

УДК 629.7.454.2

УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ СОСТАВА ГАЗОВОЙ И ПЫЛЕВОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ СОБСТВЕННОЙ АТМОСФЕРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© Юмашев И.В., Воронов К.Е.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: yumashil13@gmail.com

В настоящее время для коррекции движения КА по орбите, а также ускорения их в космическом пространстве для полетов к внешним планетам Солнечной системы являются перспективными электрические ракетные двигатели.

Исследование [1] показало, что при работе ЭРД имеет место износ конструктивных элементов двигателя, сопровождающийся выбросом твердых микрочастиц, образующихся в результате эрозии электродов при контакте с плазмой из сопла двигателя. Наряду с этим возможен перезаряд корпуса космического аппарата в связи с погрешностями в работе нейтрализующего потока ионов инжектора электронов в совокупности с особенностями работы электростатического ускорителя ионов. Данные факторы переводят ЭРД в класс загрязнителей, сильно влияющих на собственную атмосферу КА.

В работе за объект исследования берется состав и распределение газовой и пылевой составляющих факела ионного ЭРД аксиально-азимутальной конструкции.

Пример установки для исследования состава выброса ЭРД приведен на рисунке.

Исследуемый двигатель (1) в процессе работы образует компоненты выброса с некоторым распределением по скоростям и массам. Возможные траектории движения ионов, твердых частиц и электронов показаны пунктиром. Пылеударный детектор заряженных частиц (2) предназначен для сбора заряда частиц с низкой скоростью – твердых заряженных частиц конструкции двигателя. Отклоняющая электростатическая система, состоящая из стержня (3) с положительным потенциалом и коллектора ионов (4) с отрицательным, прозрачная для нейтральных молекул рабочего тела и пылевых частиц, разделяет заряженные частицы (ионы и электроны), оставшиеся после нейтрализации плазмы, и направляет их на коллектор ионов (4) и коллектор электронов (3) соответственно.

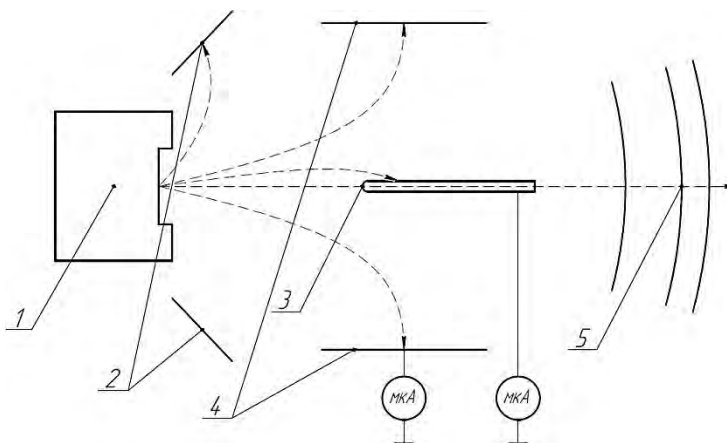


Рисунок – Конструкция установки измерения состава выброса ЭРД

Их расположение зависит от мощности двигателя и химического состава рабочего тела. Величина токов, создаваемых отданными ионами и электронами зарядами, пропорциональна их количеству. Работа электростатической системы мало влияет на быстро движущиеся заряженные пылевые частицы, которые движутся по траектории, близкой к прямой, и проходят через времяпролетный детектор (5) с несобирающими нитями. На нитях детектора индуцируется электрический заряд, который впоследствии измеряется.

Работа пылеударного и пролетного детекторов частиц основывается на предположении о полной заряженности частицы, то есть достижения электрическим полем на поверхности частицы напряженности, равной электрической прочности среды (1).

$$E_{max} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad (1)$$

где Q – полный заряд частицы, r – ее условный радиус, ϵ и E_{max} – диэлектрическая проницаемость и электрическая прочность среды соответственно.

Попадая на пылеударный детектор, частица отдает свой заряд, создавая импульс тока в цепи измерения. Интеграл функции тока измерителя равен заряду частицы (2):

$$Q = \int i(t)dt. \quad (2)$$

Пролетный детектор состоит из нескольких параллельных сеток, состоящих из параллельных нитей. Применяя массив сеток, в котором нити одной из сеток перпендикулярны нитям другой возможно измерить скорость, заряд, а также координаты пролета частицы. Применение конструкций с тремя и более измерительными сетками позволяет наблюдать не только мгновенные координаты, но и определять полный вектор скорости, имеющий множество составляющих. Скорость частицы вычисляется дважды, исходя из системы уравнений (3).

$$\begin{cases} I = \frac{qV}{CbR}t \\ V = \frac{T}{D} \end{cases}, \quad (3)$$

где q – заряд частицы, V – ее скорость, C – емкость между двумя нитями b – расстояние до нити, R – диаметр нити, t – время индукции заряда на нити, обусловленное максимально допустимой чувствительностью регистрирующего устройства, T – время между моментами регистрации частицы первой и второй сетками, а D – расстояние между сетками.

На основе вышеописанных зависимостей ставится задача определения конструкционных и электрических параметров установки.

Библиографический список

1. Frieman Jason D., Gilland James H., Kamhawi Hani, et al. Wear trends of the 12.5 kW HERMeS Hall thruster // Journal of Applied Physics, 2021, 130.
2. Акишин А.И. Работоспособность космического оборудования при воздействии собственной внешней атмосферы аппарата. Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина, 2018.
3. Семкин Н.Д., Воронов К.Е., Новиков Л.С. Регистрация пылевых и газовых частиц в лабораторных и космических условиях. Самара, 2005. 470 с.: илл.