

Библиографический список

1. Ализар Анатолий Российский октакоптер на водороде установил мировой рекорд по длительности полета: 3 часа 10 минут [Электронный ресурс] / Анатолий Ализар // Geektimes; URL: <https://geektimes.ru/post/274755/> (дата обращения: 31.03.2018) – 22.04.2016.
2. Полов Марк Первый водородный [Текст] / Марк Полов // Облако; М: - 2017, №2 (03); - 22с.
3. Аникина В.Д. Разработка высокотемпературного реактора в составе заправочного комплекса для обеспечения работы беспилотных летательных аппаратов. / В.Д. Аникина // ВКР; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017. – 75с.
4. Аникина В.Д., Савченко Г.Б. Алгоритм проектирования установки получения водородсодержащего газа, как топлива летательных аппаратов. // Материалы X Всеросс. студ.науч.-технич. школы-семинара «Аэрокосмическая декада», М.: «Доброе слово», - 2017.
5. Патент №2523824 РФ С01В 3/32 В01J 19/26 Устройство для получения синтез-газа / Филимонов Ю.Н., Анискевич Ю.В. и др., патентообладатель ООО «ВТР» - заявл. № 2012130048/05, 06.07.2012, опубл. 27.07.2014, бюл. № 21.
6. Аникина В.Д., Савченко Г.Б. Результаты анализа алгоритма проектирования установки получения водородсодержащего газа для топливных элементов. // Материалы III Общероссийской МНТК «Старт-2017» / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017.

УДК 62-1/9

ПЛАЗМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ VASIMR

Е. М. Афанасьева, В. М. Романов, М. М. Соловейчик, Г. Е. Чернов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

В зависимости от способа преобразования электрической энергии в кинетическую энергию реактивной струи различают электротермические, ионные и плазменные электрические ракетные двигатели.

Принцип работы ионного двигателя основан на создании реактивной тяги на базе ионизированного газа, разогнанного до высоких скоростей в электрическом поле. Рабочим телом обычно является ионизированный инертный газ (аргон, ксенон и т. п.). При этом, благодаря высокому отношению заряда к массе, становится возможным разогнать ионы до очень высоких скоростей (вплоть до 210 км/с по сравнению с 3—4,5 км/с у химических ракетных двигателей). Таким образом, в ионном двигателе можно достичь очень большого удельного импульса. Это позволяет значительно уменьшить расход реактивной массы ионизированного газа по сравнению с расходом реактивной массы в химических ракетах, но требует больших затрат энергии. В существующих реализациях ионного двигателя в качестве источника энергии используются солнечные батареи. Достоинством этого типа двигателей является малый расход топлива и продолжительное время функционирования (максимальный срок непрерывной работы самых современных образцов ионных двигателей составляет более трёх лет). Недостаток двигателя — очень слабая тяга, оттого нет возможности использовать ионный двигатель для старта с планеты, но, с другой стороны, в условиях невесомости, при достаточно долгой работе двигателя, есть возможность разогнать космический аппарат до скоростей, недоступных сейчас никаким другим из существующих видов двигателей. Сфера применения ионных двигателей: управление ориентацией и положением на орбите искусственных спутников Земли (некоторые спутники оснащены десятками маломощных ионных двигателей) и использование в качестве главного тягового двигателя небольших автоматических космических станций. Так же в настоящее время наиболее широкое распространение плазменных двигателей — в качестве двигателей для поддержания точек стояния геостационарных спутников связи.

Плазменные двигатели различной конструкции строились и тестировались, начиная с 60-х годов, однако на начало 21 века существует лишь один проект плазменного двигателя - VASIMR, который реализуется на коммерческой основе. Этот двигатель пока что прошел лишь стендовые испытания и является намного производительнее своих предшественников. Другие типы плазменных двигателей, в частности СПД и ДАС (двигатели с анодным слоем - наличие анода приводит к возникновению пространственных неоднородностей плазмы, оказывает сильное возмущающее действие на прилегающую к нему область разряда, связанное с появлением аксиальных градиентов в протяженной области квазинейтральной плазмы, вызванных дополнительными стоками заряженных частиц на анод,

а также к возникновению слоя объемного заряда, в котором сосредоточено анодное падение (АП потенциала), очень к ним близкие, имеют совершенно другие принципы работы. Плазменные двигатели не предназначены для вывода грузов на орбиту, и могут работать только в вакууме, они создают тягу из ионизированного газа, так же называемого плазмой. Это отличает данные типы двигателей от традиционных реактивных двигателей, в которых тяга создается за счет экзотермической химической реакции между компонентами топлива. Двигателю такого типа нужно создать огромную по величине тягу, чтобы преодолеть земное притяжение. Поэтому VASIMR не подходит для подъема полезной нагрузки с поверхности планеты (в частности, Земли) на околопланетную орбиту из-за его низкого соотношения тяги к массе и может быть использован только в невесомости (например, для старта корабля с околопланетной орбиты). Он может быть использован в качестве последней ступени, уменьшая потребность в топливе для транспортировки в космосе, или в качестве разгонного блока. Аппарат, оснащенный таким двигателем, постоянно понемногу набирает скорость, что делает его гораздо быстрее, чем аппараты с реактивными двигателями. Плазменный двигатель нового поколения VASIMR, что является сокращением от «Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket» - это новый тип электродвигателей, разрабатываемый американской компанией «Ad Astra», который имеет ряд особых преимуществ. Он, как и подобает всем космическим двигателям, использует реактивную тягу. Однако в данном двигателе такие нейтральные газы как аргон, ксенон или водород поступают в специальную камеру, в которой имеются радиочастотный генератор и сверхпроводниковые магниты, которые, в свою очередь, создают мощное магнитное поле. В этих камерах холодный газ превращается в разогретую до температуры в миллионы градусов плазму. Магнитное поле и радиоизлучатель воздействуют на заряженные ионы газа, заставляя их двигаться с определённой частотой, а с помощью радиоволн эти ионы вступают в резонанс с движением ионов плазмы. С помощью этого можно получать все больше и больше новой энергии. Магнитное сопло ракеты создает из плазмы направленный поток, что и толкает летательный аппарат. В августе 2008 г. Тим Гловер, директор по развитию фирмы «Ad Astra», заявил, что первым ожидаемым применением двигателя VASIMR является «заброс грузов (не людей) с низкой околоземной орбиты на низкую лунную орбиту» и будет предназначено для поддержки программы НАСА возвращения на Луну.

VASIMR использует радиоволны для ионизации и нагрева газа (аргона) и электромагнитные поля для ускорения плазмы для создания тяги. Основное преимущество такого проекта состоит в исключении эрозии электродов. Более того, так как все части VASIMR защищены магнитным полем и не приходят в прямой контакт с плазмой, потенциальная продолжительность эксплуатации двигателя, построенного по такому принципу, гораздо выше ионного двигателя.

Спецификации VX-200, являющегося прототипом двигателя VASIMR для проверки в космической среде (использовался газ аргон): потребляемая мощность – 200 кВт, тяга – 5,7 Н, скорость истечения ионов – 50 км/с, КПД – 72%, удельный импульс 5000 с.

Предполагается, что 200-мегаваттный двигатель класса VASIMR сможет осуществлять полёты с доставкой людей к Марсу всего за 39 дней, по сравнению с шестью месяцами, которые требуются космическим аппаратам с обычными ракетными двигателями. Рассмотренный нами двигатель является лишь одним из первых успешных вариантов новейшего слова в ракетостроении. Разработки ведутся по всему миру, в том числе и в России. В испытательном комплексе воронежского Конструкторского бюро химавтоматики (КБХА) уже проводятся испытания отечественного магнитоплазгодинамического двигателя РД0300 и ионного двигателя РД0310.

Сравним прототип электромагнитного плазменного двигателя VASIMR –VX-200 с двигательной установкой ВЧИД-45 (Крупногабаритный высокочастотный ионный двигатель) и СПД-140д (Стационарный плазменный двигатель), являющихся одними из последних разработок российских инженеров (в Таблице 1).

Таблица 1

	Двигательная установка ВЧИД-45 (Крупногабаритный высокочастотный ионный двигатель)	Прототип электромагнитного плазменного двигателя VASIMR –VX-200	СПД-140д (Стационарный плазменный двигатель)
Потребляемая мощность, кВт	35	200	4,8
Удельный импульс тяги, с	7000	5000	2750
Тяга, Н	0,85	5,7	0,18
0,КПД, %	78,6	72	55

Из сводной таблицы видно, что тяга у VASMIR в разы больше, чем у ионного и плазменного двигателей последнего поколения. Такой мощный двигатель требует не менее мощного источника питания. Инженеры из «Ad Astra» предлагают пару вариантов решения данной проблемы:

1. Солнечная энергия. Она может быть эффективно использована в околоорбитных миссиях, таких, как дозаправка в космосе, компенсация сопротивления космических станций и доставка грузов на лунную орбиту. Но мощностей, вырабатываемых солнечными панелями, недостаточно для того, чтобы отправить человека гораздо дальше.

2. Ядерная энергия. Инженеры усердно трудятся над тем, чтобы двигатель мог использовать самый эффективный на данный момент источник энергии – ядерный реактор. Он имеет высочайшее количество энергии на единицу массы, то есть обладает высокой плотностью энергии. Это делает ядро ядерного реактора самым успешным источником энергии, когда-либо созданный человеком. Однако, данная технология пока что слишком сложна. Уместить в космический аппарат ядерный реактор теоретически возможно в недалеком будущем. Это станет огромным шагом вперед для человечества на пути к покорению космоса.

Библиографический список

1. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 60 «Крупногабаритные высокочастотные ионные двигатели»
2. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 60 «Роль и место электроракетных двигателей в Российской космической программе»
3. 2000 - Современная энциклопедия
4. Plasma rocket breaks endurance record, NewScientist.com (14 августа 2007).
5. Ad Astra Rocket:// [Электронный ресурс], сайт компании Ad Astra. URL: <http://www.adastrarocket.com/aarc/VASIMR/> (дата обращения 09.02.2018)
6. Claudio Bruno, Paul A. Czysz Future Spacecraft Propulsion Systems: Enabling Technologies for Space Exploration // Springer Science & Business Media, 20 мар. 2009 г. – стр. 354
7. Ad Astra Rocket:// [Электронный ресурс] // сайт компании Ad Astra. URL: <http://www.adastrarocket.com/aarc/VASIMR/> (дата обращения 28.01.2018)
8. Ad Astra Rocket:// [Электронный ресурс] // сайт компании Ad Astra. High Power VASIMR Experiments using Deuterium, Neon and Argon. PDF: http://www.adastrarocket.com/Jared_IEPC07.pdf (дата обращения 28.01.2018)
9. Ad Astra Rocket:// [Электронный ресурс] // сайт компании Ad Astra. VASIMR Performance Measurements at Powers Exceeding 50 kW and Lunar Robotic Mission Applications. PDF: http://www.adastrarocket.com/ISGLP_JPSquire2008.pdf (дата обращения 28.01.2018)

УДК 629.7.06

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РУЛЕНИЯ ВС

И. А. Бурдейный

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

Каждый день происходят какие-то новые открытия, создаются новые технологии. Но наряду с этим есть и существенные проблемы. Одной из таких проблем стала экология. Люди ищут альтернативный вариант двигателю внутреннего сгорания, появились электромобили, солнечный