**УДК 621.313.13**

Е.В. БИЯТТО, студентка гр.ЭПб-121 (КузГТУ)
К.К. ПРИВАЛИХИНА, студентка гр.ЭПб-121 (КузГТУ)
Научный руководитель: С.Г. ФИЛИМОНОВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Основоположник космонавтики К.Э. Циолковский впервые в 1911 г. высказал мысль, что с помощью электричества можно придавать громадную скорость частицам, выбрасываемым из реактивного прибора. Позже класс двигателей, основанных на этом принципе, стали называть электрическими ракетными двигателями . Однако до сих пор не существует общепринятого и вполне однозначного определения ЭРД.[1]

В Физическом энциклопедическом словаре ЭРД – это ракетный двигатель, в котором рабочим телом служит ионизированный газ (плазма), ускоряемый преимущественно электромагнитными полями.

Наиболее логично электрическими ракетными двигателями называть двигатели, в которых для разгона рабочего тела используется электрическая энергия, причем источник энергии может находиться как на борту космического аппарата (КА), так и вне его. В последнем случае энергия либо непосредственно подводится к ускоряющей системе от внешнего источника, либо передается на КА с помощью сфокусированного пучка электромагнитного излучения.

Классификация ЭРД не устоялась, однако в русскоязычной литературе обычно принято классифицировать ЭРД по преобладающему механизму ускорения частиц. Различают следующие типы двигателей:

– электротермические ракетные двигатели (ЭТД);
– электростатические двигатели (ИД, СПД);
– сильноточные (электромагнитные, магнитодинамические) двигатели;
– импульсные двигатели.

В качестве рабочего тела в ЭРД могут применяться любые жидкости и газы, а также их смеси. Тем не менее, для каждого типа двигателей существуют рабочие тела, применение которых позволяет достигнуть наилучших результатов. Для ЭТД традиционно используется аммиак, для электростатических – ксенон, для сильноточных – литий, для импульсных – фторопласт [2].

Возможность использования электричества при создании двигателей для космических аппаратов рассматривалась еще в первом десятилетии XX в.

Концепция плазменных электрореактивных двигателей независимо разрабатывалась в СССР. С середины 1970-х гг. советские инженеры использовали такие двигатели для обеспечения ориентации и стабилизации геостационарной орбиты телекоммуникационных спутников, поскольку они расходуют малое количество рабочего вещества.

Достоинства плазменных двигателей особенно впечатляют в сравнении с недостатками обычных ракетных двигателей. Когда люди представляют себе стремящийся сквозь черную пустоту к далекой планете космический корабль, перед их мысленным взором возникает длинный факел пламени из сопла двигателей. На деле все выглядит совершенно иначе: почти все топливо расходуется в первые минуты полета, так что дальше корабль движется к своей цели по инерции. Ракетные двигатели на химическом топливе поднимают космические аппараты с поверхности Земли и позволяют корректировать траекторию в ходе полета. Но для исследования дальнего космоса они непригодны, поскольку для них требуется такое большое количество топлива, поднять которое с Земли на орбиту практичным и экономически приемлемым способом не представляется возможным [3].

Почему же до сих пор не был предложен способ отправить в космос достаточное количество топлива? Что препятствует решению данной проблемы?

Попробуем разобраться. Для объяснения используем основное уравнение движения ракеты – формулу Циолковского, которую специалисты применяют при расчете массы топлива, необходимой для данной задачи. Вывел ее в 1903 г. русский ученый К.Э. Циолковский, один из отцов ракетной техники и космонавтики.

По сути, данная формула математически описывает тот интуитивно осознаваемый факт, что чем выше скорость истечения продуктов сгорания из ракеты, тем меньше топлива нужно для осуществления данного маневра.

Более конкретно: формула связывает массу топлива, необходимую ракете для выполнения конкретной задачи в дальнем космосе, с двумя ключевыми величинами: скоростью истечения продуктов сгорания из сопла ракеты и значением dV, достижимым в результате сжигания данного количества топлива.

В электрическом двигателе электрическая энергия (от солнечных батарей или ядерного реактора) используется для разгона рабочего ракетного вещества (ракетного топлива), чтобы оно имело намного более высокие скорости истечения (Ve) чем те, что доступны в результате химических реакций. В итоге сокращается топливная потребность для данного изменения скорости космического корабля (VS/C).

Обратите внимание, что корабль с электрическим двигателем должен нести источник электропитания, чтобы обеспечить энергию для ракетного

топлива; в противоположность у химического движителя энергия заключена в собственной массе ракетного топлива. Таким образом, полная энергоемкость h топлива такой ракеты равняется энергии извлекаемой из топлива энергоустановки, деленной на суммарную массу этого топлива и ракетного топлива (рабочего ракетного вещества).

Естественно КПД такого двигателя ниже обычных химических ракет, но в пределах солнечной системы, когда основная часть электроэнергии может быть получена из солнечных батарей, они выигрывают у химических ракет в отношении полезной массы к массе топлива.

Плазменные двигатели позволяют получить гораздо более высокие скорости истечения. Тяга создается за счет ускорения плазмы – частично или полностью ионизированного газа – до скоростей, существенно превышающих предельные для обычных газодинамических двигателей. Плазма создается посредством сообщения газу энергии, например при облучении его лазером, микро- или радиочастотными волнами, либо с помощью сильных электрических полей.

Поскольку плазма содержит заряженные частицы, движение которых в большой степени определяется электрическим и магнитным полями, воздействие на нее электрическим или электромагнитным полями способно ускорять ее компоненты и выбрасывать их в качестве рабочего вещества для создания тяги. Необходимые поля можно создавать с помощью электродов и магнитов, используя внешние антенны или проволочные катушки, либо путем пропускания тока через плазму.

До уровня практического применения разработаны три типа электроракетных двигателей: ионный, холловский и магнитоплазмодинамический. Шире всего применяется ионный двигатель.

Ионные двигатели с решеткой начали эксплуатироваться в 1960 году в NASA LeRC. Обладая высоким КПД (50-75 %) и большим удельным импульсом (2 500 –10 000 с), они предлагали значительное увеличение в полезной нагрузке, времени эксплуатации и уменьшали стоимость оборудования.

В наиболее распространенном варианте такой двигатель получает энергию от панелей фотоэлементов с запорным слоем. Он представляет собой короткий цилиндр размерами немного больше ведра, установленный в кормовой части космического аппарата. Из «топливного» бака в него подается газообразный ксенон, который поступает в ионизационную камеру, где электромагнитное поле отрывает от атомов ксенона электроны, создавая плазму. Ее положительные ионы вытягиваются и разгоняются до очень высоких скоростей электрическим полем между двумя сетчатыми электродами. Каждый положительный ион плазмы испытывает сильное притяжение к отрицательному электроду, расположенному в задней части двигателя, и поэтому ускоряется в направлении назад [3].

Истечение положительных ионов создает на космическом аппарате отрицательный заряд, который по мере накопления будет притягивать вылетевшие ионы обратно к аппарату, сводя тягу к нулю. Чтобы это предотвратить, используют внешний источник электронов (отрицательный электрод или электронную пушку), вводящий электроны в поток истекающих ионов. Таким образом обеспечивается нейтрализация истекающего потока, в результате чего космический аппарат остается электрически нейтральным [4].

Сегодня коммерческие космические аппараты (в основном – спутники связи на геостационарных орбитах) оснащены десятками ионных двигателей, которые используются для коррекции их положения на орбите и ориентации.

Ионный, холловский и магнитоплазмодинамический – три типа плазменных двигателей, уже нашедших практическое применение. За последние десятилетия исследователями предложено много перспективных вариантов. Разрабатываются двигатели, работающие в импульсном и в непрерывном режиме. Различаются и механизмы ускорения плазмы: с использованием силы Лоренца, путем введения плазмы в создаваемые магнитным способом токовые слои, или с помощью бегущей электромагнитной волны. Предполагается даже выбрасывать плазму через невидимые «ракетные сопла», создаваемые с помощью магнитных полей [3].

Во всех случаях плазменные ракетные двигатели набирают скорость медленнее обычных. Тем не менее, благодаря парадоксу «чем медленнее, тем быстрее» они позволяют достичь далеких целей в более короткий срок, так как в итоге разгоняют космический аппарат до скорости значительно большей, чем двигатели на химическом топливе при той же массе топлива. Это позволяет избежать траты времени на отклонения к телам, обеспечивающим эффект гравитационной рогатки. Как в знаменитой истории о медлительной черепахе, которая в итоге обгоняет зайца, в «марафонских» полетах, которых в грядущую эру исследования дальнего космоса будет совершаться все больше, черепаха победит [3].

Список литературы:

1. Циолковский К.Э. К 150-летию со дня рождения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.astrogalaxy.ru/720.html

2. Электрические ракетные двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://konvenat.ru/index.php?catid=9&id=87:elektricheskij-raketnye-dvigateli-erd&Itemid=273&option=com_content&view=article.

3. Чуэйри, Э. Новый рассвет электрических ракет / Э. Чуэйри. [Электронный ресурс]: http://go2starss.narod.ru/pub/E025_ID.html

4. Физика и астрономия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://referat911.ru/Fizika/fizika-i-astronomiya/168217-2242557-place1.html.