

Рисунок 2 – График зависимости  $M$  от  $\gamma = L_\gamma / L$ , где  $L_\gamma$  места пролета

#### Список использованных источников

1. Воронов К.Е., Григорьев Д.П., Телегин А.М. Обзор аппаратных средств для регистрации ударов частиц о поверхность космического аппарата (обзор) // Успехи прикладной физики. 2021. Т. 9. № 3. С. 245-265.

2. Пияков А.В., Телегин А.М. Измерение распределения частиц по сечению тракта ускорителя для моделирования микрометеоритов с помощью индукционного датчика // Приборы и техника эксперимента. 2022. № 4. С. 106-114

3. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами / Пер. с англ.: Под ред. К.Н. Кондратьева. М.: Мир. 1971. 165 с.

Телегин Алексей Михайлович, к. ф-м. н., доцент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. talex85@mail.ru.

УДК 629.7.454.2

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ВЫБРОСА ЭЛЕКТРОРАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

И.В. Юмашев

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** электроракетный двигатель, экспериментальная установка, детектор заряженных частиц.

В настоящее время для коррекции движения КА по орбите, а так же 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 поток ионов инжектора электронов в совокупности с особенностями работы электростатического ускорителя ионов.

В связи с этим ставится задача исследования влияния продуктов работы ЭРД на конструктивные элементы космических аппаратов и их собственную атмосферу.

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 1.

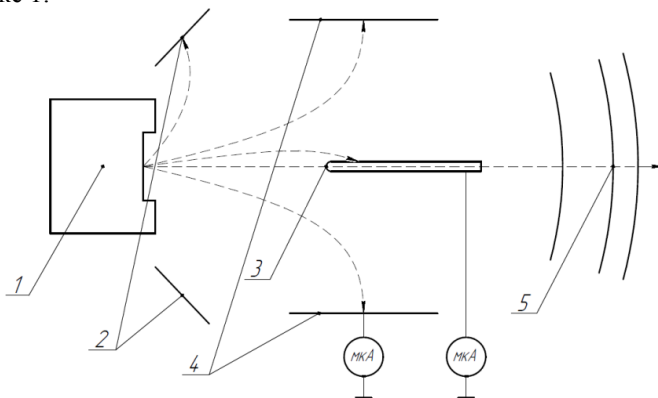


Рисунок 1 – Конструкция установки измерения состава выброса ЭРД

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 соответственно на коллектор ионов (4) и коллектор электронов (3).

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 быстродвижущиеся 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:

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

где  $Q$  – полный заряд частицы,  $r$  – ее условный радиус,  $\epsilon$  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:

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

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:

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

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.

Список использованных источников

1. Jason D. Frieman, James H. Gilland, Hani Kamhawi, et al. Wear trends of the 12.5 kW HERMeS Hall thruster, Journal of Applied Physics 130, 2021

2. А.И. Акишин 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 470с.: илл.

Юмашев Илья Владимирович, студент гр. 6271-110401D , yumashil13@gmail.com

УДК 621.396.962

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ РАВНЫХ ДАЛЬНОСТЕЙ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РЛС

С.А. Воронцова

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** линия равных дальностей, двухпозиционная радиолокационная станция, база, земная поверхность.

Линии равных дальностей [1–2] двухпозиционной РЛС представляют собой сечения эллипсоида с фокусами в точках расположения приёмника ( $R$ ) и передатчика ( $T$ ), то есть сечения поверхности равной дальности для двухпозиционной системы плоскостью просматриваемого участка поверхности Земли.

Получим уравнение линии равных дальностей двухпозиционной РЛС, учитывающее параметры взаимного расположения носителей, для топологии системы, приведённой на рисунке 1.

Носители приёмника ( $R$ ) и передатчика ( $T$ ) могут осуществлять как параллельный полёт, в том числе на разных высотах ( $h_T$ ,  $h_R$ ), так и полёт друг за другом, возможен и смешанный вариант, то есть вектор базы  $B$  может иметь составляющие по всем трём осям координат:

$$B_x < 0; B_y; B_z = h_R - h_T.$$

$$\text{Проекция } B_{xz} = \sqrt{B_x^2 + (h_R - h_T)^2} = B \cos \varphi_z = B_z / \sin \theta_y.$$

Для того, чтобы получить уравнение линий равных дальностей, требуется осуществить переход от системы координат  $хуz$  с началом