

УДК 537.525.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ЦИКЛИЧЕСКОГО УСКОРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ИНЕРТНОГО ГАЗА

© Грабовский И.И., Гурьянов А.И.

e-mail: GOLD_MAN32@.ru

*Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, Российская Федерация*

Орбита Земли заполнена множеством космических аппаратов (КА) самого разного назначения. Поддержание крупной орбитальной группировки требует значительных затрат топлива и высокого ресурса работы двигателя. Однако, существующие двигатели коррекции только частично обеспечивают эти потребности. Так, у стационарных плазменных двигателей (СПД) при высокой скорости истечения рабочего тела порядка 50000 м/с низкие показатели тяги около 85 мН, что делает бесполезной всю экономию топлива от высокой скорости истечения. Термокаталитические двигатели (ТКД) при значительно больших показателях тяги (от 1 до 7 Н) имеют низкую скорость истечения и низкую энергоэффективность вследствие дополнительного нагрева рабочего тела. Ионные двигатели при сохранении достоинств СПД и ТКД потребляют киловатты мощности, а также сложны в производстве. Продолжительность активного функционирования КА зависит не только от количества топлива, но и от срока работы самого двигателя, то есть от его ресурса. Ресурс для всех перечисленных двигателей составляет от 3 до 10 лет. Лимитирующим фактором роста ресурса для всех типов электрических ракетных двигателей (ЭРД) является электрокоррозия рабочих поверхностей (камеры) двигателя, приводящая к его разрушению [1 – 3].

Исследования показали, что отмеченные проблемы – это следствие исчерпавшей себя принципиальной конструкции ЭРД. Поэтому разработана модель плазменного двигателя, основанного на циклическом ускорении тяжелых ионов газа. Циклическое ускорение тяжелых ионов позволяет разгонять пучки частиц газа, такого как Ксенон, до высоких скоростей без увеличения энергетических затрат, так как ускорение происходит за счет многократного прохождения пучка через ускоряющий участок по спиральной траектории в постоянном магнитном поле. Это приводит к увеличению удельного импульса и как следствие, при равных показателях тяги предлагаемого двигателя и его аналогов, необходимый запас топлива уменьшен (в 2 раза как показывают эксперименты). В рабочей камере ускорителя установлены – дуанты. В узком промежутке между дуантами, где происходит ускорение, находится источник ионов – трубка с отверстием в центре и двумя приточно-вытяжными каналами для газа. В верхнем и нижнем основании трубки расположены электроды – они ионизируют газ в камере. Так как, ионизация газа происходит на малой площади электрода, (фактически площадь вырождается в точку) то электрокоррозия минимальна, что обеспечивает долгий срок эксплуатации двигателя. Дуанты подключаются к резонатору – устройству изменения полярности напряжения. От частоты резонатора зависит количество испускаемых пучков в единицу времени, а от модуля напряженности электрического поля и силы магнитного поля предельный радиус орбиты пучков газа в камере. На предельном радиусе орбиты движения пучка тяжелых ионов закреплен электростатический дефлектор – отражатель ионов в сторону канала выхода из камеры на сопло. Таким образом, взаимодействия частиц рабочего тела с поверхностью

двигателя практически нет, большую часть времени импульса пучок ионов проходит, находясь в магнитном поле. В рабочей камере одновременно ускоряется только 1 пучок частиц [4 – 5].

Для качественных и количественных оценок предложенной модели плазменного двигателя с циклическим ускорением тяжелых ионов разработан испытательный стенд (см. рис.). Целью, которого является поиск зависимостей и определение интегральных параметров двигателя.

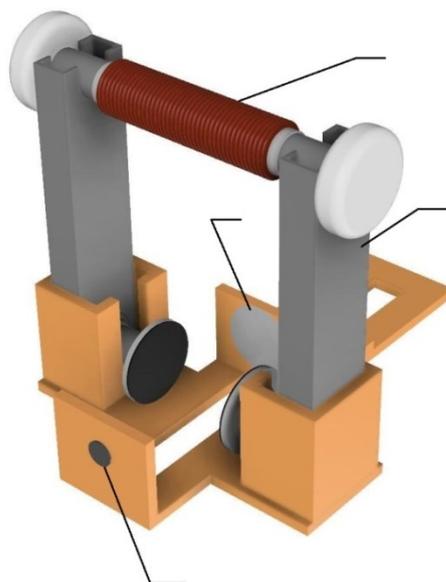


Рис. Модель испытательного стенда

Испытательный стенд устанавливает зависимость предельного радиуса орбиты от частоты резонатора, величины постоянного магнитного и переменного электрического поля. Стенд состоит из: 1 - стока (тонкого электрода), 2 - мишени (широкого электрода), закрепленной на бегунке в форме уголка, 3 - магнитопровода, выполненного в виде сердечника броневого типа с разомкнутой магнитной цепью на внешнюю часть которого намотан 4 - медный провод.

Предложена модель и конструкция плазменного двигателя с циклическим ускорением тяжелых ионов инертного газа. Результаты исследований показали, что наибольший удельный импульс плазменного двигателя порядка 4000 с возможен при сохранении габаритов двигателя (300×400×160 мм), трех ускоряющих витках, частоте резонатора 1 МГц и напряженности электрического поля 45 кВ.

Библиографический список

1. Aldonin F.I., Akhmetzhanov R. V. Calculation of the main characteristics of the 20 - 30 W ionic engine, Works MAI, M., release No. 81, 2015 of page 96 - 102.
2. Goebel D.M., Katz I. Fundamentals of electric propulsion: Ion and hall thrusters. JPL Space science and technology series, California, USA, 2008.
3. Filonin O. V. Magnetic-induction ejectors for start micro and nanosatellites.//Saturday works "5-th International scientific conference ORT Publishing "European Applied Sciences" 2013, Stuttgart, Germany, P. 88 - 90.
4. J.J. Yang et al., Numerical study of beam dynamics in high intensity cyclotrons including neighboring bunch effects, in: Proc. HB2008 (Nashville, USA, 2008) 2008, p. 178.
5. V.L. Smirnov, Computer modeling of a compact isochronous cyclotron, Phys. Part. Nucl. 46 (2015) 940–955.