

Я.А. ЛЕОНОВ, И.Д. ЕГОРОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЫ АБЛЯЦИОННОГО ИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Исследована плазма абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД) VERA методом оптической эмиссионной спектроскопии. Разработаны спектральная установка и программный комплекс на Python для обработки данных. Электронная температура определялась по линиям водорода в модели ЧЛТР. С применением обратного преобразования Абеля получено радиальное распределение температуры.

Y.A. LEONOV, I.D. EGOROV, A.A. STEPANENKO
National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

DETERMINATION OF THE RADIAL DISTRIBUTION OF ELECTRON TEMPERATURE IN THE PLASMA OF AN ABLATIVE PULSED PLASMA THRUSTER BY OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY

The plasma of an ablative pulsed plasma thruster (APPT) VERA was studied by optical emission spectroscopy. A spectral setup and a software Python module for data processing were developed. The electron temperature was determined from hydrogen lines within the PLTE model. The radial temperature distribution was obtained using the inverse Abel transform.

Проблема измерения электронной температуры T_e в плазме импульсных плазменных двигателей связана с короткой длительностью импульса плазменного разряда (~ 100 мкс). Для определения T_e в работе использован метод оптической эмиссионной спектроскопии с пространственным разрешением и высоким временным разрешением.

В работе представлена спектральная установка, диспергирующая излучение плазмы, и программный комплекс на Python для обработки данных. Измерения проводились на выходе из сопла АИПД VERA [1] перпендикулярно оси двигателя с временным разрешением до 10 мкс. Электронная температура определялась методом построения графика Больцмана по линиям H_β , H_γ в рамках модели ЧЛТР [2]. Линия H_α исключена из анализа из-за оптической толщины ($\tau > 1$). С применением обратного преобразования Абеля получено радиальное распределение температуры $T_e(r)$ [3].

Показано, что T_e возрастает до 0,4–0,8 эВ в середине импульса и снижается к его концу. Полученные значения температуры ниже данных зондовой диагностики (1–3 эВ при измерениях на расстоянии 100 мм от сопла) в несколько раз, однако согласуются с теоретической оценкой для области на выходе из сопла, учитывающей высокую концентрацию аблированного вещества при работе на полиацетале ($n \approx 10^{24} \text{ м}^{-3}$), и данными численного моделирования разряда в двигателе. Результаты демонстрируют однородность нагрева струи в поперечном сечении.

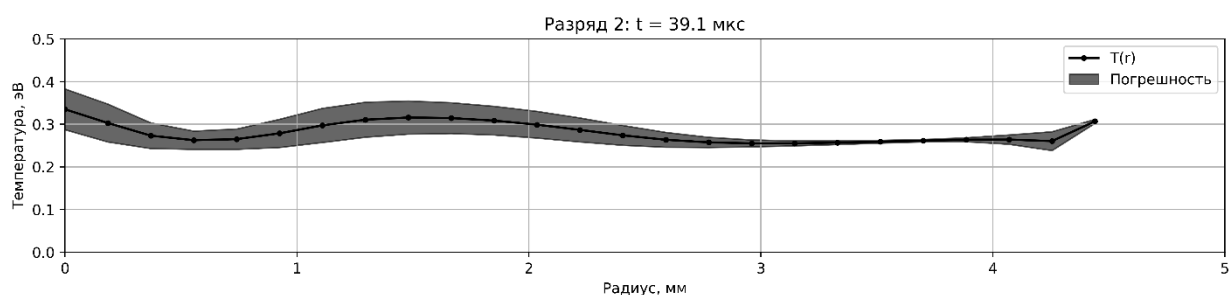


Рис. 1: Радиальное распределение электронной температуры плазмы на выходе сопла АИПД.

Список литературы

1. Егоров И.Д., Королева Ю.С., Абдрахманов Д.Ф. Коаксиальный абляционный импульсный плазменный двигатель с внешней магнитной системой для малых космических аппаратов // Сборник научных трудов VIII международной конференции «Лазерные, плазменные исследования и технологии. Москва, 2022. С. 142.
2. Griem H.R. Principles of Plasma Spectroscopy. – Cambridge: Cambridge University Press, 1964.
3. Пикалов В.В., Мельникова Т.С. Томография плазмы. – Новосибирск: Наука, 1995. – 230 с.