). Носителем импульса отдачи в устройствах с электрической тягой часто выступает плазма, получаемая различными методами, в частности, резистивным нагревом, разрядом по поверхности полимеров, пробоем газа в индуктивном поле, наведенном внешним магнитным полем, лазерной абляцией, поджигом вакуумной дуги и т.д. Большинство из этих устройств снабжены электромагнитными системами ускорения.

Для создания тяги в малых и сверхмалых космических аппаратах до конца не изучены потенциальные возможности импульсного дугового разряда [1], который обладает рядом преимуществ. К важным преимуществам следует отнести возможность использования конденсированной рабочей среды (в том числе со значительной атомной массой), высокие сверхзвуковые скорости истечения плазмы, а также возможность регулировать тягу в диапазоне $\sim 1\text{--}10$ мкН с достаточно высокой точностью несколькими независимыми параметрами: частотой, длительностью и мощностью импульсов поджига.

К недостаткам вакуумно-дугового источника плазмы, как правило, относят эрозию электродов, сокращающую время эксплуатации двигателя [2] или требующую наличия надежной системы подачи рабочей среды в зону разряда. Однако, как было продемонстрировано в работах [3, 4], эта проблема может быть решена при использовании жидкофазного металлического рабочего тела, автоматически подаваемого в зону разряда через стальной капилляр. Мениск жидкого металла, который восстанавливается в течение короткого периода времени под действием сил поверхностного натяжения, создает воспроизводимые условия как для лазерно-абляционного [3], так и для дугового источника плазмы [4] в широком диапазоне частоты повторения импульсов и в течение длительного времени работы.

Принципиальным недостатком плазмы сильноточной вакуумной дуги как носителя импульса отдачи является широкая диаграмма ее разлета, что приводит к большим потерям импульса в радиальном направлении и соответственно к низкой тяговой эффективности. Для устранения этого недостатка необходимо обжатие плазмы внешним магнитным полем. Учитывая импульсный характер генерации вакуумно-дуговой плазмы, привлекательным в данном случае является использование взаимодействия внешнего импульсного магнитного поля с индуцированными этим же по-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00270).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>