

Исследование поля скоростей заряженных частиц в канале и плазменной струи стационарного плазменного двигателя методами активной лазерной спектроскопии

Д.Д. Криворучко, А.В. Скрылев

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Запросы, предъявляемые современными стандартами к электрическим двигателям, неизменно растут. В настоящее время на российских и зарубежных космических аппаратах используются холловские двигатели с удельным импульсом, не превышающим 2000 с, и работающие при напряжении разряда до 500 В. С другой стороны, чтобы продолжить осваивать космос требуются установки с мощностью в десятки кВт, с удельным импульсом тяги, превышающим 7000 с, и ресурсом не менее 50000 часов. В тоже время, до сих пор не создано какой-либо универсальной теоретической модели работы стационарных плазменных двигателей (СПД).[1] Данный факт не дает возможности качественной оптимизации двигателей, а также приводит к необходимости проверять работоспособность двигателей и их характеристики прямыми ресурсными испытаниями, что достаточно не эффективно и дорого. Для получения требуемых параметров двигателя нужно решить ряд вопросов. Одной из основных проблем при разработке СПД нового поколения является то, что в двигателях с традиционной конструктивной схемой при напряжениях разряда свыше 500 В происходит снижение КПД из-за падения плотности плазмы и ухудшения эффективности ионизации, а также возникают неустойчивые режимы горения разряда, все это приводит к снижению тяговых характеристик СПД. Для детального изучения этого вопроса предложена и частично реализована активная оптическая диагностика плазменной струи и плазмы в канале СПД. На данный момент для определения параметров плазмы СПД существуют устоявшиеся методы (зондовая диагностика и численное моделирование), но большинство из них либо не обладают достаточной точностью, либо для их реализации необходимо большое количество экспериментальных и эмпирических данных.[2]. Активная спектроскопия позволяет определить как параметры плазмы, так и эрозию канала в реальном времени и с высоким пространственным разрешением. Такого рода диагностики применительно к плазменным двигателям активно проводятся на западе[3], но до сих пор не получили развития в России. Данная работа направлена на получения трехмерного распределения вектора скорости заряженных частиц в любой области двигателя с пространственным разрешением до 2 мм. Для этого используется классическая Лиф диагностика, основанная на эффекте доплеровского уширения (1).

$$\Delta v_{12} = v_{12} \frac{u}{c} \quad (1)$$

Для анализа данных использовалась столкновительно-излучательная [модель с внесенными в нее дополнениями. При диагностики профиля линии излучения учитывались такие разрешения как: зеймановское, штарковское и доплеровское тепловое [4]. Имеющееся на данный момент оборудование позволяет получить проекцию скорости на поперечное направление, которая вирируется от 1 до 3 км/с. В дальнейшем планируется построить пространственное поле скоростей в сфере 4π с пространственным разрешением не больше, чем 2,5 мм.

Литература

- 1) Горшков О.А., Муравлёв В.А., Шагайда А.А. Холловские и ионные плазменные двигатели для космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2008. – 279 с.
- 2) Иршиков С.В. Численное моделирование динамики плазмы в холловском двигателе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М.: 2006.
- 3) Wensheng Huang, Alec D. Gallimore [et al]. Two-Axis Laser-Induced Fluorescence of Singly-Charged Xenon inside a 6-kW Hall Thruster. AIAA 2011-1015.
- 4) Лохте-Хольтгревен В. (ред). Методы исследования плазмы. Спектроскопия, лазеры, зонды. – М.: Мир, 1971. – 552 с.