

## ПЛАЗМЕННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

*БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: член-корреспондент НАНБ,  
доктор физико-математических наук Асташинский В.М.*

Плазменные двигатели - двигатели, в которых рабочее тело ускоряется, находясь в состоянии плазмы. Скорости истечения рабочего тела, достижимые в плазменных двигателях, существенно выше скоростей, предельных для обычных газодинамических (химических или тепловых) двигателей. Увеличение скорости истечения позволяет получать данную тягу при меньшем расходе рабочего тела, что облегчает массу ракетной системы (см. Циолковского формула) [1].

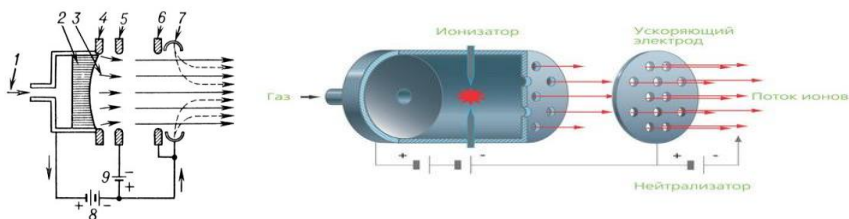
В 1975 году практическое применение на советском и американском космических летательных аппаратах нашли плазменные электрореактивные двигатели. В таких плазменных двигателях через рабочее тело пропускается электрический ток от бортового источника энергии, в результате чего образуется плазма с температурой в десятки тысяч градусов. Эта плазма затем ускоряется либо газодинамически, либо за счёт силы Ампера, возникающей при взаимодействии тока с магнитными полями [2].

Исследуются возможности создания плазменных двигателей на других принципах. Так, существуют модели плазменных двигателей, в которых действующей силой является реактивная сила отдачи, возникающая при разлёте продуктов разложения и испарения поверхностей твёрдых тел, облучаемых мощными импульсами лазерного излучения или импульсными электронными пучками. Обсуждается также схема ядерного ракетного двигателя на основе ядерного реактора с газофазными (точнее, плазменными) тепловыделяющимися элементами. В этом реакторе делящееся вещество должно находиться в состоянии плазмы с темпера-

турой в несколько десятков тыс. градусов. При контакте с ним рабочее тело (например, водород) будет нагреваться до соответствующих температур, что позволит получить скорости истечения в несколько десятков км/сек.

На сегодняшний день отсутствует ясное представление о том, как именно космические аппараты когда-нибудь преодолеют рубеж скорости в 10 000 км/сек. Это примерно 130 лет полета до ближайшей звездной системы Альфы Центавра. В качестве реальной возможности рассматривается двигатель, использующий энергию термоядерного синтеза. Среди испытанных конструкций, способных дать существенную тягу, вне конкуренции ядерные двигатели с теплоносителем (ЯРД). В СССР был разработан и испытан превосходный образец такой установки — РД0410. Скорость истечения рабочего тела из сопла, т.е. удельный импульс ЯРД может составлять 9 — 10 км/сек. Это более, чем вдвое превышает показатели любых химических ракетных двигателей [3].

Функциональная схема “классического” ионного (плазменного) двигателя представлена на рисунке 1(а,б).



а

б

- 1 – подвод рабочего тела; 2 – ионизатор; 3 – пучок ионов;  
 4 – фокусирующий электрод; 5 – ускоряющий электрод;  
 6 – блокирующий электрод; 7 – нейтрализатор; 8 – основной источник энергии; 9 – вспомогательный источник энергии;

Рисунок 1 – Ионный двигатель

В сравнительно узком интервале между сетчатыми анодом 4 и катодом 5 происходит разгон положительных ионов газа (ксенон, аргон, водород и т.д.), являющегося рабочим телом двигателя. При этом свободные электроны, образующиеся в процессе ионизации, притягиваются к аноду, после чего выводятся в истекающую наружу струю положительно заряженного газа, для его нейтрализации. Катод 6 блокирует притягивание к аноду электронов, покидающих нейтрализатор 7. Анодом является не только электрод 4, но и вся внешняя оболочка камеры, в которой происходит ионизация газа. Анод имеет наибольший потенциал  $\sim 1\ 000\ В$ , в то время как потенциал катода 5 составляет  $\sim 100\ В$ , а у катода 6 он еще ниже.

Скорость струи газа, ускорившейся в промежутке между сетками 4 и 5, может достигать до  $200\ км/сек$ . Однако тяга ионного двигателя ничтожно мала, в лучшем случае достигая  $\sim 0.1$  ньютона. Это прямо связано с проблемой разделения ионов и электронов. Которая в этом, как и во всех других плазменных двигателях решается крайне неэффективно.

Еще в 60-х годах А.И. Морозов предложил свой концепт плазменного двигателя, который был успешно испытан в 70-х. Здесь заряды разделяются радиальным магнитным полем, которое прикладывается в зоне разгона положительных ионов продольным электрическим полем. Значительно более легкие электроны, под действием сил Лоренца, спирально навиваются на силовые линии магнитного поля и как бы «выдергиваются» магнитным полем из плазмы. При этом массивные ионы по инерции проскакивают магнитное поле, ускоряясь электрическим в продольном направлении. Механизм нейтрализации работает также, как в ионном двигателе. Данная схема, имея перед ним определенные преимущества, не позволяет добиться существенно большей тяги при сравнимой мощности [4].

Магнитный метод разделения зарядов далек от эффективного решения проблемы и не позволяет создавать плазменные двигатели, которые могли бы быть использованы для меж-

звездных путешествий. Но лучшие умы планеты стараются с каждым разом решить эту проблему. Например американская компания SpaceX которая занимается космическими летательными аппаратами и планирует уже отправить людей на марс в 2024 году. Может быть когда нибудь полет на другую планету будет в сравнении как съездить в другой город, а в соседнюю галактику, как в соседнюю страну.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Циолковский, К. Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами / К. Э. Циолковский. – Калуга : 1-я Гостип. ГСНХ, 1926. – 128 с.

2. Гильзин, К. А., Электрические межпланетные корабли, 2 изд., М., 1970. – 432 с.

3. Плазменные ускорители / под ред. Арцимовича Л. А. [и др.]. – М., 1973; 1903. – 312 с.

4. Морозов, А. И. Космические электрорактивные двигатели / А. И. Морозов, А. П. Шубин. – М., 1975. – 66 с.

УДК 371

Мацур Е.В.

## **ДИДАКТИЧЕСКИЕ ИГРЫ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ИНТЕРЕСА К УЧЕБНОМУ ПРОЦЕССУ**

*БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Круглик Т.М.*

Одна из существенных проблем, с которой сталкиваются преподаватели, пожалуй, всех дисциплин – это отсутствие должной мотивации к изучению предмета. Известно, что под мотивацией понимаются процессы, определяющие движение по направлению к поставленной цели, а также факторы (внешние и внутренние), которые влияют на активность и пассивность поведения. С помощью ее у обучающегося появ-