



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F03H 1/00 (2025.08); *H05H 1/54* (2025.08)

(21)(22) Заявка: 2024137285, 11.12.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 11.12.2024

Дата регистрации:
 17.10.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.12.2024

(45) Опубликовано: 17.10.2025 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн.тер.г. Муниципальный
 округ Басманный, ул.2-я Бауманская, 5, стр. 1,
 ФГБОУ ВО МГТУ им.Н.Э.Баумана, Амелина
 Ксения Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Шумейко Андрей Иванович (RU),
 Кузенов Виктор Витальевич (RU),
 Рыжков Сергей Витальевич (RU),
 Телех Виктор Дмитриевич (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: RU 2741401 C1, 25.01.2021. RU
 2823975 C1, 31.07.2024. RU 2771908 C1,
 13.05.2022. US 6293090 B1, 25.09.2001.

(54) Безэлектродный плазменный двигатель с отклоняющим магнитным соплом

(57) Реферат:

Изобретение относится к космической технике, в частности к электрическим ракетным двигателям (ЭРД), в частности к ЭРД с безэлектродными источником плазмы и ускорительной ступенью, использующим в качестве рабочего тела твердые вещества, предназначенным для установки на космических аппаратах (КА) для коррекции и поддержания их орбиты, прецизионной ориентации, фазирования КА, орбитальных маневров, разгрузки систем ориентации, увода КА с целевой орбиты в конце его срока активного существования (САС). Технической задачей, которую решает предлагаемое изобретение, является создание безэлектродного плазменного двигателя с отклоняющим магнитным соплом для выполнения оптимизированных маршевых операций, коррекции и поддержания орбиты, ориентации, маневров между орбитами и увода КА в конце его САС, обеспечивающего увеличение удельной тяги и удельного импульса

двигателя на единицы массы и объема. Технический результат заключается в снижении массы и габаритов двигателя, увеличении удельной тяги и удельного импульса двигателя на единицы массы и объема, оптимизации выполнения космических маневров, требующих участия двигательной установки, снижении необходимости использования механических устройств для изменения ориентации космического аппарата для начала выполнения маршевых операций в заданном направлении, отличном от того, в котором космический аппарат пребывает до выполнения маршевых операций. Для решения поставленной задачи с достижением заявленного технического результата безэлектродный плазменный двигатель с отклоняющим магнитным соплом содержит газоразрядную камеру, индуктор, ВЧ-генератор, отклоняющее магнитное сопло, состоящее из двух электромагнитов отклоняющего магнитного сопла, оси которых

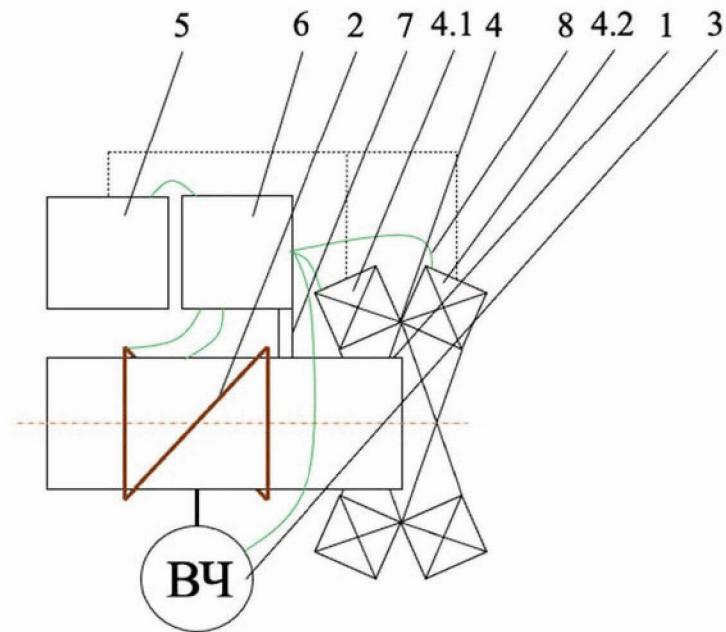
C1
 7 4 3 4 8 2 8 4 2 8 4 3 4 7
 RU

R U
 2 8 4 8 3 4 7
 C 1

R U 2 8 4 8 3 4 7 C 1

расположены под углом друг к другу и под углом к оси газоразрядной камеры, источник питания отклоняющего магнитного сопла, систему хранения и подачи твердого рабочего тела, радиальный газоввод, систему трансфера тепла, представляющую собой наборы тепловых трубок, соединенных с одного конца с системой хранения

и подачи твердого рабочего тела, а с другой стороны с внешней поверхностью газоразрядной камеры, индуктором, ВЧ-генератором, электромагнитами отклоняющего магнитного сопла, источником питания отклоняющего магнитного сопла. 1 ил.



Фиг. 1

R U 2 8 4 8 3 4 7 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
F03H 1/00 (2025.08); H05H 1/54 (2025.08)

(21)(22) Application: 2024137285, 11.12.2024

(24) Effective date for property rights:
11.12.2024

Registration date:
17.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: 11.12.2024

(45) Date of publication: 17.10.2025 Bull. № 29

Mail address:

105005, Moskva, vn.ter.g. Munitsipalnyj okrug
Basmannyj, ul.2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
FGBOU VO MGTU im.N.E.Baumana, Amelina
Kseniya Evgenevna

(72) Inventor(s):

Shumejko Andrey Ivanovich (RU),
Kuzenov Viktor Vitalevich (RU),
Ryzhkov Sergej Vitalevich (RU),
Telekh Viktor Dmitrievich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatelskij universitet)"
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)

C1
2848347
RU

(54) ELECTRODELESS PLASMA ENGINE WITH DEFLECTING MAGNETIC NOZZLE

(57) Abstract:

FIELD: space technology.

SUBSTANCE: invention relates to space technology, in particular to electric rocket engines (ERE), in particular to EREs with an electrode-free plasma source and an acceleration stage, using solids as the working fluid, intended for installation on spacecraft (SC) for correcting and maintaining their orbit, precision orientation, spacecraft phasing, orbital manoeuvres, orientation system unloading, and removal of spacecraft from their target orbit at the end of their active life (SAS). The technical problem solved by the proposed invention is the creation of an electrode-free plasma engine with a deflecting magnetic nozzle for performing optimised cruise operations, orbit correction and maintenance, orientation, manoeuvres between orbits and removal of the spacecraft at the end of its SAS, providing an increase in the specific thrust and specific impulse of the engine per unit of mass and volume. To solve the problem and achieve the stated technical result, the electrode-free plasma engine with a deflecting magnetic nozzle contains a gas discharge chamber, an inductor, a high-frequency generator, a

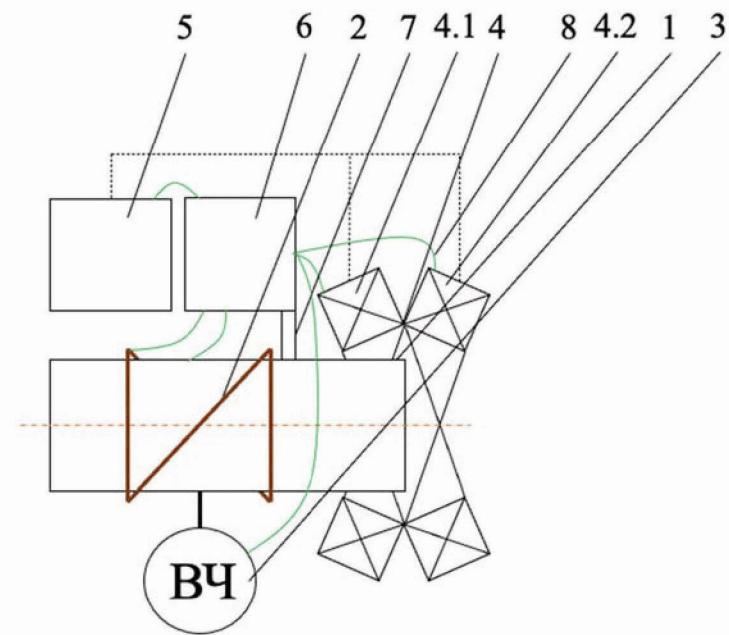
deflecting magnetic nozzle consisting of two deflecting magnetic nozzle electromagnets, the axes of which are located at an angle to each other and at an angle to the axis of the gas discharge chamber, a power source for the deflecting magnetic nozzle, a system for storing and supplying a solid working fluid, a radial gas conduit, a heat transfer system consisting of sets of heat pipes connected at one end to the solid working fluid storage and supply system and at the other end to the outer surface of the gas discharge chamber, an inductor, an RF generator, deflecting magnetic nozzle electromagnets, and a deflecting magnetic nozzle power source.

EFFECT: reduction in engine weight and dimensions, increase in specific thrust and specific impulse of the engine per unit of mass and volume, optimisation of space manoeuvres requiring the use of the propulsion system, reduction in the need to use mechanical devices to change the orientation of the spacecraft to begin performing cruise operations in a given direction different from that in which the spacecraft is located prior to performing cruise

R
U
2848347
C1

operations.

1 cl, 1 dwg



Фиг. 1

R U 2 8 4 8 3 4 7 C 1

R U 2 8 4 8 3 4 7 C 1

Область техники

Изобретение относится к космической технике, в частности к электрическим ракетным двигателям (ЭРД), в частности, к ЭРД с безэлектродными источником плазмы и ускорительной ступенью, использующим в качестве рабочего тела твердые вещества, 5 предназначенный для установки на космических аппаратах (КА) для коррекции и поддержания их орбиты, прецизионной ориентации, фазировании КА, орбитальных маневров, разгрузки систем ориентации, увода КА с целевой орбиты в конце его срока активного существования (САС).

Уровень техники

10 Известен аналог – изобретение Ракетный двигатель малой тяги для космического летательного аппарата (патент RU2445510C2, опубликован 20.03.2012). Изобретение относится к ракетным двигателям малой тяги. Изобретение по п. 24 формулы изобретения включает газоразрядную камеру (главную камеру), определяющую ось сил тяги, инжектор для введения ионизируемого газа в главную камеру, антенну, 15 генераторы магнитного поля, генератор электромагнитного поля, генератор для изменения направления магнитного поля.

Недостатком является то, что в изобретении есть только одно направления тяги газоразрядного канала. При разработке двигателя для КА, в частности, двигателя с более чем одним вектором тяги, предложенного на фиг. 40 и описанного в п. 60 формулы 20 изобретения RU2445510C2, использование только одного торца газоразрядной камеры приведет к увеличению массы и габаритов двигателя, что впоследствии приведет к удорожанию разработки и запуска КА или к невозможности использовать предложенное в рассматриваемом изобретении устройство для использования на борту КА ввиду высоких массогабаритных характеристик. Использование большого количества 25 магнитных систем является нецелесообразным, т.к. для ускорения плазмы достаточно одного магнитного сопла на выходе из газоразрядной камеры. Большое количество магнитных систем утяжеляет массу двигателя и занимает полезный объем, что делает непригодным использование такого двигателя на борту малых КА.

Известен аналог – изобретение Двунаправленный волновой плазменный двигатель 30 для космического аппарата (патент RU2764823C1, опубликован 21.01.2022). Изобретение относится к электрическим ракетным двигателям. Изобретение включает газоразрядную камеру, антенну, ВЧ-генератор, магнитную линзу и магнитное сопло.

Недостатком является то, что в изобретении реализуется возможность создания 35 векторов тяги только в двух направлениях, соосных с осью газоразрядной камеры. В то же время, для выполнения современных космических миссий необходимы векторы тяги во множестве различных направлений, например, на что указывается в работе Shumeiko A.I. et.al. Advanced wave plasma thruster with multiple thrust vectoring capability [https://doi.org/10.2514/6.2022-2190]. Таким образом, для создания вектора тяги в необходимом направлении, двигатель, предложенный в изобретении RU2764823C1, 40 необходимо будет ориентировать дополнительными устройствами, в частности, механическими или электромагнитными устройствами контроля ориентации. Использование дополнительных устройств для ориентации направления вектора тяги приведет к увеличению массы и объема двигательной установки КА и увеличенному потреблению мощности. Использование данного изобретения совместно с 45 дополнительными системами ориентации для достижения возможности создания векторов тяги во множестве различных направлений ограничено минимальным размером космического аппарата. Более того, в изобретении RU2764823C1 управление направлениями истечения плазмы и векторов тяги осуществляется за счет применения

магнитных линз – на фиг. 1 и 2 изобретения RU2764823C1 п. 6, - для работы которых необходимо потребление мощности, т.к. реализация таких магнитных линз на постоянных магнитах не позволит управлять направлением истечения потока плазмы, т.к. такие магнитные линзы должны быть либо включены, либо выключены.

- 5 Потребление мощности для управления направлениями истечения плазмы и векторов тяги приведет к трудностям в реализации устройства, предложенного в изобретении RU2764823C1, для применения на борту малых космических аппаратов или к неэффективным режимам работы – повышенными удельной мощностью и удельных массы и объема на единицу тяги и удельного импульса.
- 10 Известен ближайший аналог (прототип) - изобретение Модуль с многоканальной плазменной двигательной установкой для малого космического аппарата (патент RU2741401C1, опубликован 25.01.2012). Изобретение относится к ЭРД с без электродными источником плазмы и ускорительной ступенью. Изобретение включает элементы жесткой конструкции модуля, минимум три газоразрядных камеры, минимум 15 три антенны, минимум три кольца из диэлектрического материала, систему хранения и подачи рабочего тела, минимум шесть радиальных газовводов, модуль из ВЧ-генераторов, минимум три линии связи ВЧ-генераторов с антеннами, минимум шесть магнитных систем, модуль преобразования бортового питания, модуль из ВЧ-генераторов, систему питания магнитных систем, управляющий модуль, систему 20 электромагнитного экранирования.

Недостатком является то, что в изобретении предлагается использовать несколько газоразрядных камер для создания нескольких векторов тяги. Данный подход нерационален, т.к. несмотря на то, что является возможным создание отдельной компактной по массе и габаритам газоразрядной камеры совместно с магнитными 25 системами и антенной, способные создавать минимум два вектора тяги, совокупность нескольких таких газоразрядных камер совместно с магнитными системами и антеннами, будет представлять собой устройство с достаточно высокими удельными массой и объемом на единицу тяги и удельного импульса, что будет представлять затруднение для установки на борту малых космических аппаратов, которые на данный момент 30 испытывают наибольшую потребность в двигателях со способностью создания векторов тяги в нескольких направлениях, в частности, такую потребность испытывают низкоорбитальные группировки малых космических аппаратов, например, Starlink. Более того, при наличии нескольких отдельных газоразрядных камер, которые совместно с антеннами и магнитными системами, представляют собой несколько 35 отдельных источников плазмы с ускорительными ступенями, будет требоваться высокие удельное потребление мощности на единицу тяги и удельного импульса, возможности предоставления которой на борту малых космических аппаратов затруднительно, в особенности, низкоорбитальных малых космических аппаратов, для которых на сегодняшнем уровне развития техники основным источником генерации мощности 40 являются солнечные батареи, обладающие низкими эффективностью и удельной плотностью генерации мощности по массе, площади и объему. Также, ввиду ограниченности мощности, которая может быть потреблена двигателем, эффективная ионизация рабочего тела – коэффициент ионизации рабочего тела более 90% - будет невозможна в связи с большой площадью поверхности на единицу объема плазмы 45 контакта плазма с физическими объектами твердого агрегатного состояния – большая поверхность стенок газоразрядных камер на единицу объема плазмы. Например, представленные на рынке ЭРД двигатели для малых космических аппаратов, такие как, геликонный двигатель REGULUS итальянской компании T4i и ионный двигатель

BIT-3 американской компании BUSEK Inc. требуют для работы от 50 до 80 Вт. Сопоставимое энергопотребление устройством, предложенным в изобретении RU2741401C1, содержащим три газоразрядных канала приведет к тому, что на каждую газоразрядную камеру совместно с магнитными системами будет приходиться лишь 5 по 20 Вт мощности, т.е. только магнитные системы предлагаемого устройства будут потреблять не менее 25% от мощности на каждый канал, т.е. 5 Вт, что приведет к тому, что в газоразрядных каналах режим генерации плазмы будет близок к емкостному разряду, характеризующемуся низкой плотностью плазмы и низким коэффициентом ионизации, что будет являться неэффективным режимом генерации тяги. Более того, в 10 изобретении RU2741401C1 управление направлениями истечения плазмы и векторов тяги осуществляется за счет применения магнитных линз – на фиг. 1 изобретения RU2741401C1 п. 11, - для работы которых необходимо потребление мощности, т.к. реализация таких магнитных линз на постоянных магнитах не позволит управлять 15 направлением истечения потока плазмы, т.к. такие магнитные линзы должны быть либо включены, либо выключены. Потребление мощности для управления направлениями истечения плазмы и векторов тяги приведет к трудностям в реализации 20 устройства, предложенного в изобретении RU2741401C1, для применения на борту малых космических аппаратов или к неэффективным режимам работы – повышенными удельной мощностью и удельных массы и объема на единицу тяги и удельного импульса.

Раскрытие изобретения

Технической задачей, которую решает предлагаемое изобретение, является создание безэлектродного плазменного двигателя с отклоняющим магнитным соплом, с уменьшенными массой и габаритами для выполнения оптимизированных маршевых операций, коррекции и поддержания орбиты космического аппарата, его ориентации, 25 маневров между орбитами, увода космического аппарата в конце его САС, обеспечивающего увеличение удельных тяги и удельного импульса двигателя на единицы массы и объема, а также в котором снижена необходимость использования механических устройств для изменения ориентации космического аппарата для начала выполнения 30 маршевых операций в заданном направлении, отличном от того, в котором космический аппарата пребывает до выполнения маршевых операций.

Технический результат заключается в снижении массы и габаритов двигателя, увеличении удельных тяги и удельного импульса двигателя на единицы массы и объема, оптимизации выполнения космических маневров, требующих участия двигательной установки, снижении необходимости использования механических устройств для 35 изменения ориентации космического аппарата для начала выполнения маршевых операций в заданном направлении, отличном от того, в котором космический аппарата пребывает до выполнения маршевых операций.

Для решения поставленной задачи с достижением заявленного технического результата безэлектродный плазменный двигатель с отклоняющим магнитным соплом 40 содержит газоразрядную камеру, индуктор, ВЧ генератор, магнитное сопло, систему питания магнитного сопла, систему хранения и подачи рабочего тела. Газоразрядная камера имеет форму цилиндра, полого внутри, имеющая один открытый во внешнее пространство конец, на внешней поверхности генератором. При этом со стороны внешней поверхности газоразрядной камеры и со стороны конца газоразрядной камеры, 45 который открыт во внешнее пространство, расположено отклоняющее магнитное сопло, состоящее из двух электромагнитов отклоняющего магнитного сопла, оси которых расположены под углом друг к другу и под углом к оси газоразрядной камеры. При этом электромагниты сопла выполнены таким образом, чтобы по отдельности

генерировать магнитное поле, силовые линии которого направлены под углом к оси газоразрядной камеры, а при совместной работе создавать магнитное поле, силовые линии которого соосны с осью газоразрядной камеры, и чтобы индукция магнитного поля, создаваемого электромагнитами отклоняющего магнитного сопла, имела

- 5 величину, достаточную для того, чтобы замагничивались электроны в газоразрядной камере, а ионы являлись незамагнченными. Каждый из электромагнитов отклоняющего магнитного сопла имеет независимые линии электрической связи с источником питания отклоняющего магнитного сопла. Газоразрядная камера имеет герметичное соединение с одним из концов радиального газоввода, расположенное в осевом направлении
- 10 газоразрядной камеры между индуктором и отклоняющим магнитным соплом. Другой конец радиального газоввода имеет герметичное соединение с системой хранения и подачи твердого рабочего тела, которая имеет соединение с системой трансфера тепла, состоящей из набора тепловых трубок, которые с одного конца соединены с системой хранения и подачи твердого рабочего тела, а с другого конца соединены с внешними
- 15 поверхностями газоразрядной камеры, индуктора, а также с ВЧ генератором, электромагнитами отклоняющего магнитного сопла и источником питания отклоняющего магнитного сопла.

Перечень фигур

- На фиг. 1 представлена конструктивная блок-схема предлагаемого безэлектродного
- 20 плазменного двигателя с отклоняющим магнитным соплом.

Осуществление изобретения

Безэлектродный плазменный двигатель с отклоняющим магнитным соплом состоит из следующих элементов с их функциями:

- газоразрядной камеры (1), имеющей форму цилиндра, полого внутри, имеющей
- 25 один открытый во внешнее пространство конец, внутренняя полость газоразрядной камеры (1) служит местом ионизации рабочего тела;
- индуктора (2), расположенного на внешней поверхности газоразрядной камеры (1), индуктор (2) генерирует переменные электромагнитные поля во внутренней полости газоразрядной камеры (1), которые приводят к ионизации рабочего тела, а также
- 30 переносят энергию от индуктора (2) к ионизированным частицам рабочего тела, находящихся во внутренней полости газоразрядной камеры (1);
- ВЧ генератора (3), имеющего линию электрической связи с индуктором (2), которые служит для генерации переменного тока, который подается на индуктор (2) и под действием которого, индуктор (2) генерирует переменные электромагнитные поля во
- 35 внутренней полости газоразрядной камеры (1), которые приводят к ионизации рабочего тела и передачи энергии от индуктора (2) к заряженным частицам рабочего тела, находящихся во внутренней полости газоразрядной камеры (1);
- отклоняющего магнитного сопла (4), расположенного со стороны внешней
- 40 поверхности газоразрядной камеры (1), со стороны конца газоразрядной камеры (1), который открыт во внешнее пространство, состоящее из двух электромагнитов отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), оси которых расположены под углом друг к другу, электромагниты отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) генерируют по отдельности магнитное поле, силовые линии которого направлены под углом к оси газоразрядной камеры (1), а при совместной работе электромагнитов отклоняющего
- 45 магнитного сопла (4.1) и (4.2) создается магнитное поле, силовые линии которого соосны с осью газоразрядной камеры (1), магнитное поле, создаваемое электромагнитами отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) как при их раздельной работе, так и при их совместной работе имеет сходящуюся-расходящуюся форму

силовых линий, электромагниты отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) создают магнитное поле с такой индукцией, при которой электроны являются замагниченными, а ионы являются незамагниченными, под действием магнитного поля, создаваемого электромагнитами отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) в отдельности, а также

5 при совместном действии магнитного поля от электромагнитами отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) и переменных электромагнитных полей, создаваемого индуктором (2), осуществляется ускорение заряженных частиц, генерируемых под действием переменных электромагнитных полей индуктором (2) во внутренней полости газоразрядной камеры (1), за счет того, что электромагниты отклоняющего магнитного

10 сопла (4.1) и (4.2) генерируют по отдельности магнитное поле, силовые линии которого направлены под углом к оси газоразрядной камеры (1), а при совместной работе электромагнитов отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) создается магнитное поле, силовые линии которого соосны с осью газоразрядной камеры (1), обеспечивается возможность управления направлением вектора тяги;

15 - источника питания отклоняющего магнитного сопла (5), который имеет две независимые линии электрической связи (по количеству электромагнитов отклоняющего магнитного сопла) с двумя электромагнитами отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), источник питания отклоняющего магнитного сопла (5) обеспечивает подачу электрического тока к электромагнитам отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2),

20 эта подача осуществляется по независимым линиям электрической связи, что обеспечивает возможность выбора электромагнитов отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), что обеспечивает возможность управления направлением вектора тяги;

25 - системы хранения и подачи твердого рабочего тела (6), которая служит для хранения твердого рабочего тела, сублимации твердого рабочего тела под действием тепла, поступающего к системе хранения и подачи твердого рабочего тела (6) по системе трансфера тепла (8), сублимированное твердое рабочее тело через радиальный газоввод (7) подается во внутреннюю полость газоразрядной камеры (1), где затем ионизируется под действием переменных электромагнитных полей, которые генерирует индуктор (2);

30 - радиального газоввода (7), с одной стороны имеющего герметичное соединение с системой хранения и подачи твердого рабочего тела (6), а с другой стороны имеющего герметичное соединение с газоразрядной камерой (1), радиальный газоввод (7) расположен в радиальном направлении по отношению к газоразрядной камере (1), радиальный газоввод (7) располагается между индуктором (2) и отклоняющим

35 магнитным соплом (4), радиальный газоввод (7) служит элементом, который газодинамически соединяет систему хранения и подачи твердого рабочего тела (6) и внутреннюю полость газоразрядной камеры (1), такое газодинамическое соединение позволяет протекать сублимированному твердому рабочему телу из системы хранения и подачи твердого рабочего тела (6) во внутреннюю полость газоразрядной камеры (1);

40 - системы трансфера тепла (8), представляющей собой наборы тепловых трубок, соединенных с одного конца с системой хранения и подачи твердого рабочего тела (6), а с другой стороны со внешней поверхностью газоразрядной камеры (1), со внешней поверхностью индуктора (2), ВЧ генератором (3), электромагнитами отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), источником питания отклоняющего магнитного сопла (5), система трансфера тепла (8) служит для переноса тепла этих элементов к системе хранения и подачи твердого рабочего тела (6) для сублимации твердого рабочего тела и последующей его подачи через радиальный газоввод (7) во внутреннюю полость

газоразрядной камеры (1).

Основная задача, которую выполняет безэлектродный плазменный двигатель с отклоняющим магнитным соплом – это создание векторов тяги, которые имеют либо оси, не совмещенные с осью газоразрядной камеры (1), при работе электромагнитов 5 отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) по отдельности, либо при одновременной работе электромагнитов отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), создание вектора тяги, совмещенного с осью газоразрядной камеры (1), для создания движущего управляющие воздействия на КА, т.е. для коррекции и поддержания их орбиты, прецизионной ориентации, фазировании КА, орбитальных маневров, разгрузки систем 10 ориентации, увода КА с целевой орбиты в конце его САС. Даже при одновременной работе электромагнитов (4.1) и (4.2) отклоняющего магнитного сопла (4) возможно изменение направления вектора тяги за счет того, что в электромагниты отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) может подаваться различная сила тока при помощи 15 источника питания отклоняющего магнитного сопла (5), что приведет к созданию магнитных полей различной индукции каждым из электромагнитов отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), что приведет к отклоненному относительно оси газоразрядной камеры (1) суммарному магнитному полю, по направлению которого будут следовать электроны, за которыми будут следовать ионы, создавая тягу.

Отметим, что индукция магнитного поля, создаваемого электромагнитами 20 отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), должна иметь величину индукции, достаточной для замагничивания электронов, ионы должны быть незамагничены. Возможность управления направлением вектора тяги при помощи изменения направления линий магнитного поля, создаваемого электромагнитами отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2) проявляется за счет возможности управления 25 направлением линий магнитного поля, которые в свою очередь ввиду замагниченности электронов, направляют электроны, за которыми следуют ионы, которые создают тягу, т.е. управление направлением линий магнитного поля позволяет управлять направлением вектора тяги за счет того, что линии магнитного поля направляют ионизированное частицы рабочего тела. Описания эффектов взаимодействия линий 30 магнитного поля с ионизированными частицами могут быть найдены в работах Shumeiko A.I. et.al. [<https://doi.org/10.3390/sym14101983>], [<https://doi.org/10.3390/sym15091705>].

Поток твердого рабочего тела, сублимированного в системе хранения и подачи твердого рабочего тела (6), не запирается в газовводе (7), т.к. часть тепла, поступающего по системе трансфера тепла (8) к системе хранения и подачи твердого рабочего тела 35 (6), поступает на газоввод (7) путем теплопроводности.

Технический результат, заключающийся в снижении массы и габаритов двигателя, достигается за счет того, что для создания векторов тяги в нескольких направлениях используется не несколько ускорительных каналов, направленных в разные стороны, а используется один ускорительный канал состоящий из газоразрядной камеры (1), индуктора (2) и отклоняющего магнитного сопла (4). Таким образом, при использовании 40 одного ускорительного канала, масса и габариты двигателя снижаются, а также увеличиваются удельные тяга и удельный импульс на единицы массы и объема, т.к. характеристики выходящего из ускорительного канала в предложенном изобретении с возможностью управления направлением вектора тяги при равных условиях с 45 односторонним двигателем остаются неизменными.

Уменьшение массы и объема двигателя и увеличение удельных тяги и удельного импульса на единицы массы и объема двигателя также достигается за счет использования твердого рабочего тела. при использовании твердого рабочего тела нет необходимости

иметь на борту КА баллоны под давлением со сжатым газообразным рабочим телом, использование которых приводит к серьезному увеличению массы и объема системы хранения и подачи рабочего тела.

Технический результат, заключающийся в оптимизации выполнения маневров, в

- 5 частности межорбитальных маневров, достигается за счет того, что будет снижена необходимость в ступенчатом выполнении этих маневров. В частности, при ступенчатом выполнении маневров, заключающихся, например, в изменении наклонения орбиты КА, ускоренный поток рабочего тела, выходящий из одностороннего двигателя необходимо ориентировать путем изменения ориентации всего космического аппарата
- 10 при помощи механических систем ориентации (в случае использования КА на околоземных орbitах, также используют электромагнитные системы ориентации). В предлагаемом изобретении имеется возможность управления направлением вектора тяги за счет использования отклоняющего магнитного сопла (4), состоящего из двух электромагнитов отклоняющего магнитного сопла (4.1) и (4.2), при помощи которого
- 15 можно снизить количество изменения ориентации КА для выполнения межорбитального маневра, тем самым оптимизировав его выполнение. Под оптимизацией может, например, пониматься не только время выполнения маневра, но также энергетические затраты на его проведение и затраты рабочего тела, так как при чисто ступенчатом проведении маневров происходит нежелательный расход энергии и рабочего тела на
- 20 операции по смене ориентации и двигательные операции.

(57) Формула изобретения

Безэлектродный плазменный двигатель с отклоняющим магнитным соплом, содержащий газоразрядную камеру, индуктор, ВЧ-генератор, магнитное сопло, систему питания магнитного сопла, систему хранения и подачи рабочего тела, отличающийся тем, что газоразрядная камера имеет форму цилиндра, полого внутри, имеет один открытый во внешнее пространство конец; при этом со стороны внешней поверхности газоразрядной камеры и со стороны конца газоразрядной камеры, который открыт во внешнее пространство, расположено отклоняющее магнитное сопло, состоящее из двух 25 электромагнитов отклоняющего магнитного сопла, оси которых расположены под углом друг к другу и под углом к оси газоразрядной камеры; при этом электромагниты сопла выполнены таким образом, чтобы по отдельности генерировать магнитное поле, силовые линии которого направлены под углом к оси газоразрядной камеры, а при совместной работе создавать магнитное поле, силовые линии которого соосны с осью 30 газоразрядной камеры, и чтобы индукция магнитного поля, создаваемого электромагнитами отклоняющего магнитного сопла, имела величину, достаточную для того, чтобы замагничивались электроны в газоразрядной камере, а ионы являлись незамагниченными; каждый из электромагнитов отклоняющего магнитного сопла имеет независимые линии электрической связи с источником питания отклоняющего 35 магнитного сопла; газоразрядная камера имеет герметичное соединение с одним из концов радиального газовода, расположенное в осевом направлении газоразрядной камеры между индуктором и отклоняющим магнитным соплом; другой конец радиального газовода имеет герметичное соединение с системой хранения и подачи твердого рабочего тела, которая имеет соединение с системой трансфера тепла, 40 состоящей из набора тепловых трубок, которые с одного конца соединены с системой хранения и подачи твердого рабочего тела, а с другого конца соединены с внешними поверхностями газоразрядной камеры, индуктора, а также с ВЧ-генератором, электромагнитами отклоняющего магнитного сопла и источником питания 45

отклоняющего магнитного сопла.

5

10

15

20

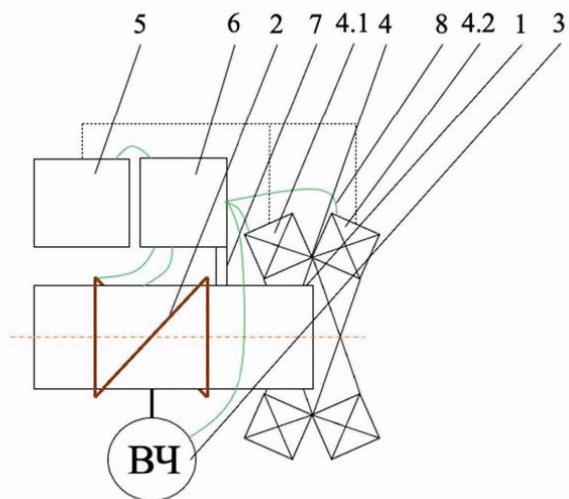
25

30

35

40

45



Фиг. 1