



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F03H 1/0012 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018141976, 28.11.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.11.2018

Дата регистрации:
22.10.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2018

(45) Опубликовано: 22.10.2019 Бюл. № 30

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦИС, для Майоровой
В.И. (МКЦ)

(72) Автор(ы):

Шумейко Андрей Иванович (RU),
Телех Виктор Дмитриевич (RU),
Майорова Вера Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: CN 102797656 A, 30.09.2009. RU
2445510 C2, 20.03.2012. US 2015210406 A1,
30.07.2015. WO 2015031450 A1, 05.03.2015.

(54) Двигатель на забортном воздухе с геликонным источником плазмы для поддержания малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите

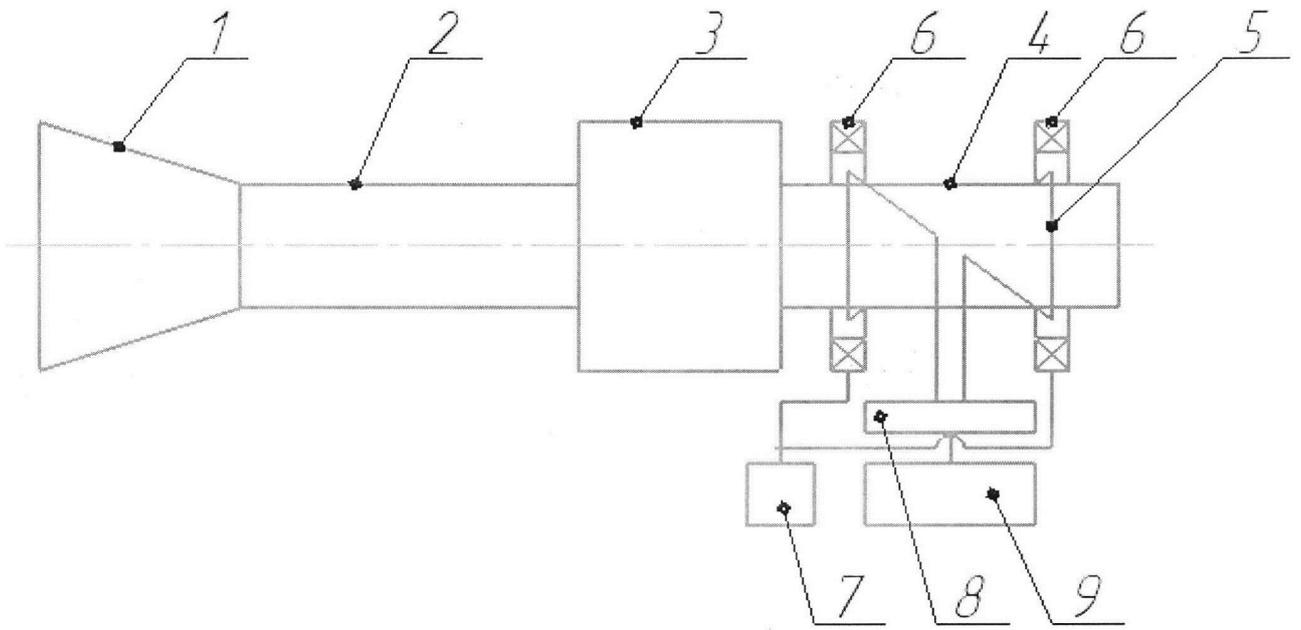
(57) Реферат:

Изобретение относится к космической технике, в частности к электроракетным двигательным установкам, в частности к электрическим ракетным двигателям (ЭРД) с геликонным источником плазмы, использующим в качестве рабочего тела забортную атмосферу, предназначенным, главным образом, для установки на малых летательных аппаратах. Двигатель на забортном воздухе с геликонным источником плазмы содержит термостабилизирующий канал и ресивер в двигательном тракте, а также устройство согласования нагрузки и ВЧ-генератора на линии электрической связи антенны и ВЧ-генератора.

Наличие термостабилизирующего канала в двигательном тракте позволяет замедлять частицы забортной атмосферы, собранные устройством сбора забортного воздуха, что приводит к увеличению количества частиц, ионизированных в канале, и, как следствие, к увеличению тяги и удельного импульса. Ресивер накапливает частицы собранной забортной атмосферы и позволяет равномерно подавать их в газоразрядную камеру. Устройство согласования нагрузки и ВЧ-генератора позволяет минимизировать потери ВЧ-мощности на линии электрической связи антенна - ВЧ-генератор. 3 з.п. ф-лы. 1 ил., 2 табл.

RU 2 703 854 C1

RU 2 703 854 C1



Фиг. 1

RU 2703854 C1

RU 2703854 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F03H 1/0012 (2019.05)

(21)(22) Application: **2018141976, 28.11.2018**

(24) Effective date for property rights:
28.11.2018

Registration date:
22.10.2019

Priority:

(22) Date of filing: **28.11.2018**

(45) Date of publication: **22.10.2019 Bull. № 30**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGTU im. N.E. Baumana, TSIS, dlya Majorovoj
V.I. (MKTS)**

(72) Inventor(s):

**Shumejko Andrej Ivanovich (RU),
Telekh Viktor Dmitrievich (RU),
Majorova Vera Ivanovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **ENGINE AT OUTBOARD AIR WITH A HELICON PLASMA SOURCE FOR SUPPORTING SMALL SPACECRAFTS IN LOW EARTH ORBIT**

(57) Abstract:

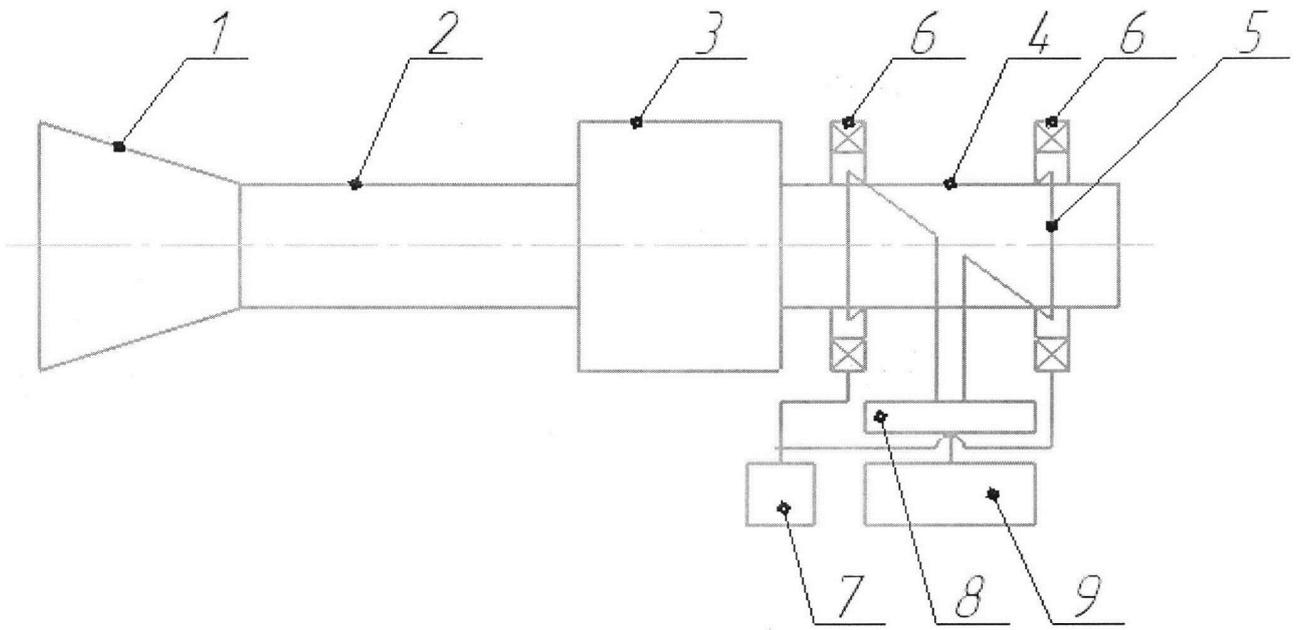
FIELD: astronautics.

SUBSTANCE: invention relates to space engineering, in particular to electric rocket engines, in particular, to electric rocket engines (ERE) with a helicon plasma source, which uses a outboard atmosphere as a working medium, intended mainly for installation on small aircrafts. Engine on the outboard air with a helicon plasma source comprises a thermal stabilizing channel and a receiver in the motor path, as well as a load matching device and a HF generator on the antenna and HF generator electric communication line. Presence of thermo-stabilizing channel in engine path allows to slow down the particles of outboard

atmosphere collected by the device for collection of outboard air, which leads to increase in the number of particles ionized in the channel, and, consequently, to increase in thrust and specific impulse. Receiver accumulates particles of collected outboard atmosphere and allows uniform supply of said particles into gas-discharge chamber.

EFFECT: device for matching load and HF-generator allows minimizing losses of high-frequency power on line of electric communication antenna – high-frequency generator.

4 cl, 1 dwg, 2 tbl



Фиг. 1

RU 2703854 C1

RU 2703854 C1

Область техники

Изобретение относится к космической технике, в частности к электроракетным двигательным установкам, в частности к электрическим ракетным двигателям (ЭРД) с геликонным источником плазмы, использующим в качестве рабочего тела - забортную атмосферу, предназначенных, главным образом, для установки на малых летательных космических аппаратах (КА) для компенсации сил аэродинамического сопротивления на низкой околоземной орбите с высотой до 200 км.

Уровень техники

Известен аналог - изобретение Air breathing electrically powered hall effect thruster (патент США US 6834492 B2, опубликован 28.12.2004). Изобретение относится к электроракетным двигательным установкам, в частности, ЭРД Холловского типа. Изобретение включает: двигательный тракт, состоящий из воздухозаборника, сопла и газоразрядной зоны, расположенной между вышеупомянутыми воздухозаборником и соплом; электрическую цепь, состоящую из катода для электронной эмиссии и анода, находящегося в вышеупомянутой газоразрядной зоне; магнитную систему, создающую радиальное магнитное поле в вышеупомянутой газоразрядной зоне поперек нее между анодом и соплом; сетку в воздухозаборнике для отталкивания электронов, эмитированных катодом.

Недостатком является то, что воздухозаборник соединен с газоразрядной зоной двигательного тракта напрямую, без промежуточных частей: термостабилизирующего канала и ресивера (полости для накопления собранной забортной атмосферы и ее подачи в газоразрядную камеру). Отсутствие термостабилизирующего канала приводит к тому, что частицы забортной атмосферы, собранные воздухозаборником, будут пролетать двигательный тракт (воздухозаборник, газоразрядную зону, сопло) насквозь, не ионизируясь и не ускоряясь, так как скорость частиц забортной атмосферы очень высокая для того, чтобы они успели ионизироваться в газоразрядной зоне и, как следствие, не могут ускориться электромагнитным полем при вылете из сопла двигателя. Это в свою очередь приведет к уменьшению величины удельного импульса и, при постоянной вводимой в плазму мощности, уменьшению величины тяги двигателя. Отсутствие ресивера приводит к тому, что количество частиц забортной атмосферы, собранных воздухозаборником, попадающих в газоразрядную зону, будет неравномерным в зависимости от плотности забортной атмосферы. Это в свою очередь приведет к тому, что характеристики двигателя, такие как тяга и удельный импульс, будут зависеть от количества собранных частиц забортной атмосферы воздухозаборником при постоянной вводимой в плазму в газоразрядной зоне мощности.

Известен другой аналог - изобретение Air-breathing electrostatic ion thruster (патент США US 7581380 B2, опубликован 01.09.2009). Изобретение относится к электроракетным двигательным установкам, в частности, ионным двигателям. Устройство включает: корпус, имеющий передний конец, задний конец и электрически проводящую внутреннюю поверхность, причем указанная внутренняя поверхность образует ионизационную камеру в указанном корпусе, причем ионизационная камера имеет вход на указанном переднем конце для приема газа и выпускного отверстия на указанном заднем конце для деионизации заряженных ионов; передний сетчатый на указанном входе, причем указанный передний сетчатый электрод сконфигурирован так, чтобы позволить вышеупомянутому принимаемому газу проходить через него в ионизационную камеру; внутренний электрод, расположенный в указанной ионизационной камере, причем указанный внутренний электрод выполнен с возможностью ионизации указанного газа в ионизационной камере, чтобы образовать

множество заряженных ионов; задний сетчатый электрод в области выпускного отверстия; ускорительный электрод в области выпускного отверстия до упомянутого заднего сетчатого электрода, упомянутый заднего сетчатого электрода и упомянутый ускорительный электрод выровнены, чтобы позволить заряженным ионам проходить
5 через указанное выпускное отверстие для генерирования тяги; источник электрической энергии, электрически соединенный с указанной внутренней поверхностью, упомянутым передним сетчатым электродом и упомянутым задним сетчатым электродом, чтобы обеспечить протекание тока первого контура и электрически соединенный с указанным внутренним электродом и ускорительным электродом, чтобы обеспечить протекание
10 тока второго контура.

Недостатком является то, собранный заборный воздух поступает в ионизационную зону, двигателя напрямую, без промежуточных частей: термостабилизирующего канала и ресивера (полости для накопления собранной заборной атмосферы и ее подачи в газоразрядную камеру). Отсутствие термостабилизирующего канала приводит к тому,
15 что собранные частицы заборной атмосферы будут пролетать ионизационную камеру и сетчатые электроды насквозь, не ионизируясь и не ускоряясь, так как скорость частиц заборной атмосферы очень высокая для того, чтобы они успели ионизироваться в ионизационной камере и, как следствие, чтобы ускориться электростатическим полем на выходе из двигателя. Это в свою очередь приведет к уменьшению величины удельного
20 импульса и, при постоянной вводимой в плазму мощности, к уменьшению величины тяги двигателя. Отсутствие ресивера приводит к тому, что количество собранных частиц заборной атмосферы, попадающих в ионизационную камеру, будет неравномерным в зависимости от плотности заборной атмосферы. Это в свою очередь приведет к тому, что характеристики двигателя, такие как тяга и удельный импульс, будут зависеть
25 от количества собранных частиц заборной атмосферы при постоянной вводимой в плазму в ионизационной камере мощности.

Известен ближайший аналог (прототип) - изобретение Air breathing type helicon wave electric propulsion device (патент CN 102797656 B, опубликован 13.08.2014). Изобретение относится к электроракетным двигательным установкам, использующим в качестве
30 рабочего тела - заборную атмосферу, в частности, двигателям на заборном воздухе с геликонным источником плазмы. Изобретение включает устройство сбора заборного воздуха, выполненное в виде горна, газоразрядную камеру, высокочастотную (ВЧ)-антенну, магнитную систему для создания внешнего постоянного магнитного поля, наложенного на плазменный объем, ВЧ-генератор, сопло.

Недостатком является то, что устройство сбора заборного воздуха соединено с газоразрядной камерой напрямую, без промежуточных частей: термостабилизирующего канала и ресивера (полости для накопления собранной заборной атмосферы и ее подачи в газоразрядную камеру), а также, отсутствует устройство согласования нагрузки (ВЧ-антенны и плазмы) с ВЧ-генератором. Отсутствие термостабилизирующего канала
40 приводит к тому, что частицы заборной атмосферы, собранные устройством сбора заборного воздуха, будут пролетать двигательный тракт (газоразрядную камеру и сопло) насквозь, не ионизируясь и не ускоряясь, так как скорость частиц заборной атмосферы очень высокая для того, чтобы они успели ионизироваться в газоразрядной камере и, как следствие, ускориться электромагнитным полем при вылете из сопла двигателя. Это в свою очередь приведет к уменьшению величины удельного импульса
45 и, при постоянной вводимой в плазму ВЧ-мощности, к уменьшению величины тяги двигателя. Отсутствие ресивера приводит к тому, что количество частиц заборной атмосферы, собранных устройством сбора заборного воздуха, попадающих в

газоразрядную камеру, будет неравномерным в зависимости от плотности заборной атмосферы. Это в свою очередь приведет к тому, что характеристики двигателя, такие как тяга и удельный импульс, будут зависеть от количества собранных частиц заборной атмосферы устройством сбора заборного воздуха при постоянной вводимой в плазму в газоразрядной камере ВЧ-мощности. Отсутствие устройства согласования нагрузки (ВЧ-антенны и плазмы) с ВЧ-генератором приводит к потерям ВЧ-мощности, поступающей от ВЧ-генератора к антенне и далее вводимой в плазму в газоразрядной камере. Это в свою очередь приводит к повышению генерации ВЧ-мощности в ВЧ-генераторе, которая далее подводится к ВЧ-антенне, вводится в плазму в газоразрядной камере, тем самым поддерживая в ней процессы ионизации, и далее преобразуется в тягу двигателя.

Раскрытие изобретения Задачами предлагаемого изобретения являются:

- устранение недостатков аналогов и прототипа, а именно:
- устранение зависимости во времени характеристик двигателя, таких как тяга и удельный импульс, от количества собранных частиц заборной атмосферы;
- потери ВЧ-мощности в линии электрической связи антенны и ВЧ-генератора;
- и улучшение следующих характеристик:
- повышение характеристик электроракетной двигательной установки, таких как удельный импульс и тяга;
- уменьшение требуемой для выполнения задач двигателя подводимой мощности при сохранении той же величины тяги двигателя.

Для решения задач и достижения технического результата предлагается двигатель на заборном воздухе с геликонным источником плазмы для поддержания малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите, содержащий:

- устройство сбора заборного воздуха, выполненного в виде горна или цилиндрического канала, представленного в виде отверстия во внешней части малого космического аппарата, соединенное герметично с термостабилизирующим каналом;
- термостабилизирующий канал, выполненный в виде цилиндра с тонкими стенками, герметично соединенный с устройством сбора заборного воздуха и с ресивером (прим.: в термостабилизирующем канале частицы заборной атмосферы, за счет соударений со стенками термостабилизирующего канала и друг с другом, теряют и выравнивают свою энергию, т.е. замедляются и обладают в основном почти равными скоростями, что далее позволяет ионизировать большую их часть и, таким образом, большее количество частиц внесет вклад в тягу, а также, за счет ускорения большего числа ионизированных частиц, увеличится удельный импульс);
- ресивер, выполненный в виде цилиндра с тонкими стенками с диаметром большим, чем термостабилизирующий канал и газоразрядная камера, герметично соединенный с термостабилизирующим каналом и с газоразрядной камерой, имеющий со стороны торца, где он соединен с газоразрядной камерой регулируемый клапан для напуска рабочего тела (заборной атмосферы) в газоразрядную камеру (прим.: ресивер позволяет равномерно подавать определенный расход рабочего тела (заборная атмосфера) в газоразрядную камеру, т.е. количество частиц в единицу времени собранное устройством сбора заборного воздуха не будет влиять на количество частиц в единицу времени, подаваемое в газоразрядную камеру, и тем самым, величины тяги и удельного импульса двигателя при постоянной мощности не будут зависеть от количества частиц заборной атмосферы, собранные в единицу времени);
- газоразрядную камеру, выполненную из диэлектрического материала в виде цилиндра со стенками, толщина которых может быть в разном исполнении, но такой,

чтобы на оси цилиндра был сквозной цилиндрический тракт;

- антенну для ввода мощности в плазму;

- ВЧ-генератор и устройство согласования нагрузки с ВЧ-генератором, находящегося на линии электрической связи антенны с ВЧ-генератором (прим.: устройство согласования доводит импеданс нагрузки до значений, равных импедансу ВЧ-генератора, что приводит к снижению потерь ВЧ-мощности, и, следовательно, при одном значении мощности, подводимой от ВЧ-генератора к антенне, можно получить более высокие характеристики двигателя, т.е. величины удельного импульса и тяги);

- магнитную систему с обоих торцов газоразрядной камеры, состоящую, по крайней мере, из одного постоянного магнита, выполненного в виде кольца, или состоящую, по крайней мере, из одного электромагнита и регулируемого источника питания электромагнита.

Двигатель предлагается использовать для поддержания на низкой околоземной орбите малого космического аппарата (МКА), преимущественно имеющего форму цилиндра, на продольной оси которого расположен последовательный тракт двигателя, при этом передняя часть МКА является устройством сбора забортного воздуха. В кольцевом пространстве между двигательным трактом и внешней поверхностью МКА расположены полезная нагрузка и вспомогательные системы МКА.

Перечень фигур

На фиг. 1 представлена конструктивная блок-схема предлагаемого двигателя.

Осуществление изобретения

Устройство состоит из следующих элементов с их функциями:

- устройство сбора забортного воздуха (1). Устройство сбора забортного воздуха (1) собирает частицы забортной атмосферы и направляет их по оси двигательного тракта в сторону термостабилизирующего канала (2).

- в термостабилизирующем канале (2) частицы забортной атмосферы, собранные и направленные в него устройством забортного воздуха (1), за счет соударений со стенками термостабилизирующего канала (2) или друг с другом, теряют и выравнивают свою энергию, т.е. замедляются и обладают в основном почти равными скоростями.

Таким образом, их концентрация в конце термостабилизирующего канала растет, т.к. частицы, которые прошли канал - замедлились, а частицы на входе в канал - еще очень быстрые. Такое повышение концентрации частиц забортной атмосферы в конце термостабилизирующего канала (2) не позволяет частицам забортной атмосферы пролетать насквозь двигательный тракт;

- ресивер (3) является полостью, где идет накопление собранных и термостабилизированных молекул забортной атмосферы. Диаметр отверстия в месте герметичного соединения ресивера (3) с газоразрядной камерой (4) может изменяться для того, чтобы регулировать расход молекул забортной атмосферы, поступающий в газоразрядную камеру (4), при постоянной подводимой ВЧ-мощности на антенну (5) и непостоянным по времени количеством частиц забортной атмосферы, собранных устройством сбора забортного воздуха (1), с целью поддержания неизменных величин характеристик двигателя, таких как тяга и удельный импульс;

- в газоразрядной камере (4) частицы забортной атмосферы, собранные устройством сбора забортного воздуха (1), замедленные и выравненные по скоростям в термостабилизирующем канале (2), накопленные и равномерно напускаемые из ресивера (3), ионизируются под действием волн Трайвелписа-Гоулда или косых волн Ленгмюра, т.е. под действием спирального электромагнитного поля, являющегося суперпозицией полей: постоянного внешнего магнитного, создаваемого магнитной системой, состоящей

из постоянных магнитов (6) или электромагнитов (6) и по крайней мере одного источника питания (7) электромагнитов (6); электромагнитного поля, создаваемого антенной (5), при подаче на нее ВЧ-мощности через согласующее устройство (8) от ВЧ-генератора (9) по линии электрической связи Антенна (5) - Согласующее устройство (8) - ВЧ-генератор (9). После ионизации молекул заборной атмосферы, т.е. получения плазмы в газоразрядной камере (4) и суперпозиции полей, создаваемых антенной (5) и магнитной системой (6) или (6) и (7), создаются условия для индуцирования в плазме геликонных волн, которые повышают концентрацию ионизированных частиц заборной атмосферы и повышают энергию электронной составляющей плазмы;

- устройства согласования (8) нагрузки (антенны (5) и плазмы в газоразрядной камере (4)) с ВЧ-генератором (9), находящегося на линии электрической связи антенны (5) с ВЧ-генератором (9) доводит импеданс нагрузки (антенны (5) и плазмы в газоразрядной камере (4)) до значений, равных импедансу ВЧ-генератора (9). Таким образом, на линии электрической связи антенны (5) с ВЧ-генератором (9) понижаются потери ВЧ-мощности.

В исследовании Европейского космического агентства (ЕКА) был сделан вывод о том, что количество рабочего тела в виде атмосферного воздуха, необходимого для электрических двигателей для космических аппаратов на высотах > 250 км очень мало. Из этого можно заключить, что целесообразно использовать заборный воздух в качестве рабочего тела для электрических ракетных двигателей только на высотах от 100 до 250 км. Устройство предлагается для использования на малых космических аппаратах для их поддержания на низкой околоземной орбите с высотой до 200 км. Такое ограничение связано с тем, что с ростом высоты плотность атмосферы уменьшается, и начиная с высоты орбиты 200 км количество собираемых частиц заборной атмосферы при разумной величине площади поперечного сечения устройства заборного воздуха для малого космического аппарата становится недостаточным для создания требуемых для поддержания на данной высоте для данного малого космического аппарата тяги и удельного импульса.

Массовый расход частиц заборной атмосферы через двигательный тракт, собранных устройством сбора заборного воздуха (1), описывается выражением:

$$\dot{m}(\rho) = \rho v S,$$

где ρ - плотность атмосферы, v - скорость малого космического аппарата на высоте h , S - площадь сечения устройства сбора заборного воздуха (1).

Плотность атмосферы ρ может меняться в зависимости от точки над поверхностью Земли, где в данный момент находится малый космический аппарат, на опорной (круговой) орбите (низкой околоземной орбите до 200 км). Такое изменение может быть вызвано несколькими факторами: неровность поверхности Земли, Солнечная активность, освещенность орбиты Солнцем в данный момент времени (локальное для данной точки орбиты в данный момент времени время суток). Так, для орбиты 200 км в различных точках величина ρ может варьироваться от $1 \cdot 10^{-10}$ до $3 \cdot 10^{-10}$ кг/м³. При скорости малого космического аппарата на орбите 200 км $v = 7,8$ км/с и площадь сечения устройства сбора заборного воздуха $S = 1$ м² такая флуктуация ρ может приводить к изменению величины $\dot{m}(\rho)$ в 3 раза в каждый данный момент времени.

Так как тяга F двигателя зависит от вводимой в плазму мощности $\dot{m}(\rho)$ следующим образом:

$$F = \sqrt{2\dot{m}(\rho)N\eta_T}.$$

то без ресивера (3), т.е. буфера, куда можно будет накапливать собранные частицы забортного воздуха и подавать их с заданным расходом рабочего тела \dot{m}_g , изменение $\dot{m}(\rho)$ может привести к изменению F в $\sqrt{3}$ раза в разные моменты времени. Таким образом, при наличии ресивера (3) тягу двигателя F можно будет сохранять на постоянном требуемом уровне. В двигательном тракте требуется ресивер, т.е. полость, в которой собранные и подготовленные частицы забортной атмосферы будут накапливаться и подаваться с заданным расходом в газоразрядную камеру. Использование ресивера в конечном итоге даст возможность рассматривать массовый расход рабочего тела \dot{m} только как функцию высоты орбиты h .

В свою очередь удельный импульс двигателя связан с тягой F и массовым расходом $\dot{m}(\rho)$ следующим образом (- коэффициент использования рабочего тела):

т.е. без ресивера (3) изменение величины $\dot{m}(\rho)$ может привести к изменению в раза.

Но при наличии ресивера (3) массовый расход $\dot{m}(\rho)$, поступающий в газоразрядную камеру (4) можно будет поддержать на заданном уровне \dot{m}_g и, тем самым, поддержать величину удельного импульса двигателя на постоянном требуемом уровне в разные моменты времени.

Собранные частицы забортной атмосферы устройством сбора забортного воздуха (1) вследствие скорости малого космического аппарата v будут обладать такой же скоростью v , которая, например, на орбите 200 км составляет 7,8 км/с. Так при длине двигательного тракта 1 м, собранные частицы забортной атмосферы устройством сбора забортного воздуха (1) будут пролетать двигательный тракт за 0,12 мс. Этого времени недостаточно для ионизации большинства из собранных частиц. Это приведет к тому, что собранные частицы будут насквозь пролетать двигательный тракт, т.е. коэффициент использования рабочего тела будет ничтожно мал, и они не будут вносить свой вклад в создание тяги F и удельного импульса. Однако при наличии в двигательном тракте термостабилизирующего канала (2) частицы будут терять свою энергию (скорость) вследствие столкновений со стенками термостабилизирующего канала (2) и между самими частицами. Это позволит уменьшить скорость собранных частиц, повысить величину коэффициента использования рабочего тела и при постоянной величине массового расхода \dot{m}_g , поступающего в газоразрядную камеру (4), повысить величины тяги F и удельного импульса.

Тяга F двигателя зависит от выходной ВЧ-мощности ВЧ-генератором (9) N_{RF} следующим образом:

$$F = \sqrt{2\dot{m}(\rho)N_{RF}\eta_m\eta_T}$$

где η_m - коэффициент передачи ВЧ-мощности от ВЧ-генератора (9) к антенне (5) и далее введенной в плазму в газоразрядной камере (4). При отсутствии устройства согласования (8) нагрузки (плазмы в газоразрядной камере (4) и антенны (5)) и ВЧ-генератора (9) ВЧ-мощность будет теряться вследствие различия их импедансов, т.е. величина η_m будет мала, и тем самым тяга F и удельный импульс будут малы. Однако при наличии устройства согласования (8) нагрузки (плазмы в газоразрядной камере (4) и антенны (5)) и ВЧ-генератора (9) их импедансы будут выравнены устройством согласования (8), т.е. при той же величине выходной ВЧ-мощности ВЧ-генератора (9) N_{RF} можно получить более высокие величины тяги F и удельного импульса, по сравнению с их величинами при отсутствии устройства согласования (8).

Пример расчета требуемой силы тяги двигателя малого КА

Требуемую тягу двигателя для поддержания малого КА на низкой околоземной орбите будем определять из условия компенсации ею силы сопротивления атмосферы, соответствующей высоте орбиты, т.е.:

5 Сила сопротивления атмосферы.

Сила сопротивления атмосферы, действующая на космический аппарата (КА), определяется следующим выражением:

где c_f - коэффициент формы КА, S - площадь сечения КА, $\rho(h)$ - плотность атмосферы на высоте h , скорость космического аппарата на высоте h .

10 Коэффициент формы КА.

Например, для спутника, имеющего форму полусферы и оканчивающегося конусом, коэффициент формы КА будет равен 0,3. Если же спутник имеет форму цилиндра с плоским торцом, то коэффициент формы будет равен 2,7. На коэффициент формы КА влияет расположение солнечных батарей (СБ). Если плоскость батареи расположена относительно вектора скорости КА перпендикулярно, то; если вдоль вектора - то. При полете по орбите с наклоном к плоскости экватора батареи должны поворачиваться вслед за Солнцем, в этом случае коэффициент формы КА принимает значения в диапазоне 0,15-2,15, в зависимости от расположения СБ относительно вектора скорости КА. Для расчета силы сопротивления атмосферы принимаем $c_f = 2,2$.

20 Скорость космического аппарата на высоте h .

Скорость космического аппарата на высоте h определим из условия равенства центробежной силы силе тяжести, которые обе действуют на КА:

где масса КА, $R_3 = 6371$ км - радиус Земли, $M_3 = 5,972 \cdot 10^{24}$ кг масса Земли, $G =$

25 $6,674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ - гравитационная постоянная.

Из выражения равенства центробежной силы силе тяжести, приведенного выше, получим скорость космического аппарата на высоте h :

Удельная сила сопротивления атмосферы.

30 Для расчета введем понятие удельной силы сопротивления атмосферы. Она равна отношению силы сопротивления атмосферы и площади сечения КА:

Результаты расчета скорости космического аппарата и удельной силы сопротивления в зависимости от высоты орбиты представлены в таблице 1. Коэффициент формы КА $c_f = 2,2$

35 Таблица 1.

Высота орбиты КА, км	Плотность атмосферы, кг/м ³	Скорость КА, км/с	Удельная сила сопротивления атмосферы, мН/м ²
100	$5,6 \cdot 10^{-7}$	7,84	38000
150	$2 \cdot 10^{-9}$	7,81	130
200	$2,5 \cdot 10^{-10}$	7,78	20
250	$6,1 \cdot 10^{-11}$	7,76	5

В таблице 2 представлены результаты расчета силы сопротивления атмосферы и силы тяги в зависимости от высоты орбиты и от площади сечения КА.

45

Таблица 2.

Высота орбиты КА, км	Удельная сила сопротивления атмосферы, мН/м ²	Площадь сечения КА, м ²	Сила сопротивления атмосферы, мН	Сила тяги, мН
100	38000	0,01	380	380
		0,3	9840	9840
		1	38000	38000
150	130	0,01	1,3	1,3
		0,3	32,4	32,4
		1	130	130
200	20	0,01	0,2	0,2
		0,3	4,68	4,68
		1	20	20
250	4	0,01	0,04	0,04
		0,3	1,2	1,2
		1	4	4

Устройство сбора и подготовки заборного воздуха (УСПВЗ)

УСПВЗ состоит из входного конуса и длинного цилиндрического канала. Входное сечение УСПВЗ имеет площадь сечения, равную площади сечения стороны КА, к которой он прикреплен. Для сбора воздуха при переходном режиме течения следует применять длинную цилиндрическую часть УСПВЗ. В этом случае, частицы, дошедшие до конца канала, столкнувшись со стенкой и приобретшие произвольные направления их скорости, не смогут выйти из канала обратно за пределы входного цилиндра, т.к. они будут запираются следующей партией частиц, которая претерпела уже достаточно сильное сжатие. УСПВЗ должно обязательно содержать в своем составе длинный цилиндрический канал, в которой частицы в процессе столкновений со стенками канала и между собой будут терять энергию, т.е. снижать скорость и запираются при увеличении концентрации, что не будет позволять им вылетать из УСПВЗ обратно во внешнюю атмосферу. В предлагаемом изобретении термостабилизирующий канал является длинным цилиндрическим каналом, в котором частицы снижают свою скорость и запираются для недопущения их вылета из двигательного тракта обратно во внешнюю атмосферу.

Требуемые характеристики двигателя

На высоте 200 км для поддержания рассматриваемого малого КА потребуется следующая величина тяги двигателя:

При заданной площади поперечного сечения МКА $S=0,8$ м², которая равна площади поперечного сечения УСПВЗ, массовый расход рабочего тела составит:

$$\dot{m}(h) = 1,5 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

При задании коэффициента использования рабочего тела, величину которого выбираем согласно тому, что частицы заборной атмосферы замедлились в термостабилизирующем канале, а также, что такие высокие величины обеспечиваются физическими принципами работы геликонного источника плазмы. Тогда удельный импульс двигателя будет иметь следующую величину:

Мощность, которую требуется вложить в плазму для достижения требуемой тяги

$$N_{pl} = \frac{F^2}{2\dot{m}(\rho)\eta} = 200 \text{ (Вт)}.$$

(57) Формула изобретения

1. Двигатель на забортном воздухе с геликонным источником плазмы для поддержания малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите, содержащий устройство сбора забортного воздуха, газоразрядную камеру с двумя отверстиями, одно из которых открыто во внешнюю атмосферу, антенну, соединенную линией 5 электрической связи с ВЧ-генератором, антенна охватывает с внешней стороны вдоль образующей газоразрядную камеру, магнитную систему, охватывающую газоразрядную камеру с внешней стороны вдоль ее образующей, отличающийся тем, что между устройством сбора забортного воздуха и газоразрядной камерой расположены термостабилизирующий канал и ресивер, которые герметично соединены между собой, 10 термостабилизирующий канал герметично соединен с устройством сбора забортного воздуха, а ресивер герметично соединен с газоразрядной камерой со стороны ее отверстия, неоткрытого во внешнюю атмосферу, на линии электрической связи антенны и ВЧ-генератора расположено устройство согласования нагрузки, то есть плазмы в газоразрядной камере и антенны, и ВЧ-генератора.

2. Двигатель по п. 1, отличающийся тем, что малый космический аппарат имеет форму цилиндра, на продольной оси которого расположен последовательный тракт двигателя, при этом передняя часть космического аппарата является устройством сбора забортного воздуха.

3. Двигатель по п. 1, отличающийся тем, что магнитная система состоит из как минимум одного электромагнита по обе стороны от антенны, электромагнит имеет 20 линию электрической связи с источником питания.

4. Двигатель по п. 1, отличающийся тем, что магнитная система состоит из как минимум одного постоянного магнита по обе стороны от антенны.

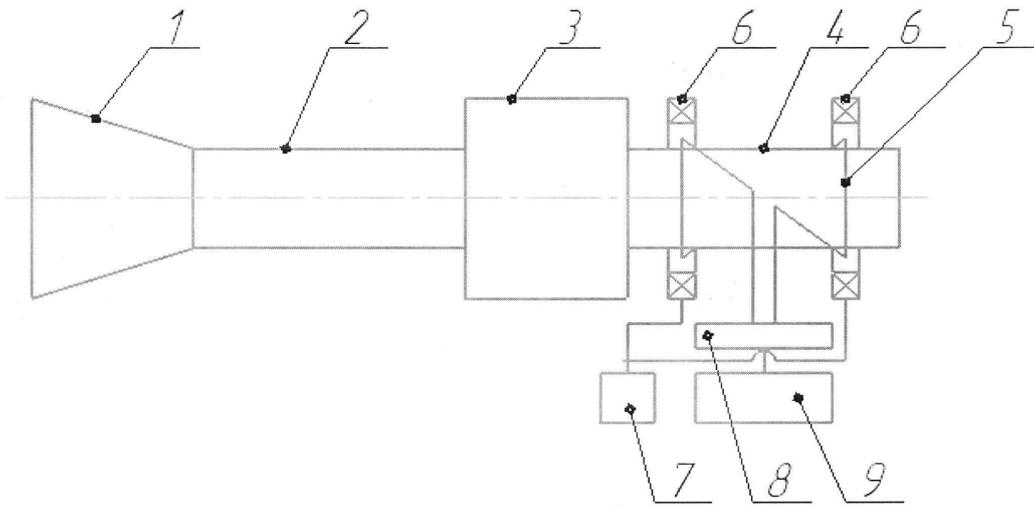
25

30

35

40

45



Фиг. 1