



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 092 983** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>6</sup> **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: 96105557/25, 01.04.1996

(46) Дата публикации: 10.10.1997

(56) Ссылки: 1. Патент РФ N 2030134, кл. H 01 H 1/54, F 03 H 1/00, 1995. 2. Плазменный ускоритель и ионные инжекторы. - М.: Наука, 1984, с. 108, 130.

(71) Заявитель:

Исследовательский центр им.М.В.Келдыша,  
Яшнов Юрий Михайлович

(72) Изобретатель: Баранов В.И.,

Васин А.И., Петросов В.А., Яшнов Ю.М.

(73) Патентообладатель:

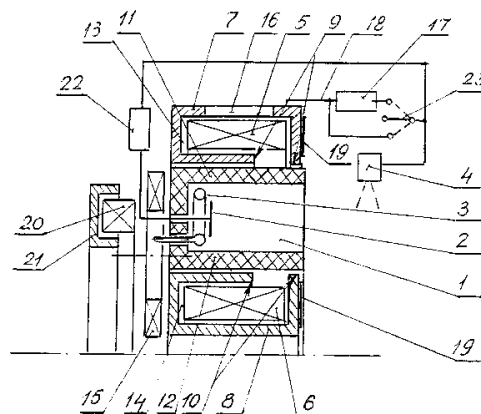
Исследовательский центр им.М.В.Келдыша,  
Яшнов Юрий Михайлович

(54) **ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ**

(57) Реферат:

Использование: плазменная техника, при конструировании плазменных ускорителей с замкнутым дрейфом электронов, предназначенных для работы в космических условиях в качестве электрических ракетных двигателей и для решения технологических задач. Сущность изобретения: в плазменном ускорителе с замкнутым дрейфом электронов магния система содержит по крайней мере два азимутально замкнутых соосных с осью ускорителя магнитных экранов. Края двух экранов попарно размещены вне ускорительного канала по разные стороны от его внутренней и внешней стенок. Экраны образуют азимутально замкнутые полости, внутри которых располагаются источники магнитодвижущей силы. Изобретение существенно расширяет возможности изменения конфигурации магнитного поля в канале ускорителя - вплоть до вынесения максимума поля за выходной срез канала ускорителя и нулевого значения поля вблизи анода, что невозможно достичь в известных технических решениях. Это позволяет значительно улучшить основные

характеристики плазменного ускорителя: увеличить КПД и ресурс, снизить интенсивность колебаний тока и угол расходимости плазменной струи, а также улучшить массогабаритные характеристики. 13 з.п.ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

RU 2 092 983 C1

RU 2 092 983 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 092 983** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>6</sup> **H 05 H 1/54, F 03 H 1/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 96105557/25, 01.04.1996

(46) Date of publication: 10.10.1997

(71) Applicant:  
Issledovatel'skij tsentr im.M.V.Keldysha,  
Jashnov Jurij Mikhajlovich

(72) Inventor: Baranov V.I.,  
Vasin A.I., Petrosov V.A., Jashnov Ju.M.

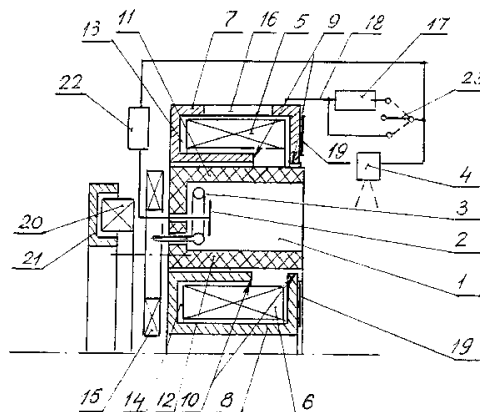
(73) Proprietor:  
Issledovatel'skij tsentr im.M.V.Keldysha,  
Jashnov Jurij Mikhajlovich

(54) **PLASMA ACCELERATOR**

(57) Abstract:

FIELD: plasma engineering; plasma accelerators with closed-circuit electron drift used under space conditions as electric rocket engines and as facilities solving engineering problems. SUBSTANCE: accelerator magnetic system has at least two magnetic screens closed in azimuth and placed coaxially to accelerator axis. Edges of two screens are placed in pair beyond accelerator channel on either side of its external and internal walls. Screens form spaces closed in azimuth and accommodating magnetomotive force sources. EFFECT: enlarged capabilities of changing magnetic field configuration in accelerator channel; improved efficiency and service life of plasma accelerator, reduced intensity of current fluctuations and plasma jet separation angle, reduced size and weight.

14 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 0 9 2 9 8 3 C 1

RU 2 0 9 2 9 8 3 C 1

Изобретение относится к плазменной технике и может быть использовано при конструировании электрических ракетных двигателей, в частности плазменных ускорителей с замкнутым дрейфом электронов, предназначенных для работы в космических условиях для выполнения транспортных задач, а также 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 (защитных, эмиссионных и т. п.) и создания полупроводников, в вакуумной металлургии для совершенствования поверхностных характеристик металлов и сплавов, а также в других областях техники.

Известны плазменные ускорители (двигатели) с замкнутым дрейфом электронов (или холловские ускорители), которые в зависимости от токопроводящих свойств материала стенок ускорительного канала условно делятся на два типа: стационарные плазменные двигатели СПД (материал стенок диэлектрик) и двигатели с анодным слоем ДАС (материал стенок металл) (Кирдяшев К.П. Высокочастотные волновые процессы в плазмодинамических системах. М. Энергоатомиздат, 1982, с. 14-15). В этих устройствах параметры основных характеристик, таких как КПД, долговечность, интенсивность колебаний тока и др. определяются пространственной конфигурацией магнитного поля в ускорительном канале, которая в свою очередь зависит от местоположения и геометрии (размеров и формы) полюсов магнитопровода магнитной системы.

Недостатком таких устройств является невозможность достижения удовлетворительных параметров, поскольку возможности вариации магнитного поля невелики: пространственный масштаб влияния геометрии полюса любого магнита ограничен характерным размером полюса, и для осуществления влияния на конфигурацию магнитного поля в канале необходимо увеличивать размеры полюса; ситуация усугубляется еще и тем, что канал расположен на значительном расстоянии от полюса. Кроме того, увеличение размеров полюсов магнита резко ухудшает массогабаритные характеристики ускорителя.

Известно техническое решение (Заявка РСТ 92/08744 от 15.07.92, FR), позволяющее формировать конфигурацию магнитного поля в канале путем введения дополнительных катушек.

Недостатком этого решения являются усложнение конструкции ускорителя, увеличение его массогабаритных характеристик, снижение надежности из-за введения дополнительных цепей питания.

Ближайшим техническим решением является плазменный ускоритель с замкнутым дрейфом электронов, содержащий азимутально замкнутый канал для ионизации и ускорения рабочего тела, образованный в направлении оси ускорителя двумя соосными с ним стенками и открытый с одной стороны, азимутально замкнутые анод и коллектор для подачи рабочего тела в канал, расположенные в нем у стороны, противоположной открытой, по крайней мере

один катод, размещенный вне канала у его открытой стороны, магнитную систему, расположенную вне канала, включающую по крайней мере один источник магнитодвижущей силы, выполненный в виде катушек; магнитопровод с внешним и внутренним полюсами, источники электропитания (Плазменные ускорители и ионные инжекторы. М. Наука, 10984, с.108, 130).

Недостатком этого устройства является то, что изменение конфигурации магнитного поля в канале можно проводить только увеличивая размеры полюсов, то есть магнитопровода, что с неизбежностью приведет к ухудшению массогабаритных характеристик ускорителя. Кроме того, изменение размера полюса ограничено интервалом от половины до ширины канала, и вне этих размеров влияние геометрии полюсов на конфигурацию магнитного поля в канале не ощутимо, то есть нельзя уменьшить интенсивности эрозии стенок канала и плазменных колебаний в нем, то есть увеличить долговечность и КПД ускорителя.

Техническим результатом предложенного технического решения является увеличение КПД, долговечности, снижение интенсивности колебаний тока, угла расхождения плазменной струи, улучшение массогабаритных характеристик плазменного ускорителя.

Технический результат достигается тем, что в плазменном ускорителе с замкнутым дрейфом электронов, содержащем азимутально замкнутый канал для ионизации и ускорения рабочего тела, образованный в направлении оси ускорителя двумя соосными с ним стенками и открытый с одной стороны, азимутально замкнутые анод и коллектор для подачи рабочего тела в канал, расположенные в нем со стороны, противоположной открытой, по крайней мере один катод, размещенный вне канала у его открытой стороны, магнитную систему, расположенную вне канала и содержащую по крайней мере один источник магнитодвижущей силы, и источники электропитания, магнитная система выполнена в виде по крайней мере двух тонкостенных и по крайней мере двусвязных, азимутально замкнутых, симметричных, соосных с осью ускорителя магнитных экранов, края двух из которых попарно расположены у стенок по разные стороны канала, а два края из разных пар размещены у его открытой стороны, при этом магнитные экраны образуют азимутально замкнутые полости, а в каждой полости, по крайней мере два края которой расположены по одну сторону канала, установлен по крайней мере один источник магнитодвижущей силы; причем экраны выполнены из магнитомягкого материала; экраны выполнены неоднородными по толщине; по крайней мере один источник магнитодвижущей силы выполнен в виде постоянного магнита; по крайней мере один источник магнитодвижущей силы выполнен в виде азимутально замкнутой катушки, соосной с осью ускорителя; стенки канала выполнены из диэлектрика или из токопроводящего материала; магнитная система содержит по крайней мере два независимых несоосных с осью ускорителя источника магнитодвижущей

силы, азимутальный угол между которыми меньше  $180^\circ$ ; каждый экран выполнен по крайней мере с одной щелью, ориентированной по направлению магнитного потока в экране; по крайней мере один экран соединен электрически с источником постоянного напряжения или с катодом; по крайней мере часть внешней по отношению к источнику магнитодвижущей силы поверхности по крайней мере одного экрана покрыта эрозионно стойкой пленкой; по крайней мере часть внешней по отношению к источнику магнитодвижущей силы поверхности, расположенной у открытой стороны канала, по крайней мере одного экрана покрыта пленкой с высоким коэффициентом фотоэмиссии; магнитная система содержит соосный с ускорителем источник магнитодвижущей силы, расположенный у стороны канала, противоположной открытой, на расстоянии от нее, большем ширины канала.

Изобретение иллюстрируется чертежами, где на фиг. 1 показан схематично разрез плазменного ускорителя; на фиг. 2 пример исполнения ускорителя с одним источником магнитодвижущей силы.

Ускоритель содержит ускорительный канал 1, анод 2 и коллектор 3 для подачи рабочего тела в канал, расположенные в канале, катод 4, расположенный вне канала, магнитную систему, состоящую из источников магнитодвижущей силы 5 и 6 и магнитных экранов 7 и 8, края 9 и 10 которых расположены у стенок 11 и 12 ускорительного канала, а сами экраны образуют полости 13 и 14. В них располагают источники магнитодвижущей силы 5 и 6. Ускоритель также содержит две несоосные с осью ускорителя катушки 15. В экранах выполнены щели 16, а на экраны от источника постоянного напряжения 17 можно подавать потенциал, или они с помощью проводника 18 могут быть соединены с катодом. Поверхности экранов покрыты пленкой 19. За анодом ускорителя размещена дополнительная катушка 20 с соответствующим экраном 21. Ускоритель питают от источника постоянного напряжения 22. Подачу потенциала на экран 7 производят ключом 23.

Ускоритель работает следующим образом.

Рабочее тело, например ксенон, через коллектор 3 подают в ускорительный канал 1. Между анодом 2, выполненным из тугоплавкого металла, например молибдена, и катодом-нейтрализатором 4 (например полым катодом с высокоэффективным термоэмиттером из гексаборида лантана) прикладывают постоянное напряжение от источника 22, и в рабочем теле, находящемся в канале, происходит образование ионов и электронов. Ионы, ускоряясь внешним электрическим полем, возникающим между анодом и катодом, выходят из канала, формируя поток. Электроны, эмиттируемые катодом, разбиваются на две группы, одна идет на компенсацию заряда ионов вне канала, другая поступает в канал и идет на анод. Источники магнитодвижущей силы, например, катушки 5 и 6, и магнитные экраны 7 и 8, выполненные из магнитомягкого материала, формируют в канале преимущественно перпендикулярное оси ускорителя магнитное поле такой величины и

конфигурации, что электроны в силу замагниченности медленно протекают с катода на анод. Ионы, наоборот, не замагничены, поэтому основная часть тока в ускорителе переносится ионами, что и требуется для его нормального функционирования. Максимальную величину магнитного поля (около 200 эрстед) получают в области выходного среза ускорителя; а в области анода поле уменьшают по крайней мере в несколько раз. Изменением расстояния вдоль оси между краями 9 и 10 экранов 7 и 8, а также величины магнитодвижущей силы можно менять в широких пределах конфигурацию магнитного поля в канале. Прикладываемое между анодом и катодом напряжение должно быть больше 80-100 В (и обыкновенно менее 1-2 кВ), что позволяет получить скорости истечения рабочего тела от 10 км/с и выше.

Для обеспечения однородности в намагничивании экранов 7 и 8, например, при смене полярности тока катушек в источнике магнитодвижущей силы, а также для исключения влияния остаточной намагниченности экранов на окружающие ускоритель объекты в перерыве его работы, магнитные экраны выполнены из магнитомягкого материала (малая остаточная намагниченность).

Поскольку при конструировании ускорителя магнитный поток в различных местах экранов может быть различен, то для повышения эффективности их работы и уменьшения массы целесообразнее выполнить экраны неоднородными по толщине, например, элементы экранов, расположенные ближе к оси ускорителя, выполняют толще.

При конструировании маломощных и миниатюрных ускорителей эффективнее в качестве источников магнитодвижущей силы 5 и 6 выбрать постоянные магниты, например, на основе самарий-кобальта. И наоборот, при изготовлении мощного ускорителя с системой управления его характеристиками через магнитное поле в канале источники магнитодвижущей силы 5 и 6 целесообразнее выполнить в виде катушек.

Для создания ускорителя с параметрами, аналогичными параметрам СПД, необходимо стенки канала 11 и 12 выполнить из диэлектрика, например, нитрид-бора, а применительно к ДАС стенки канала необходимо выполнять из токопроводящего материала, например, парамагнитного металла.

Для осуществления управления направлением потока ионов, генерируемого ускорителем (следовательно, и вектора тяги), необходимо ввести по крайней мере два независимых несоосных с осью ускорителя источника магнитодвижущей силы, например, две несоосных с осью ускорителя катушки 15, которые позволяют создавать азимутально неоднородное магнитное поле в канале, необходимое для отклонения потока ионов, причем азимутальный угол между этими источниками должен быть меньше  $180^\circ$  что обеспечит отклонение потока от оси в требуемом направлении.

В экране 7, окружающем катушку с током, используют щели 16 для уменьшения тепловых нагрузок в ускорителе. Через щели выделяемое катушкой тепло обрасывают

излучением в окружающее пространство, причем для уменьшения степени влияния щели на магнитное поле в экране ее ориентируют по магнитному потоку в нем, то есть щели выполняют продольными (вдоль оси).

Для осуществления управлением процессами в плазме вне канала, а, следовательно, потоком ионов, генерируемых ускорителем, на экран с помощью источника постоянного напряжения 17 можно через ключ 23 подавать электрический потенциал, например относительно катода, величиной до нескольких десятков вольт, что корректирует электрическое поле в пространстве, через которое проходят ионы.

Для улучшения характеристик ускорителя, стенки канала которого выполнены из токопроводящего материала, эффективнее одновременно со стенками канала, находящимися, как правило, под потенциалом катода, соединить экран 7 проводником 18 с катодом через ключ 23.

Для повышения долговечности, обусловленной ионным распылением элементов конструкции ускорителя, внешние поверхности экранов по отношению к источникам магнитодвижущей силы покрыты пленкой 19, например, из керамического материала (например, окиси алюминия), который имеет меньший коэффициент ионного распыления по сравнению с металлами.

Для уменьшения нагрузки на основной катод 4, вплоть до полного его выключения во время работы ускорителя, возможно покрытие 19 выполнить из вещества с высокой фотоэлектронной эмиссионной активностью. Такое покрытие будет интенсивно эмитировать электроны под действием излучения плазмы.

Для корректировки конфигурации магнитного поля в канале у анода можно ввести дополнительную катушку 20, окруженную со стороны, дальней от анода, магнитным экраном 21.

Таким образом, изобретение существенно расширяет возможности изменения конфигурации магнитного поля в канале ускорителя вплоть до вынесения максимума поля из канала за срез ускорителя и получения нулевого значения поля вблизи анода, что невозможно достичь в известных технических решениях. Это позволяет значительно улучшить основные характеристики ускорителя (двигателя): повысить КПД, увеличить долговечность, снизить интенсивность колебаний тока, уменьшить угол расходимости истекающего потока плазмы (улучшить фокусировку). Кроме того, улучшаются массогабаритные характеристики ускорителя.

#### Формула изобретения:

1. Плазменный ускоритель с замкнутым дрейфом электронов, содержащий азимутально замкнутый канал для ионизации и ускорения рабочего тела, образованный в направлении оси ускорителя двумя соосными с ним стенками и открытый с одной стороны, азимутально замкнутые анод и коллектор для подачи рабочего тела в канал, расположенные в нем со стороны, противоположной открытой, по крайней мере один катод, размещенный вне канала у его

открытой стороны, магнитную систему, расположенную вне канала и содержащую по крайней мере один источник магнитодвижущей силы, и источники электропитания, отличающийся тем, что магнитная система выполнена в виде по крайней мере двух тонкостенных и по крайней мере двусвязных, азимутально замкнутых, симметричных, соосных с осью ускорителя магнитных экранов, края двух из которых попарно расположены у стенок по разные стороны канала, а два края из разных пар размещены у его открытой стороны, при этом магнитные экраны образуют азимутально замкнутые полости, а в каждой полости, по крайней мере два края которой расположены по одну сторону канала, установлен по крайней мере один источник магнитодвижущей силы.

2. Ускоритель по п.1, отличающийся тем, что экраны выполнены из магнитомягкого материала.

3. Ускоритель по пп.1 и 2, отличающийся тем, что экран выполнены неоднородными по толщине.

4. Ускоритель по пп. 1 3, отличающийся тем, что по крайней мере один источник магнитодвижущей силы выполнен в виде постоянного магнита.

5. Ускоритель по пп. 1 3, отличающийся тем, что по крайней мере один источник магнитодвижущей силы выполнен в виде азимутально замкнутой катушки, соосной с осью ускорителя.

6. Ускоритель по пп.1 5, отличающийся тем, что стенки канала выполнены из диэлектрика.

7. Ускоритель по пп.1 5, отличающийся тем, что стенки канала выполнены из токопроводящего материала.

8. Ускоритель по пп.1 7, отличающийся тем, что магнитная система содержит по крайней мере два независимых несоосных с осью ускорителя источника магнитодвижущей силы, азимутальный угол между которыми меньше  $180^\circ$ .

9. Ускоритель по пп.1 8, отличающийся тем, что каждый экран выполнен по крайней мере с одной щелью, ориентированной по направлению магнитного потока в экране.

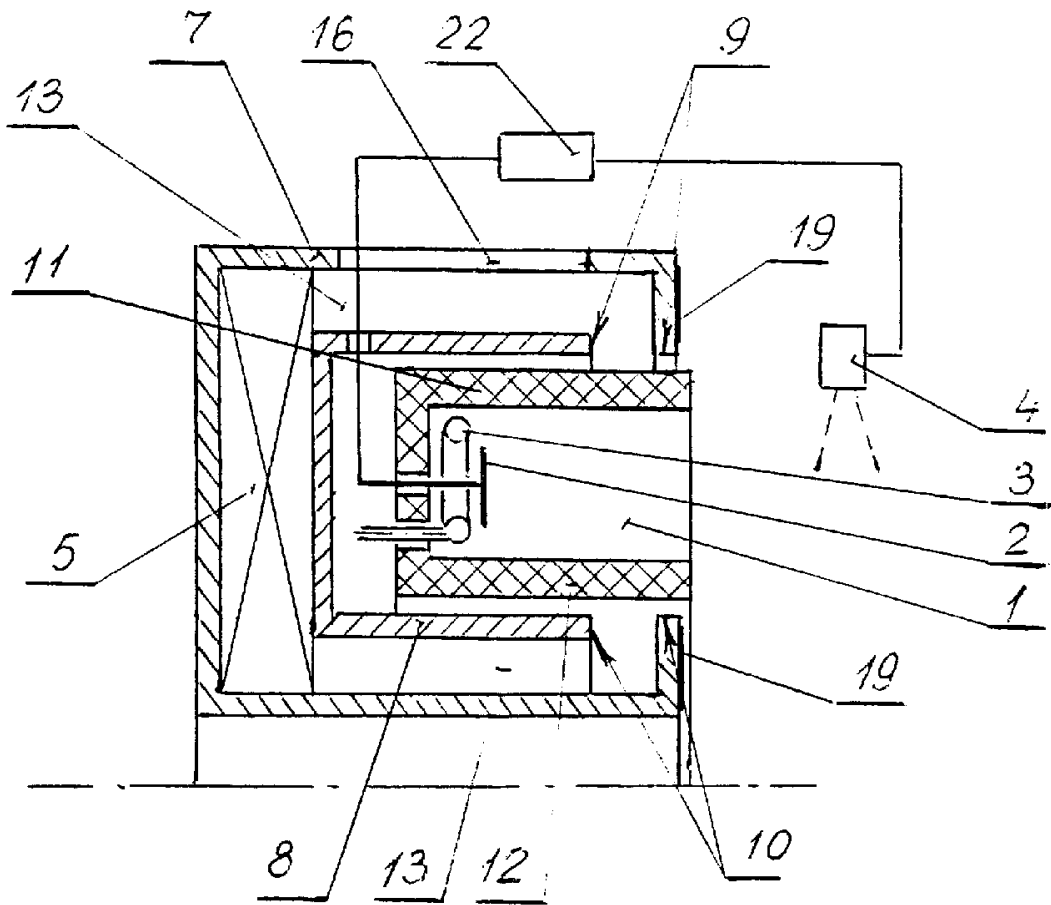
10. Ускоритель по пп.1 9, отличающийся тем, что по крайней мере один экран соединен электрически с источником постоянного напряжения.

11. Ускоритель по п.7, отличающийся тем, что по крайней мере один экран соединен электрически с катодом.

12. Ускоритель по пп.1 11, отличающийся тем, что по крайней мере часть внешней по отношению к источнику магнитодвижущей силы поверхности по крайней мере одного экрана покрыта эрозионно стойкой пленкой.

13. Ускоритель по пп.1 12, отличающийся тем, что по крайней мере часть внешней по отношению к источнику магнитодвижущей силы поверхности, расположенной у открытой стороны канала по крайней мере одного экрана покрыта пленкой с высоким коэффициентом фотоэмиссии.

14. Ускоритель по пп. 1 13, отличающийся тем, что магнитная система содержит соосный с ускорителем источник магнитодвижущей силы, расположенный у стороны канала, противоположной открытой, на расстоянии от нее, большем ширины канала.



Фиг. 2