

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семкин Н.Д., Юсупов Г.Я., Бочкарев В.А., Семенчук С.М. Способ формирования массовой линии ионов во времяпролетном масс-спектрометре. Описание изобретения к авторскому свидетельству, МПК Н 01 J 49/40 №1691905, бюл. №42 от 15.11.91.
2. Бочкарев В.А., Семкин Н.Д., Колесников О.Ю. Времяпролетный масс-спектрометр. Описание изобретения к патенту РФ, МПК Н 01 J 49/40, № 2003199, бюл. №41-42 от 15.11.93.
3. Семкин Н.Д. Проектирование масс-спектрометров для космических исследований. – Самара : СГАУ, 2000.

УДК 577.33

Ротов С.В., Бобин Д.Г.

### СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

В данной статье рассматриваются информационные возможности сферического детектора космических частиц на основе активной пленочной структуры металл-диэлектрик-металл (МДМ). Конструкция детектора представлена на рис. 1.

Высокоскоростное взаимодействие космической частицы с чувствительной поверхностью ионизационно-конденсаторного датчика 2 приводит к образованию канала высокой проводимости (плазмы) внутри конденсаторной секции 3 и разряду конденсатора через этот канал. Параметры регистрируемого электрического сигнала с датчика: амплитуда и время нарастания переднего фронта, – функционально связаны с физическими параметрами налетающей космической частицы (масса, скорость, плотность) [1,2].

Разлет плазмы между сферами детектора 2 и 4 под действием газодинамических сил и приложенного между сферами электрического поля в зависимости от режима работы детек-

тора ведет к формированию на приемнике ионов 4 интегрального ионного импульса (режим регистрации физических параметров частицы) или разделенных во времени пакетов ионов различной массы (режим определения элементного состава частицы) [1,2]. На рис.2 представлены информационные сигналы преобразователя.

В режиме определения физических параметров частицы происходит измерение величины падения напряжения конденсаторного датчика  $U_{\text{сгпа}}$ , времени пролета  $\tau_{\text{пр}}$ , переднего фронта импульса ионного тока  $\tau_{\text{max}}$  и его амплитуды  $I_{\text{max}}$ , а в режиме измерения элементного состава определяется время прихода ионных пакетов  $t_i$ .

При построении бортовой системы для определения физических параметров частицы предполагается решить упрощенную систему уравнений

$$\begin{cases} V = \frac{L}{\tau_{\text{max}}} \left( 1 + \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \right) \\ L = R_2 - R_1, \\ Q = c_1 \cdot m^{\alpha_1} \cdot V^{\beta_1}, \\ Q = \int I(t) dt, \\ U_{\text{сгпа}} = c_2 \cdot m^{\alpha_2} \cdot V^{\beta_2}. \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы,  $V$  – скорость частицы;  $Q_1$  – суммарный заряд ионов в приемнике;  $Q_2$  – начальный заряд в закороченном промежутке МДМ – структуры;  $U_{\text{сгпа}}$  – напряжение на конденсаторном датчике;  $c_1, c_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  – параметры, соответствующие различным режимам работы детектора;  $R_2, R_1$  – радиусы внешней и внутренней сферы детектора;  $\rho_m$  – плотность мишени;  $\rho_y$  – плотность ударника.

Именно такой параметрический вид системы является общим для всех режимов работы детектора, под которыми понимается диапазон скоростей частицы, а также механизмы взаимодействия.

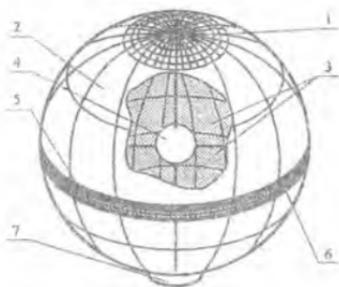


Рис.1. Конструкция детектора  
 1,6 – пленочные солнечные батареи; 2 – внешняя оболочка детектора; 3 – конденсаторные секции внешней сферы; 4 – приемник ионов (внутренняя сфера); 5 – антенна; 7 – блок научной информации; 8 – фотоэлектрический преобразователь

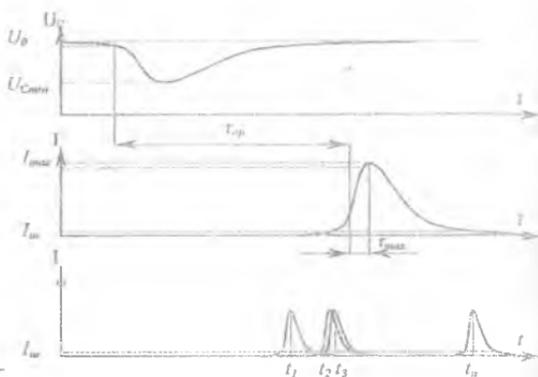


Рис.2. Информационные сигналы преобразователя в режимах измерения физических параметров и элементного состава частицы

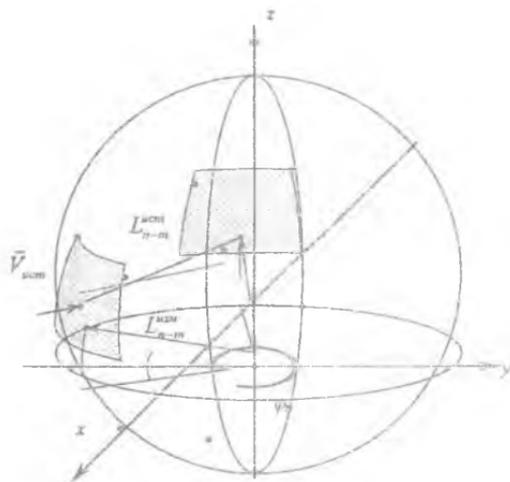


Рис.3. Определение вектора скорости частицы при двойном пробеге внешней оболочки преобразователя

Параметрическое решение системы уравнений (1) имеет вид

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_x = \rho_y &= \rho_m \cdot \frac{\tau^2 \cdot \left( \frac{c_2}{U_{C \min}} \right)^{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2} \cdot \left( \frac{Q}{c_1} \right)^{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2}}{L^2} - L^2 \\ m &= \left( \frac{c_4}{U_{C \min}} \right)^{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2} \cdot \left( \frac{Q}{c_1} \right)^{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2} \\ V &= \left( \frac{c_2}{U_{C \min}} \right)^{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2} \cdot \left( \frac{Q}{c_1} \right)^{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Сферы детектора разбиты на  $N$  конденсаторных секций. В случае, когда частица пробивает оболочки детектора дважды, регистрируются два импульса с конденсаторных секций  $n$  и  $m$ . При этом можно сделать оценку направления вектора скорости. На рис. 3 представлен случай пробоя иа частицей секций внешней оболочки.

В этом случае система уравнений (1) может быть дополнена следующими уравнениями

$$\left\{ \begin{aligned} V &= \frac{L_{\text{изм}}}{\tau_{n-m}} \\ \varphi &= \frac{\varphi_n + \varphi_m + \pi}{2} \\ \theta &= \frac{\theta_n + \theta_m + \pi}{2} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где  $L_{\text{изм}} = 2 \cdot R_2 \cdot \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_n - \varphi_m}{2} \right) + \sin^2 \left( \frac{\theta_n - \theta_m}{2} \right)}$ ; углы  $\varphi_n, \varphi_m, \theta_n, \theta_m$  для секций  $n$  и  $m$

известны;  $\tau_{n-m}$  — измеряемое время между двумя регистрируемыми импульсами,  $\varphi$  и  $\theta$  — углы вектора скорости в азимутальной и вертикальной плоскостях, соответственно, измеряемые относительно некоторого базисного вектора.

Привязка к направлению базисного вектора возможна при наличии собственной системы ориентации аппарата. Это позволит с большей точностью определять направление движения частиц, сделает возможным ориентацию датчика таким образом, чтобы его солнечные батареи были максимально освещены Солнцем; улучшит радиосвязь за счет появления возможности точно ориентировать антенну.

Для данного датчика удобнее всего будет использовать активную магнитную систему

ориентации. В качестве токонесущих контуров могут использоваться шпангоуты, поддерживающие форму КА. На их поверхность можно напылить токопроводящую пленку, и, пропуская по ней ток, располагать аппарат в требуемом положении.

Для активной ориентации по магнитному полю необходимо знать компоненты вектора индукции магнитного поля Земли (МПЗ). Для этого используются три феррозондовые датчика, оси которых не параллельны друг другу. Получая информацию с этих датчиков, можно найти компоненты вектора МПЗ в связанной с датчиком системе координат, а также скорость вращения аппарата относительно него. Затем, подавая токи в контура по заданному закону управления, можно установить датчик в необходимое положение.

Управляющий момент, создаваемый контуром с током в магнитном поле, равен

$$\vec{M} = IS \vec{n} \times \vec{B}, \quad (4)$$

где  $S$  - площадь контура;  $I$  - ток, протекающий по контуру;  $\vec{n}$  - нормаль контура, направление которой связано с направлением тока в контуре правилом правого винта.

Вектор управляющего момента должен быть противоположен вектору ошибки ориентации  $\vec{\Delta}$  и зависеть от ее величины:

$$\vec{M} = -k \vec{\Delta}, \quad (5)$$

$$\vec{\Delta} = k_d \vec{\omega} + \vec{\mathcal{G}} |\varphi|. \quad (6)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности;  $k_d$  - коэффициент демпфирования;  $\vec{\omega}$  - вектор угловой скорости КА;  $\varphi$  - угол между ортом оси ориентации  $\vec{i}$  и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ ;  $\vec{\mathcal{G}}$  - орт ошибки ориентации

$$\vec{\mathcal{G}} = \frac{\vec{B} \times \vec{i}}{|\vec{B} \times \vec{i}|}. \quad (7)$$

Решение уравнения (4) с учетом (5), (6) можно записать в виде

$$I \vec{n} = k \frac{(k_d \vec{\omega} + \vec{\mathcal{G}} |\varphi|) \times \vec{B}}{SB^2}. \quad (8)$$

Поскольку в уравнение ошибки (6) входят две составляющие, то управляющий момент можно представить в виде суммы демпфирующего  $M_d$  и ориентирующего  $M_o$  моментов.

Ориентирующий момент также зависит от угла между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{i}$ . Из уравнений (6), (7) и (8) можно найти

$$I_{\alpha} \vec{n} = \kappa \frac{|\varphi|}{B^2 |\vec{B} \times \vec{i}|} (\vec{B} \times \vec{i}) \times \vec{B} = \kappa \frac{|\varphi|}{|\sin(\varphi)|} \left( \frac{\vec{i} B^2 - \vec{B}(\vec{B} \cdot \vec{i})}{B^2} \right). \quad (9)$$

где  $\varphi$  - угол между  $\vec{B}$  и  $\vec{i}$ , который определяется из формулы скалярного произведения векторов

$$\varphi = \arccos \left( \frac{\vec{B} \cdot \vec{i}}{|\vec{B}| \cdot |\vec{i}|} \right) \quad (10)$$

Демпфирующая часть дипольного магнитного момента определяется как

$$I_{\alpha} \vec{n} = \kappa \frac{\vec{\omega} \times \vec{B}}{B^2}. \quad (11)$$

Определить вектор угловой скорости аппарата можно также на основе измерения величин компонент вектора индукции магнитного поля Земли  $\vec{B}$  [3]:

$$I_{\alpha} \vec{n} = \frac{\kappa}{B^2} \left( \frac{\vec{B}(\vec{B} \cdot \vec{B})}{B^2} - \dot{\vec{B}} \right). \quad (12)$$

Ток в контуре вычисляется как сумма токов  $I_o$  и  $I_d$ . От знака в правой части формул (9) и (12) зависит направление тока в контуре.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семкин Н.Д., Воронов К.Е. Проводимость ударносжатых МДМ структур на основе полиметилметакрилата. //ЖТФ, 1998, т.68, №8, с.63-66.
2. Семкин Н.Д., Воронов К.Е., Мясников С.В., Помельников Р.А. Газопылеударный масс-спектрометр. //ПТЭ, 2001, №5, с.1-7.
3. Коваленко А.П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1975.