



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 196 397** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **H 05 H 1/54, F 03 H 1/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000132952/06, 28.12.2000
(24) Дата начала действия патента: 28.12.2000
(46) Дата публикации: 10.01.2003
(56) Ссылки: RU 2088802 C1, 27.08.1997. RU 2156555 C1, 20.09.2000. RU 2040125 C1, 20.07.1995. RU 2121075 C1, 27.10.1998. WO 00/42827 A1, 20.07.2000. WO 96/06518 A1, 29.02.1996. FR 2782884 A1, 03.03.2000.
(98) Адрес для переписки:
123458, Москва, ул. Таллинская, 2, кв.199,
В.А.Петросову

(71) Заявитель:
Петросов Валерий Александрович
(72) Изобретатель: Петросов В.А.,
Байдаков С.Г., Баранов В.И., Васин
А.И., Назаренко Ю.С.
(73) Патентообладатель:
Петросов Валерий Александрович

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ В ПЛАЗМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ ХОЛЛОВСКОГО ТИПА

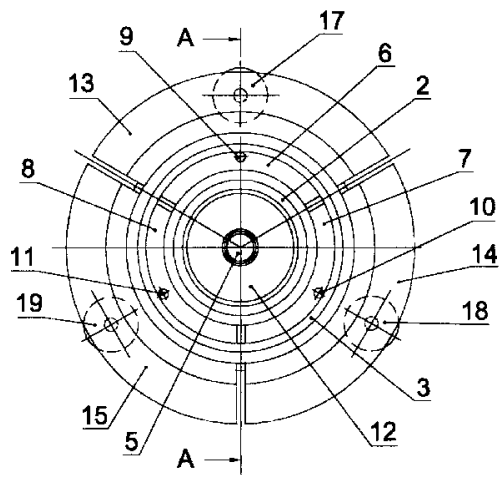
(57) Изобретение относится к плазменной технике и может быть использовано при конструировании плазменных ускорителей и на их основе электроракетных двигателей, в частности плазменных ускорителей (двигателей) с замкнутым дрейфом электронов, часто называемых холловскими, предназначенных для работы в космических условиях для межорбитальной транспортировки, а также выполнения задач коррекции орбиты и ориентации космических аппаратов, и может найти применение в других областях техники, например в электронике, для ионной очистки, фрезеровки, получения покрытий различного назначения, в вакуумной металлургии. Плазменный ускоритель содержит кольцевой ускорительный канал, ограниченный внутренней и внешней стенками, причем средняя линия вдоль по течению рабочего тела по кольцевому каналу наклонена к оси ускорителя под углом β . Анод расположен в канале в области его закрытого конца. Катод расположен вне канала. Коллектор выполнен из трех независимых секций коллектора, в которые подают рабочее тело неравномерно по азимуту по автономным подводам, при этом накладывая азимутально неоднородное магнитное поле. Дополнительно в зоне

ускорения накладывают азимутально неоднородное магнитное поле, отклоняющее направление силовых линий от преимущественно нормального к стенкам канала и/или изменяющее его величину и конфигурацию. Магнитная система, состоящая из внутренней и трехсекционной внешней магнитных подсистем, содержит полюс внутренней магнитной подсистемы и полюса секций внешней магнитной подсистемы, а также источники магнитодвижущей силы, с помощью которых формируют в канале симметричное относительно оси плазменного ускорителя магнитное поле с максимумом в зоне ускорения в области выходного среза и силовыми линиями, наклоненными к плоскости, перпендикулярной оси плазменного ускорителя под углом α . Внутренняя и внешняя магнитные подсистемы содержат дополнительные источники магнитодвижущей силы, выполненные в виде осесимметричных магнитных катушек, питающихся независимо от разряда. Технический результат: расширение возможности эффективного регулирования режима работы двигателя для обеспечения необходимых характеристик вектора тяги. 2 с. и 9 з.п.ф-лы, 3 ил.

RU 2 1 9 6 3 9 7 C 2

RU 2 1 9 6 3 9 7 C 2

RU 2196397 C2



Фиг. 1

RU 2196397 C2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 196 397** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **H 05 H 1/54, F 03 H 1/00**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2000132952/06, 28.12.2000
 (24) Effective date for property rights: 28.12.2000
 (46) Date of publication: 10.01.2003
 (98) Mail address:
 123458, Moskva, ul. Tallinskaja, 2, kv.199,
 V.A.Petrosovu

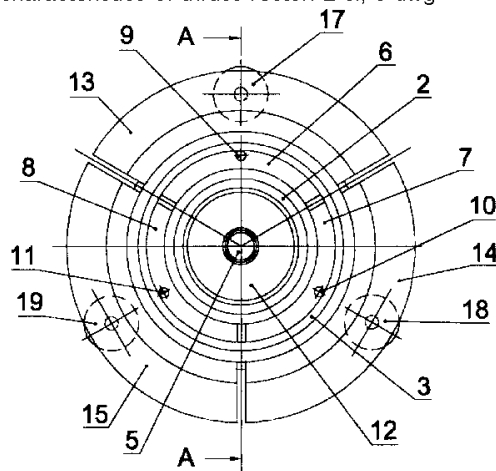
(71) Applicant:
Petrosov Valerij Aleksandrovich
 (72) Inventor: **Petrosov V.A.,
 Bajdakov S.G., Baranov V.I., Vasin
 A.I., Nazarenko Ju.S.**
 (73) Proprietor:
Petrosov Valerij Aleksandrovich

(54) **METHOD AND DEVICE FOR ACCELERATING IONS IN HALL CURRENT PLASMA ACCELERATOR**

(57) Abstract:

FIELD: plasma engineering; plasma accelerators and electric rocket engines built around them. SUBSTANCE: method and device are designed for manufacturing plasma accelerators and electric rocket engines including closed-electron-drift accelerators (engines) often referred to as Hall-current ones and meant for operation in space conditions for interorbital transport, as well as for orbit correction and space vehicle orientation, and may be found useful for other industries such as electronics for ion cleaning, milling, producing miscellaneous coatings, and for vacuum metallurgy. Plasma accelerator has annular acceleration channel between internal and external walls, center line along working medium flow over annular channel being inclined to accelerator axis through angle β . Channel accommodates anode in its closed-end region. Cathode is placed beyond channel. Collector is made of three collector sections irregularly supplied with working medium in azimuth over self-contained inlets at the same time superimposing heterogeneous azimuthal magnetic field. In addition homogeneous azimuthal magnetic field is superimposed in acceleration zone which deflects direction of magnetic lines of force from usually normal one to channel walls and/or varies its magnitude field and configuration. Magnetic system composed of one internal and one three-section external magnetic subsystems has pole of internal magnetic system and poles of external

magnetic system sections, as well as magnetomotive force sources that function to build up magnetic field symmetrical relative to plasma accelerator axis in channel, its maximum being in acceleration zone in vicinity of exit edge and its magnetic lines of force being tilted through angle α to plane perpendicular to plasma accelerator axis. Internal and external magnetic subsystems have additional magnetomotive force sources made in the form of axisymmetric magnetic coils supplied with power independently of discharge. EFFECT: enhanced capabilities of engine operation control to ensure desired characteristics of thrust vector. 2 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 196 397 C2

RU 2 196 397 C2

Изобретение относится к плазменной технике и может быть использовано при конструировании плазменных ускорителей и на их основе электрических ракетных двигателей (ЭРД), в частности плазменных ускорителей (или двигателей) с замкнутым дрейфом электронов (их часто называют ускорителями или двигателями холловского типа), предназначенных для работы в космических условиях для межорбитальной транспортировки, а также выполнения задач коррекции орбиты и ориентации космических аппаратов, и может найти применение в других областях техники, например в электронике для ионной очистки, фрезеровки, получения покрытий различного функционального назначения, в вакуумной металлургии для совершенствования и модификации поверхностных характеристик металлов, а также и в других областях техники.

Известен способ ускорения ионов в плазменных ускорителях с замкнутым дрейфом электронов (т. е. в холловских ускорителях), включающий наложение электрического поля вдоль направления ускорения и магнитного поля, обеспечивающего замагниченность электронов, в перпендикулярном направлении и зажигание разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях (Сб. Плазменные ускорители. М., "Машиностроение", 1973, стр. 5-15).

Недостатком известного способа является его однорежимность, т.е. невозможность изменения направления ускорения ионов, что сужает область применения способа.

Известно устройство, представляющее собой плазменный ускоритель (или двигатель - применительно к космическим задачам) холловского типа, который в зависимости от токопроводящих свойств материала стенок ускорительного канала может иметь две разновидности конструктивного выполнения: стационарный плазменный двигатель (СПД) - материал стенок диэлектрик и двигатель с анодным слоем (ДАС) - материал стенок проводник (Сб. Плазменные ускорители и ионные инжекторы. М., "Наука", 1984, стр. 107-138).

Недостатки известного устройства связаны с его однорежимностью, т.к. двигатель создает тягу только в фиксированном направлении, и для управления космическим аппаратом (спутником) необходимо использовать или, как минимум, два двигателя, или дополнительный механизм поворота двигателя относительно аппарата. Использование двух двигателей дорого и увеличивает вес аппарата, а поворачивающий (шарнирный) механизм тяжел, сложен и ненадежен, увеличивает вес аппарата, уменьшает полезный объем. Кроме того, невозможность изменения вектора тяги по направлению затрудняет предварительную отработку двигателя и не позволяет осуществлять компенсацию неточностей изготовления, а потому ужесточает требования при его изготовлении и тем самым увеличивает стоимость изделия.

Ближайшим техническим решением является способ и устройство для ускорения ионов в азимутально замкнутых осесимметричных кольцевых каналах

плазменных ускорителей холловского типа (Патент РФ 2088802, МКИ F 03 H 1/00, H 05 H 1/54, 09.12.1995), в котором способ включает подачу рабочего тела в зону ионизации, наложение электрического поля в зоне ускорения путем подачи разности потенциалов на электроды, наложение поперечного электрическому, направленного преимущественно нормально к стенкам канала магнитного поля с максимумом в зоне ускорения в области выходного среза и величиной максимума, обеспечивающей замагниченность электронов, зажигание разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях, создание азимутальной неоднородности параметров в ускорительном канале, а устройство, реализующее способ, выполнено в виде плазменного ускорителя с замкнутым дрейфом электронов, содержащего азимутально замкнутый кольцевой канал для ионизации и ускорения рабочего тела, образованный в направлении оси плазменного ускорителя двумя соосными с ним внутренней и внешней стенками и открытый с одного конца, азимутально замкнутый анод и коллектор для подачи рабочего тела в канал, расположенные в нем у конца, противоположного открытому, по крайней мере один катод, размещенный вне канала у его открытого конца, магнитную систему, создающую в канале азимутально однородное относительно оси плазменного ускорителя магнитное поле, направленное преимущественно нормально к стенкам канала, и состоящую из внутренней и внешней подсистем, расположенных по разные стороны канала и включающих источники магнитодвижущей силы, полюса и магнитопроводы.

В этом способе и реализующем его устройстве поворот вектора тяги осуществляется созданием азимутальной неоднородности параметров в ускорительном канале путем совместного воздействия трех факторов - геометрического (переменное по азимуту расстояние между внутренней и внешней стенками канала), электрического (дополнительные электроды, установленные у выходного среза последовательно один за другим по азимуту) и магнитного (внешняя магнитная подсистема содержит независимые секции, размещенные последовательно одна за другой по азимуту).

Недостатками данного способа и реализующего его устройства является малая регулируемость или узкие возможности по изменению режима работы двигателя. Увеличение угла поворота вектора тяги больше чем на три градуса приводит к резкому ухудшению характеристик двигателя (возникновение колебаний, снижение КПД). Кроме того, схема этого двигателя такова, что оптимизация его параметров при предварительной отработке затруднена, а также невозможна простая коррекция двигателя при обнаружении неточностей производства (изготовления).

Техническим результатом предлагаемого технического решения является значительное расширение возможностей по эффективному регулированию режимов работы двигателя для обеспечения необходимых характеристик вектора тяги (направления), а именно увеличение диапазона отклонения вектора тяги при сохранении остальных параметров

ускорителя на прежнем уровне за счет получения потоков, не имеющих круговую симметрию, и/или потоков, ось которых не совпадает с геометрической осью плазменного ускорителя, при этом обеспечивается расширение возможностей по парированию (исправлению) дефектов изготовления.

Технический результат достигается тем, что в способе ускорения ионов в азимутально замкнутых осесимметричных кольцевых каналах плазменных ускорителей холловского типа, включающем подачу рабочего тела в зону ионизации, наложение электрического поля в зоне ускорения путем подачи разности потенциалов на электроды, наложение поперечного электрическому, направленного преимущественно нормально к стенкам канала магнитного поля с максимумом в зоне ускорения в области выходного среза и величиной максимума, обеспечивающей замагниченность электронов, зажигание разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях, создание азимутальной неоднородности параметров в ускорительном канале, электрическое поле в зоне ускорения направляют не параллельно оси ускорителя, рабочее тело подают в зону ионизации неравномерно по азимуту и в зоне ускорения накладывают азимутально неоднородное магнитное поле, причем неоднородности расхода рабочего тела и магнитного поля создают в одних и тех же азимутальных областях; при этом дополнительно в зоне ускорения накладывают азимутально однородное магнитное поле, отклоняющее направление силовых линий от преимущественно нормального к стенкам канала и/или изменяющее его величину и конфигурацию; кроме того, изменяют длительность действия создаваемых неоднородностей расхода рабочего тела и магнитного поля и/или величину этих неоднородностей. Устройство, реализующее способ, выполнено в виде плазменного ускорителя с замкнутым дрейфом электронов, содержащего азимутально замкнутый кольцевой канал для ионизации и ускорения рабочего тела, образованный в направлении оси плазменного ускорителя двумя соосными с ним внутренней и внешней стенками и открытый с одного конца, азимутально замкнутый анод и коллектор для подачи рабочего тела в канал, расположенные в нем у конца, противоположного открытому, по крайней мере один катод, размещенный вне канала у его открытого конца, магнитную систему, создающую в канале азимутально однородное относительно оси плазменного ускорителя магнитное поле, направленное преимущественно нормально к стенкам канала, и состоящую из внутренней и внешней подсистем, расположенных по разные стороны канала и включающих источники магнитодвижущей силы, полюса и магнитопроводы, в котором кольцевой канал выполнен с не параллельной оси ускорителя средней вдоль по течению рабочего тела линией, коллектор выполнен по крайней мере с двумя независимыми разнесенными по азимуту секциями с автономными подводами рабочего тела, и по крайней мере одна из подсистем магнитной системы включает в себя независимые разнесенные по азимуту секции, причем секции этой магнитной

подсистемы и коллектора расположены попарно на одном азимуте; при этом средняя линия наклонена к оси ускорителя под углом, обеспечивающим истечение ускоренного потока рабочего тела в направлении к оси ускорителя; при этом полюс внутренней подсистемы магнитной системы и выходной срез внутренней стенки канала расположены выше по течению по отношению к соответствующим внешним элементам; при этом по крайней мере одна из подсистем магнитной системы содержит дополнительный источник магнитодвижущей силы, выполненный в виде магнитной катушки, питающейся независимо от разряда; при этом внутренняя и внешняя подсистемы магнитной системы выполнены независимыми с отдельными источниками магнитодвижущей силы и разделенными магнитопроводами; при этом внутренняя и внешняя подсистемы магнитной системы выполнены соединенными магнитопроводом; при этом по крайней мере один катод и подсистема магнитной системы, выполненная в виде секций, размещены по разные стороны канала; при этом анод выполнен в виде коллектора.

Изобретение иллюстрируется чертежами, где на фиг.1 схематично показан плазменный ускоритель со стороны выходного среза (открытого конца канала) для случая трехсекционной внешней магнитной подсистемы и трехсекционного коллектора, на фиг.2 - разрез его по AA, на фиг.3 - фрагмент разреза кольцевого канала с силовыми линиями магнитного поля - место В.

Плазменный ускоритель содержит ускорительный кольцевой канал 1, ограниченный внутренней 2 и внешней 3 стенками. Анод 4 расположен в канале 1 в области его закрытого конца. Катод 5 расположен вне канала. Коллектор выполнен из трех независимых секций 6, 7, 8 коллектора с автономными подводами рабочего тела 9, 10, 11 соответственно (на фиг.1 позиции 9, 10, 11 показаны условно). Магнитная система, состоящая из внутренней и трехсекционной внешней магнитных подсистем, содержит полюс 12 внутренней магнитной подсистемы и полюса секций 13, 14, 15 внешней магнитной подсистемы, а также источники магнитодвижущей силы 16 и 17, 18, 19 соответственно. Внутренняя и внешняя магнитные подсистемы соединяются магнитопроводом 20. Магнитная система создает магнитное поле с силовыми линиями 21, направленными преимущественно нормально к стенкам 2 и 3 канала и наклоненными к плоскости, перпендикулярной оси плазменного ускорителя, под углом α . Средняя вдоль по течению рабочего тела по кольцевому каналу 1 линия 22, соединяющая середины расстояний между внутренней 2 и внешней 3 стенками, наклонена к оси плазменного ускорителя под углом β . В номинальном режиме $\alpha = \beta$. Внутренняя и внешняя магнитные подсистемы содержат дополнительные источники магнитодвижущей силы, выполненные в виде осесимметричных магнитных катушек 23 и 24 соответственно, питающихся независимо от разряда.

Область кольцевого канала 1 вблизи конца, противоположного открытому, примыкающая к аноду 4 и секциям 6, 7, 8 коллектора, представляет собой зону ионизации, область вблизи выходного среза -

зону ускорения.

Плазменный ускоритель (или двигатель), реализующий способ ускорения ионов, работает следующим образом.

Рабочее тело, например, ксенон, через секции 6, 7, 8 коллектора, выполненные с множеством равномерно распределенных по азимуту отверстий, подают в канал 1, образованный внутренней 2 и внешней 3 стенками, выполненными, например, из керамики на основе нитрида бора. Кольцевой канал 1 выполнен таким образом, что его средняя линия вдоль по течению рабочего тела наклонена к оси ускорителя под углом β . Между анодом 4, изготовленным из тугоплавкого металла, например молибдена, и катодом 5, выполненным, например, в виде полого катода с эффективным термоэммиттером, например, из гексаборида лантана, в рабочем теле зажигают разряд. С помощью источников магнитодвижущей силы 16, 17, 18, 19, выполненных, например, в виде катушек, дополнительных катушек 23 и 24, полюсов 12, 13, 14, 15, магнитопровода 20 формируют в канале симметричное относительно оси плазменного ускорителя магнитное поле с максимумом в зоне ускорения в области выходного среза и с силовыми линиями 21, наклоненными к плоскости, перпендикулярной оси плазменного ускорителя, под углом α и направленными преимущественно нормально к стенкам 2 и 3 кольцевого канала (т.е. $\alpha = \beta$). Полюса 12, 13, 14, 15 и магнитопровод 20 выполнены из магнитомягкого материала. Величина максимума магнитного поля такова, что обеспечивает замагниченность электронов в зоне ускорения и затрудняет их свободное перемещение к аноду 4, поэтому основной ток разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях переносится ионами. Ускоренные в разряде ионы выходят из канала 1, их заряд нейтрализуется электронами, эмитируемыми катодом 5, и вместе они образуют плазменную струю, создающую тягу, вектор которой направлен по оси плазменного ускорителя.

При регулировании двигателя (ускорителя) с целью изменения угловых характеристик вектора тяги, т.е. при изменении режима работы (осуществление поворота или бокового смещения, что может быть получено за счет создания потоков, не имеющих круговую симметрию, и/или потоков, ось которых не совпадает с геометрической осью плазменного ускорителя), по крайней мере в одной из секций 6, 7, 8 коллектора меняют величину расхода рабочего тела (например, увеличивают), используя автономные подводы рабочего тела 9, 10, 11, при этом суммарный расход рабочего тела может оставаться постоянным за счет соответствующего изменения (уменьшения) расхода рабочего тела в других секциях. Это создает неоднородность концентрации частиц по азимуту, а следовательно, появляется неоднородный поток ионов, вытекающий из ускорителя, что приводит к боковому смещению вектора тяги.

Поскольку в плазменных ускорителях холловского типа силовые магнитные линии и эквипотенциали электрического поля приблизительно совпадают, а силовые магнитные линии 21 наклонены к плоскости,

перпендикулярной оси плазменного ускорителя, под углом α , то и эквипотенциали наклонены к этой плоскости, следовательно, вектор электрического поля не параллелен оси ускорителя, и имеется радиальная составляющая электрического поля (если угол α не равен нулю), которая создает импульс ионов, перпендикулярный оси плазменного ускорителя. Наличие азимутальной неоднородности ионного потока приводит к тому, что суммарный импульс от всех ионов, перпендикулярный оси, будет отличным от нуля, т.е. реализуется поворот вектора тяги. Если же поток ионов азимутально однороден (расход во всех секциях одинаков), то радиальные компоненты импульсов ионов при суммировании компенсируются и суммарный вектор тяги будет ориентирован вдоль оси плазменного ускорителя. При этом потери тяги могут быть вполне приемлемыми, если угол α не слишком велик; например, при $\alpha = 10^\circ$ потери не превысят 1,5% ($\cos 10^\circ = 0,985$).

Если поворот необходимо осуществлять только в одной плоскости, то достаточно иметь всего две независимые разнесенные по азимуту секции коллектора.

Очевидно, что для осуществления поворота вектора тяги в любом направлении достаточно трех (но может быть и больше) независимых разнесенных по азимуту секций коллектора.

Коллектор может также включать азимутально замкнутую секцию, которая может быть смещена вдоль оси плазменного ускорителя относительно разнесенных по азимуту секций.

Для того чтобы уменьшить угол расходимости истекающей струи, средняя линия 22 вдоль по течению рабочего тела по кольцевому каналу 1 наклонена к оси ускорителя под углом β , обеспечивающим истечение ускоренного потока рабочего тела в направлении к оси ускорителя.

Для облегчения задачи формирования магнитного поля, силовые линии 21 которого должны быть направлены преимущественно нормально к стенкам кольцевого канала, и для уменьшения эрозии внутренней стенки 2 канала полюс 12 внутренней подсистемы магнитной системы и выходной срез внутренней стенки 2 канала 1 расположены выше по течению рабочего тела по отношению к соответствующим внешним элементам, т.е. утоплены внутрь ускорителя.

Для того чтобы поворот вектора тяги за счет перераспределения расхода рабочего тела по азимуту (т.е. путем создания азимутальной неоднородности концентрации частиц) был более эффективен, угол наклона α силовых линий магнитного поля в области открытого конца канала должен быть увеличен. Это может быть осуществлено путем использования дополнительных катушек 23 и 24. Тогда будет $\alpha > \beta$.

Для усиления эффекта отклонения вектора тяги по крайней мере одну из магнитных подсистем магнитной системы выполняют в виде независимых разнесенных по азимуту секций, например, внешнюю, как показано на фиг.1, с полюсами 13, 14, 15 и источниками магнитодвижущей силы 17, 18, 19, причем секции магнитной подсистемы и секции коллектора располагают попарно на одном азимуте (13, 17 и 6; 14, 18 и 7; 15,

19 и 8 соответственно). Увеличение угла отклонения достигается тем, что поворот осуществляют одновременно созданием азимутальных неоднородностей потока ионов и магнитного поля. Однако осуществлять поворот можно и в случае использования только одного вида неоднородности (потока ионов или магнитного поля).

Роль независимых разнесенных по азимуту секций по крайней мере одной из подсистем магнитной системы этим не ограничивается. Наличие азимутальной неоднородности расхода рабочего тела при осуществлении поворота вектора тяги может приводить к возникновению неустойчивости, проявляющейся в том, что плотность электронного тока в области с повышенной концентрацией частиц может сильно возрасти. Во избежание этого явления в области с повышенной концентрацией частиц необходимо увеличить напряженность поперечного электрического магнитного поля. Эту функцию и должны выполнять указанные секции одной из подсистем магнитной системы.

Для расширения возможностей в реализации поворота вектора тяги (например, для более точного задания угла наклона вектора) можно изменять длительность действия создаваемых азимутальных неоднородностей расхода рабочего тела и магнитного поля, а также и величину этих неоднородностей.

Используя катушки 23 и 24, можно уменьшить угол α и получить $\alpha < \beta$, что целесообразно делать, когда поворот вектора тяги не требуется, и радиальную составляющую электрического поля лучше уменьшить или исключить совсем, чтобы избежать потери тяги.

Изменение угла α легче всего осуществлять, если внутренняя и внешняя магнитные подсистемы выполнены полностью независимыми с отдельными источниками магнитодвижущей силы и разделенными магнитопроводами, т.к. картина силовых линий магнитного поля определяется суперпозицией полей от этих подсистем. Наиболее эффективно изменение угла α осуществляется с помощью дополнительных катушек 23 и 24, питающихся независимо от разряда.

При регулировании ускорителя (двигателя) с целью изменения абсолютной величины вектора тяги или мощности, т.е. при изменении режима работы (при этом может меняться соотношение между током и напряжением, а потому и удельный импульс) изменяют разрядное напряжение или ток или одновременно оба параметра. Увеличивая (или уменьшая) ток в катушках 23 и 24, можно увеличивать (или уменьшать) величину напряженности магнитного поля в зоне ускорения, а также и изменять конфигурацию поля. Таким образом, появляется возможность приводить в соответствие величину и конфигурацию магнитного поля с режимами работы плазменного ускорителя (по мощности, соотношению тока и напряжения), тем самым получать оптимальные параметры двигателя не только на номинальном режиме.

Таким образом, дополнительные источники магнитодвижущей силы, выполненные в виде магнитных катушек 23 и

24, питаемых независимо от разряда, играют важную роль при регулировании двигателя; это относится и к повороту вектора тяги, и к изменению его абсолютной величины, и к изменению мощности истекающей струи, и к изменению соотношения между током и напряжением. Таких катушек может быть две (у внутренней и внешней магнитных подсистем, как показано на фиг. 2) или только одна (в одной из подсистем), при этом конструкция упрощается, но уменьшаются функциональные возможности.

Для снижения энергетических затрат на создание магнитного поля внешнюю и внутреннюю подсистемы магнитной системы выполняют соединенными магнитопроводом 20.

Для уменьшения влияния изменений магнитного поля на условия работы катода 5 при повороте вектора тяги катод и подсистему магнитной системы, выполненную в виде секций, размещают по разные стороны канала.

Для упрощения конструкции анод выполняют в виде коллектора, т.е. в одном узле совмещают функции анода и коллектора.

Таким образом, в предложенном способе ускорения ионов и реализующем его устройстве изменение характеристик вектора тяги осуществляют благодаря использованию пяти факторов воздействия, а также их комбинаций: создание азимутальной неоднородности концентрации частиц в зоне ионизации, создание азимутальной неоднородности магнитного поля в зоне ускорения, изменение угла наклона силовых магнитных линий (угол α) при соблюдении азимутальной однородности магнитного поля, изменение абсолютной величины и конфигурации магнитного поля, изменение геометрии ускорительного канала (введение угла β). Указанные воздействия позволяют целенаправленно изменять характеристики истекающей струи в широком диапазоне изменения параметров ускорителя (двигателя).

В результате данное техническое решение позволяет существенно повысить эффективность плазменного ускорителя при реализации операции поворота вектора тяги (увеличение угла поворота без ухудшения других характеристик), а также и при использовании его в широком диапазоне мощностей (в частности, токов и напряжений). Плазменный ускоритель (двигатель) становится многорежимным при сохранении высоких качеств (максимальный КПД, низкий уровень колебаний, малая скорость эрозии, оптимальный угол расходимости струи и т.д.). Такой плазменный ускоритель (двигатель) может быть использован на космических аппаратах одновременно как для выполнения транспортных задач, так и в целях управления, стабилизации и коррекции, а также удобен для компенсации неточностей изготовления двигателя и в других целях. Двигатель может эффективно использоваться на сложных траекториях полета космического аппарата при оптимальном изменении параметров двигателя.

Формула изобретения:

1. Способ ускорения ионов в азимутально замкнутых осесимметричных кольцевых каналах плазменных ускорителей холловского типа, включающий подачу рабочего тела в

зону ионизации, наложение электрического поля в зоне ускорения путем подачи разности потенциалов на электроды, наложение поперечного электрическому, направленного преимущественно нормально к стенкам канала магнитного поля с максимумом в зоне ускорения в области выходного среза и величиной максимума, обеспечивающей замагниченность электронов, зажигание разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях, создание азимутальной неоднородности параметров в ускорительном канале, отличающийся тем, что электрическое поле в зоне ускорения направляют не параллельно оси ускорителя, рабочее тело подают в зону ионизации неравномерно по азимуту и в зоне ускорения накладывают азимутально неоднородное магнитное поле, причем неоднородности расхода рабочего тела и магнитного поля создают в одних и тех же азимутальных областях.

2. Способ ускорения ионов по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно в зоне ускорения накладывают азимутально однородное магнитное поле, отклоняющее направление силовых линий от преимущественно нормального к стенкам канала и/или изменяющее его величину и конфигурацию.

3. Способ ускорения ионов по любому из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что изменяют длительность действия создаваемых неоднородностей расхода рабочего тела и магнитного поля и/или величину этих неоднородностей.

4. Плазменный ускоритель с замкнутым дрейфом электронов, содержащий азимутально замкнутый кольцевой канал для ионизации и ускорения рабочего тела, образованный в направлении оси плазменного ускорителя двумя соосными с ним внутренней и внешней стенками и открытый с одного конца, азимутально замкнутый анод и коллектор для подачи рабочего тела в канал, расположенные в нем у конца, противоположного открытому, по крайней мере один катод, размещенный вне канала у его открытого конца, магнитную систему, создающую в канале азимутально однородное относительно оси плазменного ускорителя магнитное поле, направленное преимущественно нормально к стенкам канала, и состоящую из внутренней и

внешней подсистем, расположенных по разные стороны канала и включающих источники магнитодвижущей силы, полюса и магнитопроводы, отличающийся тем, что кольцевой канал выполнен с непараллельной оси ускорителя средней вдоль по течению рабочего тела линией, коллектор выполнен с по крайней мере двумя независимыми разнесенными по азимуту секциями с автономными подводами рабочего тела, по крайней мере одна из подсистем магнитной системы включает в себя независимые разнесенные по азимуту секции, причем секции этой магнитной подсистемы и коллектора расположены попарно на одном азимуте.

5. Плазменный ускоритель по п. 4, отличающийся тем, что средняя линия наклонена к оси ускорителя под углом, обеспечивающим истечение ускоренного потока рабочего тела в направлении к оси ускорителя.

6. Плазменный ускоритель по п. 5, отличающийся тем, что полюс внутренней подсистемы магнитной системы и выходной срез внутренней стенки канала расположены выше по течению по отношению к соответствующим внешним элементам.

7. Плазменный ускоритель по любому из пп. 4-6, отличающийся тем, что по крайней мере одна из подсистем магнитной системы содержит дополнительный источник магнитодвижущей силы, выполненный в виде магнитной катушки, питающейся независимо от разряда.

8. Плазменный ускоритель по любому из пп. 4-7, отличающийся тем, что внутренняя и внешняя подсистемы магнитной системы выполнены независимыми с отдельными источниками магнитодвижущей силы и разделенными магнитопроводами.

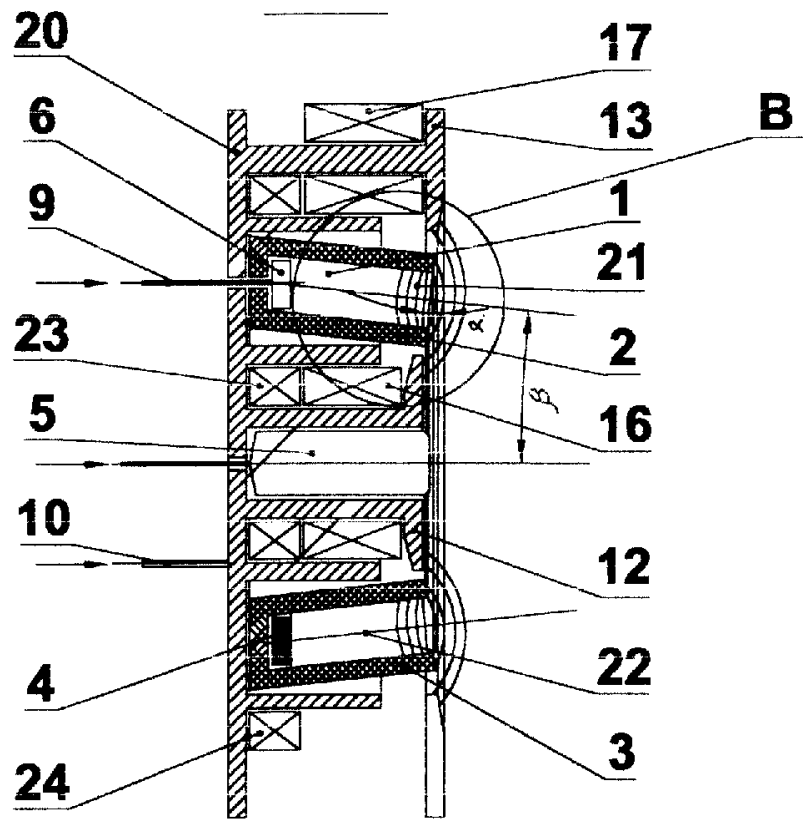
9. Плазменный ускоритель по любому из пп. 4-8, отличающийся тем, что внутренняя и внешняя подсистемы магнитной системы соединены магнитопроводом.

10. Плазменный ускоритель по любому из пп. 4-9, отличающийся тем, что по крайней мере один катод и подсистема магнитной системы, выполненная в виде секций, размещены по разные стороны канала.

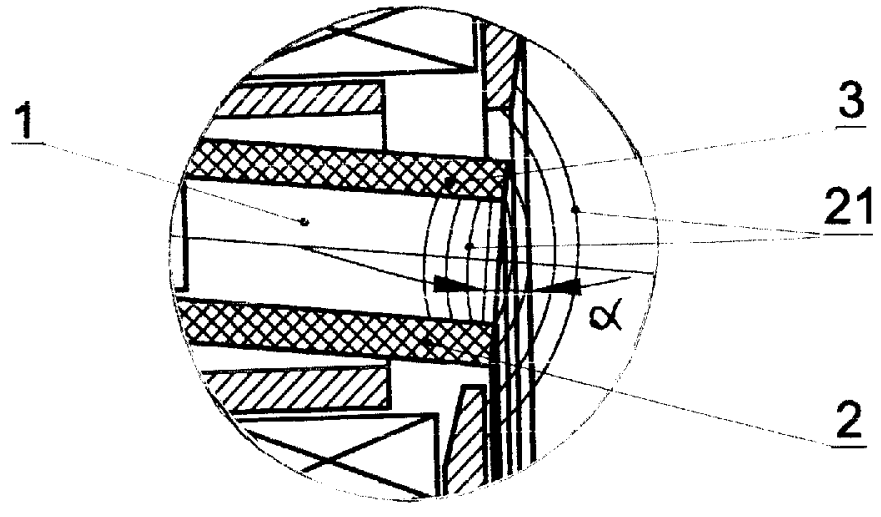
11. Плазменный ускоритель по любому из пп. 4-10, отличающийся тем, что анод выполнен в виде коллектора.

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60

A-A



Фиг. 2
В



Фиг. 3

RU 2196397 C2

RU 2196397 C2