

УДК 537.2

Возможности увеличения тяги ионных двигателей

Лебедев Михаил Олегович^(*)

lebedev_mo@voenmeh.ru

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Исследуются возможности увеличения тяги ионных двигателей за счет создания последовательной системы ускоряющих электродов, а также влияние конструкции электродов на распределение потенциала в ускоряющей системе. Показана возможность увеличения тяги от 2 до 500 раз по сравнению с классической схемой в зависимости от величины удельного заряда при скоростях истечения от 50 до 500 км/с.

Ключевые слова: ионные двигатели, система разгона, распределение электрического потенциала, многоэлектродная система, коэффициент потерь напряжения

Введение. На основе математической модели идеального ионного двигателя [1] исследуются возможности увеличения тяги за счет создания последовательной системы ускоряющих электродов, что позволит сократить время разгона космических аппаратов до требуемой скорости. Рассматривается конструкция ускоряющей системы, исключающая контакт заряженной среды с ускоряющими электродами, что уменьшает потери, связанные с токами утечек и эрозией электродов.

Материалы и методы; результаты. Тяга ионного двигателя на единицу площади поперечного сечения струи, выраженная через плотность тока j и удельный заряд k_q (отношение заряда частицы к его массе), равна

$$P = \frac{j}{k_q} w_{\text{ист}}, \quad (1)$$

$w_{\text{ист}}$ — скорость истечения. Максимальная плотность тока, которая может быть достигнута, выраженная через скорость ионов у анода и разность потенциалов ΔU или напряженность поля E_0 между анодом и катодом при отсутствии заряженной среды равна [1]

$$j_{\text{max}} = \frac{4}{9} \left(\frac{\sqrt{2k_q \Delta U + w_a^2} + w_a}{\sqrt{2k_q \Delta U + w_a^2} - w_a} \Delta U \right)^{\frac{3}{2}} \times \\ \times \frac{\epsilon_0 \sqrt{2k_q}}{L^2} = \frac{4}{9} \left(\frac{\sqrt{2k_q E_0 L + w_a^2} + w_a}{\sqrt{2k_q E_0 L + w_a^2} - w_a} E_0 \right)^{\frac{3}{2}} \epsilon_0 \sqrt{\frac{2k_q}{L}}, \quad (2)$$

L — расстояние между электродами. Из (2) очевидно, что сокращение L приводит к повышению плотности тока, но уменьшению ΔU , что объясняется максимальным значением напряженности поля, при котором отсутствует электрический пробой между электродами. В результате скорость истечения двигателя падает. Достичь высоких скоростей истечения можно за счет использования n последовательно установленных ускоряющих электродов [2].

Существующие системы ускорения ионных двигателей состоят из электродов, которые представляют собой мелкоячеистые сетки (см. например [3]). Подобные системы обладают электрическим полем близким по своим характеристикам к полю бесконечных пластин (при отсутствии ионов). При повышении плотности ионной струи использование мелкоячеистых сеток будет приводить к большим потерям, связанным с токами утечек, и сильной эрозии сеток. Одним из решений, позволяющих сократить такие потери, может быть система разгона, в которой слои, представляющие каналы протекания ускоряемой среды, чередуются со слоями, содержащими ускоряющие электроды. Однако в каналах протекания струи распределение потенциала для первой и последней пары электродов будет отличаться от линейного. Численное моделирование показало, что можно улучшить распределение потенциалов за счет использования преданода и посткатода.

Заключение. Расчеты показали, что многоэлектродная схема разгона заряженных частиц позволяет получить увеличение тяги по сравнению с классической двухэлектродной системой разгона от 2 до 500 раз в зависимости от величины удельного заряда, а также обеспечить скорости истечения от 50 до 500 км/с. А варьируя длину преданода/посткатода, можно практически выровнять значения потенциала по ширине канала и существенно уменьшить потери ускоряющего напряжения, связанные с нелинейностью распределения потенциала между электродами.

Список источников

- [1] Фаворский О.Н., Фишгойт В.В., Янтовский Е.И. *Основы теории космических электрореактивных двигательных установок*. Москва, Высшая школа, 1970, 488 с.
- [2] Лебедев М.О. *Устройство для увеличения силы тяги в электрическом ионном двигателе*. Патент № RU2784248C1 РФ, 2022.
- [3] Леб Х.В., Попов Г.А., Обухов В.А., Фейли Д., Коллингвуд Ш., Могулкин А.И. Крупногабаритные высокочастотные ионные двигатели. *Труды МАИ*, 2012, № 60. URL: <https://mai.ru/upload/iblock/40d/krupnogabaritnye-vysokochastotnye-ionnye-dvigateli.pdf?ysclid=m09pplo62j533760213> (дата обращения 15.11.2024).