



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 072 447** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>6</sup> **F 03 H 1/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 94041583/25, 15.11.1994

(46) Дата публикации: 27.01.1997

(56) Ссылки: Космические двигатели: состояние и перспективы, М., "Мир", 1988, с.188. 2. Там же, с.186.

(71) Заявитель:  
Общественно-государственный  
межрегиональный фонд реабилитации  
территорий, подвергшихся радиоактивным  
воздействиям

(72) Изобретатель: Герценштейн М.Е.,  
Клавдиев В.В.

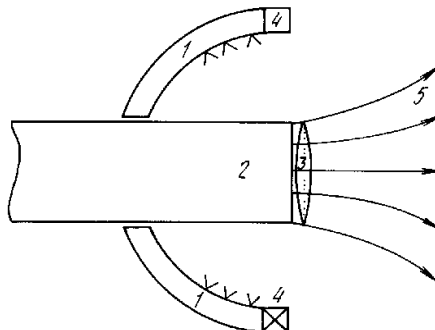
(73) Патентообладатель:  
Общественно-государственный  
межрегиональный фонд реабилитации  
территорий, подвергшихся радиоактивным  
воздействиям

### (54) СПОСОБ СОЗДАНИЯ ТЯГИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАКЕТНОМ ДВИГАТЕЛЕ

(57) Реферат:

Использование: космическая техника, в частности ракетные двигатели. Сущность изобретения: способ создания тяги в электрическом ракетном двигателе заключается в инициировании разряда по поверхности рабочего тела и нагреве образующихся паров до состояния плазмы, которая ускоряется под действием газодинамических сил. Нагрев производят с помощью фазированных СВЧ-пучков, излучающих на частоте электронного циклотронного резонанса. Зона нагрева расположена на расстоянии, составляющем 0,1 - 0,2 от минимального размера испаряющейся части поверхности. На зону

нагрева накладывают магнитное поле, перпендикулярное испаряющейся части поверхности рабочего тела. 1 ил.



RU 2 072 447 C1

RU 2 072 447 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 072 447** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) Int. Cl.<sup>6</sup> **F 03 H 1/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 94041583/25, 15.11.1994

(46) Date of publication: 27.01.1997

(71) Applicant:  
Obshchestvenno-gosudarstvennyj  
mezhhregional'nyj fond reabilitatsii  
territorij, podvergshikhsja radioaktivnym  
vozdeystvijam

(72) Inventor: Gertsenshtejn M.E.,  
Klavdiev V.V.

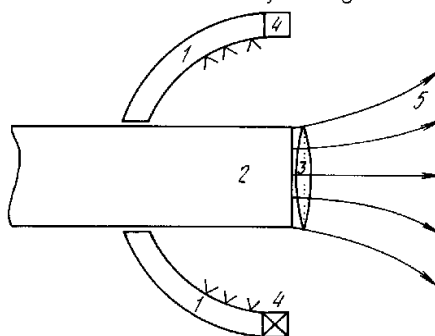
(73) Proprietor:  
Obshchestvenno-gosudarstvennyj  
mezhhregional'nyj fond reabilitatsii  
territorij, podvergshikhsja radioaktivnym  
vozdeystvijam

(54) **METHOD OF PRODUCING THRUST IN ELECTRICAL ROCKET ENGINE**

(57) Abstract:

FIELD: rocket engine engineering.  
SUBSTANCE: method comprises initiating a charge over the surface of a fluid and heating vapor obtained up to a plasma condition which is accelerated under the action of hydrodynamic forces. The heating is conducted by the use of phased microwave beams at a frequency of electron cyclotron resonance. The heating zone is at a distance of 0.1-0.2 of the minimum size of the evaporating portion of the surface. A magnetic field perpendicular to the evaporating portion of the surface of the fluid is superimposed on the heating zone.

EFFECT: enhanced efficiency. 1 dwg



RU 2 072 447 C1

RU 2 072 447 C1

Изобретение относится к созданию тяги с использованием плазмы и может быть применено для создания двигателя, пригодного для доставки полезного груза с орбиты искусственного спутника Земли на геостационарные орбиты, или для полета к Марсу и другим планетам Солнечной системы.

Известен способ создания тяги в ракетных двигателях, основанный на преобразовании энергии сгорания химического топлива ракеты в направленное движение истекающих газов [1]

Основной недостаток этого способа состоит в том, что скорость истечения газов слишком мала (всего 4-5 км/с), что приводит при решении перечисленных полетных задач к недопустимо малому отношению массы полезной нагрузки к стартовой массе ракеты. Этот недостаток устраняется при электрическом способе создания тяги.

Известен способ создания тяги в электрических ракетных двигателях, в которых ускорение рабочего тела ионного пучка осуществляется постоянным электрическим полем [2]

Главным недостатком электростатического способа создания тяги является малая плотность тяги, что (при обеспечении приемлемого времени межпланетных перелетов) ведет к необходимости использования слишком большого числа двигателей.

Известен способ создания тяги в различных электрических ракетных двигателях, в которых рабочее тело (газ) нагревается путем пропускания через него тока, а ускорение полученной плазмы происходит за счет электромагнитных сил, возникающих при взаимодействии тока с собственным электромагнитным полем [3]

Электромагнитный способ создания тяги имеет следующие недостатки: рабочая скорость реактивной плазменной струи ограничена эрозией электродов и недостаточной величиной для оптимального выполнения полетных задач межпланетных орбитальных перелетов, хотя рекордные значения скорости могут быть много больше рабочей; импульсный режим работы, применяемый при электромагнитном ускорении рабочего тела приводит к малой величине средней тяги.

Наиболее близким к изобретению является способ создания тяги в электрическом ракетном двигателе, основанный на газодинамическом ускорении плазмы, полученной путем нагрева паров, истекающих с плоской части поверхности твердого рабочего тела [4] Газодинамический способ создания тяги в электрическом ракетном двигателе реализован в импульсном плазменном двигателе на фторопласте. Тяга создается путем разряда конденсатора в поверхностном слое твердого фторопласта. В процессе разряда происходит испарение фторопласта и нагрев паров до плазменного состояния. Образовавшаяся плазма ускоряется под действием газодинамических сил, обусловленных омическим нагревом плазмы протекающим током.

Одновременно с газодинамическим имеет место дополнительный - электромагнитный механизм ускорения плазмы -, существующий за счет взаимодействия тока с собственным

магнитным полем.

Известному способу-прототипу присущи следующие недостатки:

нагрев плазмы в прототипе осуществляется контактным образом путем протекания по плазме разрядного тока, замкнутого на подводящие электроды, поэтому скорость истечения реактивной струи ограничена предельной температурой, которую могут выдержать электроды без заметной эрозии во время длительного перелета;

емкостный способ накопления энергии определяет импульсный характер создания тяги, что значительно снижает величину средней тяги.

Техническая задача изобретения разработка способа создания тяги, свободной от отмеченных недостатков и характеризующегося высокой скоростью реактивной струи при стационарном режиме работы и умеренной величине тяги.

Задача достигается тем, что при осуществлении известного способа после инициирования разряда по плоской части поверхности твердого рабочего тела, последующий нагрев истекающих паров производят с помощью системы СВЧ-пучков, получаемых посредством установленной на двигателе фазированной антенной решетки, излучающей на частоте электронного циклотронного резонанса, при этом зону нагрева формируют со стороны испаряющейся части поверхности рабочего тела на расстоянии, составляющим 0,1-0,2 от минимального размера поверхности и накладывают на зону нагрева постоянное магнитное поле, перпендикулярное к испаряющейся части поверхности рабочего тела.

Положительный эффект предлагаемого изобретения заключается в следующем:

благодаря локализации области нагрева около испаряющейся части поверхности твердого рабочего тела обеспечивается эффективный газодинамический способ ускорения плазмы без применения сопла, разрядной камеры и подводящих электродов;

благодаря отсутствию потерь тепла на стенки сопла и электроды не существует принципиальных ограничений на температуру, а следовательно, и скорость реактивной струи, которая (при наличии достаточно мощного источника нагрева) может достигать значений 50-100 км/с и больше;

применение мощного источника высокочастотной энергии непрерывного действия обеспечивает стационарный режим работы двигателя при высоком уровне тяги;

благодаря тому, что тепловой поток от зоны нагрева направлен только на единственный элемент конструкции (испаряющуюся часть поверхности рабочего тела), удается решить самый сложный вопрос применения электрических ракетных двигателей - обеспечить практически неограниченный ресурс работы;

использование системы фазированных СВЧ излучателей, с помощью которых легко менять мощность и местоположение зоны нагрева, позволяет в широких пределах управлять величиной и направлением тяги, обеспечивая тем самым решение самых разнообразных полетных задач.

Изобретение поясняется чертежом, на котором изображена блок-схема устройства, реализующего предлагаемый способ.

Способ осуществляется следующим образом.

В плоском поверхностном слое твердого тела инициируется разряд, который приводит к испарению этого слоя и частичной ионизации разлетающихся паров. Пары разлетаются под действием собственного давления и попадают в зону нагрева, которая создается с помощью антенной решетки, излучающей СВЧ-пучки. Фазы пучков подобраны так, чтобы плотность СВЧ-энергии была сосредоточена в ограниченном плоском слое пространства, отстоящем от испаряющейся поверхности на расстоянии, не превышающем 0,1-0,2 от размеров самой поверхности. На таком расстоянии от поверхности газодинамическая скорость разлетающихся паров будет практически, за исключением незначительных краевых эффектов, направлена перпендикулярно поверхности.

Проходя зону нагрева, пары полностью ионизуются. Для усиления процесса нагрева, он производится на частоте электронного циклотронного резонанса. Для этого зона нагрева помещается в магнитное поле, величина которого в зоне нагрева соответствует резонансному поглощению СВЧ-энергии электронами. Магнитное поле направлено перпендикулярно плоской поверхности твердого тела и совпадает с направленным потоком паров и образующейся плазмы.

Таким образом, в зоне нагрева происходит зажигание СВЧ-разряда. Образование горячей плазмы сопровождается процессами возбуждения и диссоциации молекул пара. Тепловой поток из зоны нагрева за счет обычной теплопроводности и излучения попадает на испаряющуюся поверхность, многократно увеличивая скорость испарения. Давление паров возрастает и под действием газодинамических сил, происходит их ускоренное движение к зоне нагрева. При выходе из зоны нагрева образуется реактивная струя плазмы, скорость которой определяется ее температурой.

В предлагаемом изобретении фактически реализуется известная теория газодинамического ускорения одномерного потока газа с помощью теплового воздействия на поток [5]. По этой теории тепло сначала подводится к газу, а затем отводится от него. При этом, как и в традиционном способе ускорения газа с помощью сопла Лавалья, получается сверхзвуковой поток газа. В предлагаемом случае эффективное охлаждение плазмы происходит за счет радиационного излучения.

Устройство, реализующее предлагаемый способ создания тяги (чертеж), включает следующие основные элементы: систему СВЧ-излучателей 1, цилиндрический стержень рабочего тела 2, зону нагрева 3, катушку 4, создающую магнитное поле 5.

Устройство работает следующим образом.

С помощью специальной программы устанавливают фазы СВЧ-излучателей 1 так, что около торцевой поверхности стержня рабочего тела 2 образуется зона нагрева 3 с повышенной плотностью СВЧ-энергии. С

помощью катушки 4 устанавливают магнитное поле 5 такое, что область пространства, в котором выполняются условия электронно-циклотронного резонанса, попала в зону нагрева. Когда по торцевой поверхности стержня происходит первоначальный разряд, пары, истекающие с поверхности рабочего тела, попадают в зону нагрева и нагреваются до образования плазмы. Тепло от зоны нагрева поддерживает процесс испарения и устанавливается стационарное течение реактивной струи, согласованное со степенью нагрева.

Пример. Пусть максимальная температура плазмы в зоне нагрева составляет

$$T_{\max} 15 \text{ эВ} \approx 1,5 \cdot 10^5 \text{ К}$$

В качестве материала рабочего тела возьмем соединение LiH. При этой температуре плазма представляет собой газ, состоящий из однократно ионизированных атомов лития, водорода и электронов с эффективным молярным весом

$$M 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Тогда максимальная скорость реактивной плазменной струи в одномерном приближении достигает значения [5]

$$v = 2 \cdot \sqrt{\frac{T_{\max} \cdot R}{M}} = 50 \text{ км/с}$$

При расходе массы  $m 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$  величина тяги равна

$$F \text{ мН } 100 \text{ Н}$$

Расход массы, определяемый скоростью испарения, можно изменять, приближая или удаляя зону нагрева от испаряющейся поверхности.

Таким образом, предлагаемый способ создания тяги в электрическом ракетном двигателе характеризуется тем, что в отличие от известного способа позволяет:

обеспечить эффективный газодинамический способ ускорения плазмы без применения подводящих электродов;

достичь скорости плазменной реактивной струи 50-100 км/с;

функционировать в стационарном режиме при высоком уровне тяги;

обеспечить практически неограниченный ресурс работы двигателя;

управлять в широких пределах величиной и направлением тяги.

### Формула изобретения:

Способ создания тяги в электрическом ракетном двигателе, заключающийся в иницировании разряда по плоской части поверхности твердого рабочего тела и последующем нагреве паров, истекающих с поверхности, до образования плазмы, отличающийся тем, что нагрев производят с помощью системы СВЧ-пучков, получаемых посредством установленной на двигателе фазированной антенной решетки, излучающей на частоте электронного циклотронного резонанса, при этом зону нагрева формируют со стороны испаряющейся части поверхности рабочего тела на расстоянии, составляющем 0,1-0,2 от минимального размера испаряющейся части поверхности, и накладывают на зону нагрева магнитное поле, перпендикулярное к испаряющейся части поверхности рабочего тела.