

А.С. АКСЕНОВА¹, Д.В. КОЛОДКО^{1,2}, А.В. КАЗИЕВ¹, А.В. ТУМАРКИН¹, М.М. ХАРЬКОВ¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

²Фрязинский филиал государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЧЕТВЕРТЬСФЕРИЧЕСКОГО ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСКОРЕННЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ БПРД

В данной работе представлены результаты численного моделирования в COMSOL Multiphysics с целью определения основных конструктивных особенностей анализаторов, которые необходимо учесть при дальнейшей разработке реальных приборов для анализа ускоренных потоков плазмы безэлектродного плазменного ракетного двигателя. Построена численная модель четвертьсферического электростатического энергоанализатора. Определены критические параметры анализатора, требующие особого контроля при разработке и изготовлении реального прибора

A.S. AKSENOVA¹, D.V. KOLODKO^{1,2}, A.V. KAZIEV¹, A.V. TUMARKIN¹, M.M. KHARKOV¹

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

²Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics, RAS, Fryazino Branch, Fryazino, Russia

NUMERICAL STUDY OF ELECTROSTATIC QUARTER-SPHERICAL ENERGY ANALYZERS FOR INVESTIGATION OF ACCELERATED PLASMA FLOWS OF ELECTRODELESS THRUSTER

In this study, the results of numerical simulations conducted using COMSOL Multiphysics software are presented to determine the key design features of analyzers that must be considered in the development of actual devices for analyzing the accelerated plasma flow in electrodeless plasma thrusters. A numerical model of a quarter-spherical electrostatic energy analyzer has been constructed. Critical parameters of the analyzer that require special attention during the development and manufacture of a real device are determined.

Разработка плазменных ускорителей нового поколения является критически важной областью исследований для будущих мощных электрических двигательных установок. Одна из наиболее перспективных технологий - безэлектродные плазменные двигатели, которые в настоящее время активно разрабатываются для межпланетных полетов. Эти двигатели должны обеспечивать превосходные показатели тяги, удельного импульса, удельной мощности и срока службы по сравнению с обычными электрическими двигательными установками.

В Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт" создается экспериментальный стенд [1,2] для испытаний компонентов и прототипов безэлектродных плазменных двигателей малой тяги мощностью до 0,3 МВт. Конструкция двигателя основана на геликонном разряде [3, 4] для генерации плазмы, тяга создается с помощью магнитного сопла, где расширяющиеся силовые линии магнитного поля ускоряют плазму в высокоскоростную струю [5, 6]. Кроме того, магнитное поле обеспечивает теплоизоляцию, защищая стенки камеры от повреждения плазмой.

В настоящее время разрабатывается специальный диагностический комплекс, состоящий из нескольких типов анализаторов и зондов, включая энергоанализатор на основе электростатического сферического зеркала, предназначенный для определения характеристик ускоренных потоков ионов. Для оценки функционирования данного прибора в условиях работы безэлектродного плазменного ракетного двигателя и определения конструктивных особенностей анализатора, в среде COMSOL Multiphysics построена численная модель анализатора потоков заряженных частиц: четвертьсферического электростатического энергоанализатора. Определены критические параметры, требующие особого контроля при разработке и изготовлении реального прибора. В исследовании также изучено влияние геометрических отклонений, которые могут существенно ухудшить разрешающую способность и чувствительность анализаторов потоков заряженных частиц.

Список литературы

- [1] Zhil'tsov V.A. et al., "Fusion and space" Probl. At. Sci. Technol. Ser. Thermonucl. Fusion. Vol. 41, № 3. P. 5–20, 2018 (in Russian)
- [2] Bragin E.Y. et al., "Development of a Diagnostic System for Studying Plasma Processes in the Magnetic Nozzle of an Electrodeless Plasma Rocket Thruster Prototype" Instruments Exp. Tech. Vol. 67, № 4. P. 742–754, 2024
- [3] J.I. Del Valle et al., "Plasma-Surface Interactions Within Helicon Plasma Sources," Frontiers in Physics. Frontiers Media SA, vol. 10, 2022
- [4] F.F. Chen, "Helicon discharges and sources: A review," Plasma Sources Sci Technol. Institute of Physics Publishing, vol. 24, no 1, 2015
- [5] C.S. Olsen, "Experimental Characterization of Plasma Detachment from Magnetic Nozzles," pp 1–296, 2013.
- [6] K. Takahashi, "Helicon-type radiofrequency plasma thrusters and magnetic plasma nozzles," Reviews of Modern Plasma Physics, vol. 3, no 1. 2019