

**А. В. Чабаненко, Д. С. Часовских** – студенты кафедры инноватики и управление качеством  
**Я. А. Щеников** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ. ПУТЬ К МАРСУ

С начала 1980-х годов группа под руководством американского астронавта Франклина Чанг-Диаса ведет разработку магнитно-плазменного двигателя с переменным импульсом тяги VASIMR – Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket (см. рис.1).

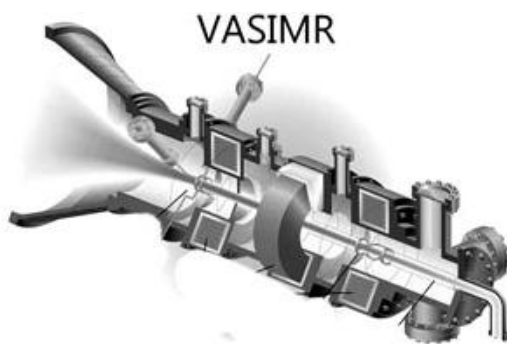


Рис. 1. Магнитно-плазменный двигатель с переменным импульсом тяги VASIMR

Этот электромагнитный плазменный ускоритель предназначен для реактивного ускорения космического аппарата и может стать в будущем основой для ракет, которые смогут совершать полёты к Марсу примерно за месяц. Двигатель VASIMR можно рассматривать как вариант безэлектродного плазменного ускорителя, отличающегося способом ускорения плазмы. Основное преимущество такого двигателя заключается в исключении проблемы эрозии электродов. Более того, все части двигателя VASIMR защищены магнитным полем и не находятся в прямом контакте с ионизированной плазмой, поэтому его надёжность гораздо выше популярного сейчас ионного двигателя.

Получение реактивной струи происходит в три этапа:

- превращение газа в плазму с использованием радиоволновых антенн;
- возбуждение плазмы с помощью дальнейшего нагрева в ускорителе;
- использование электромагнитов для создания магнитного сопла, которое конвертирует полученную тепловую энергию плазмы в кинетическую энергию реактивной струи.

VASIMR использует две радиоантенны для ионизации и разогрева газов, например аргона, и ускорения реактивной струи с помощью силовых линий магнитного поля. В отличие от обычных химических ракетных двигателей VASIMR развивает меньшую тягу. По сравнению с распространенными ионными ракетными двигателями он должен обладать довольно большим удельным импульсом – до 30000 сек. – и скоростью истечения реактивной струи до 300 км/с. Нижний предел этого диапазона сопоставим с некоторыми существующими концепциями ионных двигателей, например проектом NASA «Прометей», для которого разрабатывается мощный ионный двигатель, питающийся электричеством от бортового ядерного реактора. По расчётам 8 таких двигателей смогут разогнать космический аппарат до 90 км/с, что наглядно показывает что проект VASIMR намного мощнее и перспективнее [1, 2].

У двигателя можно регулировать тягу, он конструктивно прост, компактен, генерирует очень высокие уровни энергии. Благодаря этому VASIMR может обеспечить в десятки раз большую тягу, чем ионный двигатель, при условии наличия подходящего источника электроэнергии. VASIMR также может непрерывно работать в течение нескольких дней или недель, потребляя мало топлива, что позволяет разогнать корабль до больших скоростей, а затем затормозить его. Это сокращает продолжительность полёта на Марс почти в пять раз.

Однако у двигателя есть и серьезные недостатки. Прежде всего, это не очень большая полезная нагрузка, поскольку малый импульс двигателя медленно разгоняет массивный корабль. Чем тяжелее корабль – тем дольше полёт. Снять вопрос массы можно заранее разместив на орбите Марса беспилотные грузовые корабли, оборудованные стыковочными узлами, которые смогут обеспечить экипаж всем необходимым для выполнения миссии. Двигатель также способен использовать более высокие уровни энергии (мегаватты) по сравнению с существующими концепциями ионных двигателей. Поэтому VASIMR может обеспечить в десятки раз большую тягу, при условии наличия подходящего источника энергии [2, 3].

VASIMR не подходит для запуска с поверхности Земли из-за низкого соотношения тяги к массе, он может быть использован только в невесомости. Он может быть использован в качестве последней ступени, сокращая потребность в топливе для транспортировки грузов в космосе. Предполагается, что двигатель будет способен не только обеспечивать доставку грузов на лунную орбиту, но и выполнять транспортировку грузов с высокими скоростями для дальних космических исследовательских экспедиций.

Основным разработчиком электроплазменных магнитных ускорителей является «Ad Astra Rocket Company Rocket Company». Последняя модель двигателя, VF-200, должна быть установлена на МКС. Двигатель будет иметь системную эффективность 60...65 % и уровень тяги 5 Н. Оптимальный удельный импульс предполагается на уровне 5000 с использованием в качестве рабочего тела аргона. Удельная мощность оценивается в 1 кг/кВт, что означает, что вес данной версии VASIMR будет составлять всего 300 кг [4]. При разработке существовало несколько проблем, одна из которых заключалась в том, будет или не будет горячая плазма находится на расстоянии от двигателя. Другой проблемой являлось управление выделяемым теплом при работе и решение этой проблемы критически важно для продолжительного функционирования двигателя VASIMR. Однако компании удалось успешно решить эти проблемы и провести испытание плазменного двигателя в 2009 году.

Недавно компания провела первые испытания плазменного двигателя VX-200 на сверхпроводящих магнитах. Предыдущие испытания, с обычным магнитом, которые проводились осенью 2008 года, позволили доказать работоспособность двигателя. Использование сверхпроводящего аналога позволило увеличить мощность VX-200 примерно в 10 раз.



Рис. 2. Испытания плазменного двигателя VX-200 на сверхпроводящих магнитах

Разработчики планируют провести испытания прототипа-демонстратора VASIMR в условиях космического полета. «Ad Astra Rocket Company Rocket Company» заключила контракт с NASA на определение расположения и испытание полетной версии VASIMR VF-200 на МКС.

В будущем VASIMR так же будет пригоден для транспортировки грузов. Космический буксир, ускоряемый одним VF-200, был бы способен переместить 7 т груза с низкой земной орбиты на низкую лунную орбиту примерно за шесть месяцев полета. Время полета буксира может быть сокращено за счёт полета с меньшим грузом или если использовать больше аргона в двигателях с большим расходом топлива (при меньшем удельном импульсе). Например, пустой буксир при возвращении к Земле должен покрывать это расстояние за 23 дня при оптимальном удельном импульсе 5000 с или за 14 дней при удельном импульсе 3000 с. Важным достоинством двигателя является возможность

изменять или модулировать истечение плазмы для поддержания оптимальной двигательной эффективности. Сокращение длительности полёта позволит снизить воздействие космического излучения на космонавтов. Предполагается что 10...20-мегаваттный двигатель класса VASIMR сможет осуществлять миссии по доставке людей к Марсу всего за 39 дней, по сравнению с шестью месяцами, которые требуются традиционным ракетам.

Для работы VASIMR потребуется система, способная обеспечивать его около 12 МВт электроэнергии. Космический корабль с двигателем VASIMR в течение 30 дней будет по спирали подниматься с низкой орбиты на высокую, 85 дней ускоряться, а затем - тормозиться на пути к Марсу. Таким образом, путешествие к Марсу займет в два раза меньше времени, чем при использовании традиционных жидкостных ракетных двигателей.

Перспективы создания компактного реактора весьма хорошие. В 2003 году студенты Массачусетского технологического института предложили проект компактного солевого ядерного реактора на быстрых нейтронах с альфой менее 3 кг/кВт. Их проектный образец имеет мощность 4 МВт, вес ядра – всего 185 кг, а размеры – 20X20X20 см. Еще один интересный вариант – это представленный в начале 2010 года проект миниреактора компании Nuclеar, масштабное производство которого начнется в 2013 году. Это компактный реактор размером 1,5х2,5 метра, мощностью 25МВт и альфой 2 кг/кВт.

Также весьма перспективны для космоса ториевые реакторы Карло Руббиа. В них ядерная реакция запускается при помощи ускорителя частиц, что делает реактор компактным, абсолютно безопасным и не требующим тяжелого экранирования. Широкое внедрение этой технологии «запланировано» на 2025 – 2030 годы.

#### **Библиографический список**

1. Дмитриев А.С., Кошелев В.А. «Космические двигатели будущего»
2. Горн М. «НАСА. Полная иллюстрированная история» ISBN 978-5-699-45645-1; 2010 г.
3. В. И. Левантовский. «Транспортные космические системы. » — М.; Знание, 1999 г.
4. Исаев А.М. – «Первые шаги к космическим двигателям» - 1985 г.