

РЭСПУБЛІКА БЕЛАРУСЬ



# ПАТЭНТ

НА ВЫНАХОДСТВА

№ 23581

Устройство для получения плазмы тлеющего разряда

выдадзены

Нацыянальным цэнтрам інтэлектуальнай уласнасці  
ў адпаведнасці з Законам Рэспублікі Беларусь  
«Аб патэнтах на вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры»

Патэнтаўладальнік (патэнтаўладальнікі):

**Белорусская государственная академия авиации (ВУ)**

Аўтар (аўтары):

**Мартынюк Виктор Иванович; Сенько Сергей Федорович;  
Василевич Сергей Владимирович; Степаненко Валерий  
Николаевич; Савицкий Александр Александрович; Дронов  
Виктор Николаевич (ВУ)**

Заяўка № **а 20200159**

Дата падачы: **04.06.2020**

Зарэгістравана ў Дзяржаўным рэестры  
вынаходстваў:

**13.10.2021**

Дата пачатку дзеяння:

**04.06.2020**

Генеральны дырэктар

У.А.Рабаволаў

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 23581

(13) С1

(46) 2021.12.30

(51) МПК

H 05H 1/24 (2006.01)

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

(21) Номер заявки: а 20200159

(22) 2020.06.04

(71) Заявитель: Белорусская государственная академия авиации (ВУ)

(72) Авторы: Мартынюк Виктор Иванович; Сенько Сергей Федорович; Василевич Сергей Владимирович; Степаненко Валерий Николаевич; Савицкий Александр Александрович; Дронов Виктор Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусская государственная академия авиации (ВУ)

(56) ВУ 22302 С1, 2018.

ВУ 3600 U, 2007.

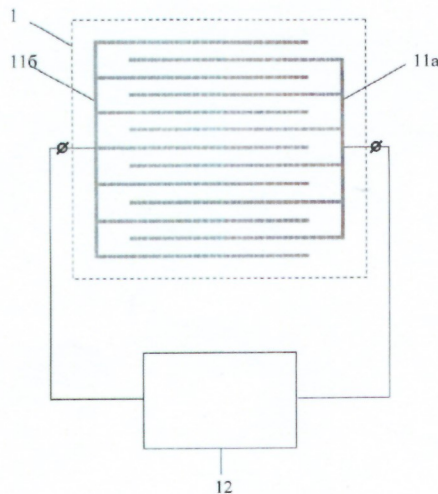
RU 2333619 С2, 2008.

JP 4678973 В2, 2011.

US 7273995 В1, 2007.

(57)

Устройство для получения плазмы тлеющего разряда, содержащее вертикально установленную рабочую камеру, электроды, расположенную в нижней части рабочей камеры газораспределительную решетку со слоем электропроводного порошка на ней, штуцер подачи газа, штуцер отвода газа и систему электропитания, отличающееся тем, что рабочая камера помещена в теплоизолирующую футеровку, снабжена на своей боковой поверхности смотровым окном, а в верхней части - предохранительным клапаном, штуцер подачи газа снабжен обратным клапаном, а штуцер отвода газа снабжен клапаном регулировки давления в рабочей камере, электроды установлены вертикально и выполнены в виде взаимопроникающих пластинчатых гребенок с расстоянием между их пластинами противоположной полярности от 5 до 50 мм.



Фиг. 2

Изобретение относится к области машиностроения, в частности, к газоразрядным устройствам, и может быть использовано в системах конверсии углеводородного сырья, плазмохимии, лазерной технике, модификации порошковых материалов и др.

Известно устройство для получения плазмы при атмосферном давлении, содержащее камеру, анодный узел, катодный узел с диэлектриком и капиллярами, систему подачи газа, источник питания [1]. Расстояние между электродами составляет не более 1 см, а плазма зажигается в каналах капилляров, выполненных из диэлектрика.

Недостатком аналога является слишком малый объем генерируемой плазмы, что накладывает существенные ограничения на область его использования. Увеличение межэлектродного расстояния требует подачи высоких напряжений для получения газового разряда и, соответственно, достаточно сложного электронного оборудования. Малый объем получаемой плазмы предопределяет чрезвычайно низкую производительность аналога, например при конверсии углеводородов, и низкий коэффициент полезного действия (КПД) устройства, т.к. основная часть энергии расходуется на непроизводительный нагрев газовой смеси.

Известно также устройство для получения плазмы тлеющего разряда при атмосферном давлении, содержащее рабочую камеру, анодный и катодный узлы, систему охлаждения катода, систему подачи и отвода газов и систему электропитания [2]. Как следует из его описания, плазма зажигается посредством соприкосновения электродов. После зажигания плазмы электроды разводятся на требуемое расстояние, при этом потребляемая мощность устройства может достигать 5 кВт.

Недостатком рассматриваемого аналога также является его низкий КПД, обусловленный малым объемом генерируемой плазмы при большой потребляемой мощности. В корне данных недостатков лежат особенности электрического разряда в газах. Объем генерируемой плазмы определяется расстоянием между электродами и поперечным сечением разряда. Поскольку для пробоя газового промежутка длиной 1 см при атмосферном давлении требуется напряжение порядка ~10 кВ, что налагает существенные ограничения на конструкцию источника электропитания по электроизоляции, то на практике используют небольшие межэлектродные расстояния. Для получения требуемой эффективности плазмы повышают рабочие токи, что, в свою очередь, приводит к ее неконтролируемому разогреву и контракции газового разряда, то есть шнурованию тока и последующему возникновению электрической дуги. Использование системы охлаждения отчасти решает данную проблему, однако это еще больше снижает КПД устройства, т.к. большая часть его мощности расходуется на нагрев деталей.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению, его прототипом является устройство для получения плазмы тлеющего разряда, содержащее рабочую камеру, размещенные в ней анодный и катодный узлы, систему подачи и отвода газов и систему электропитания, при этом рабочая камера установлена вертикально, катодный узел расположен в ее нижней части и выполнен в виде газораспределительной решетки с расположенным на ней слоем электропроводного порошка.

Подача рабочего газа приводит к "закипанию" слоя электропроводного порошка на катоде, что позволяет существенно снизить рабочее напряжение и многократно увеличить объем генерируемой плазмы. Использование "кипящего" катода позволяет значительно увеличить КПД устройства по сравнению с приведенными выше аналогами и за счет этого значительно расширить его технические возможности.

Недостатком прототипа является сравнительно невысокая производительность, обусловленная ограниченным объемом рабочей камеры. Повышение производительности может быть достигнуто как за счет увеличения площади электродов, так и за счет увеличения расстояния между электродами, что обеспечивает повышение объема кипящего слоя. Однако увеличение расстояния между электродами требует повышения рабочего напряжения и сдерживается требованиями по электроизоляции. Кроме того, при этом по-

требляемая мощность возрастает непропорционально росту производительности, что влечет необходимость охлаждения электродов и существенно усложняет конструкцию и снижает КПД. Увеличение же площади электродов сопровождается существенным ростом неоднородности кипящего слоя, что приводит к шнурованию тока и трансформации разряда в электрическую дугу. А это существенно снижает КПД устройства. Таким образом, характеристики прототипа ограничены сравнительно невысоким объемом кипящего слоя, что не позволяет достичь высокой производительности устройства.

Данный недостаток особенно актуален при использовании прототипа для дожига отходящих газов, когда требуется очень высокая производительность. Кроме того, этот процесс наиболее эффективно протекает при высоких температурах, при которых положительные характеристики прототипа заметно ухудшаются вследствие спекания частиц порошка на катоде.

Задачей заявляемого изобретения является дальнейшее повышение производительности устройства.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для получения плазмы тлеющего разряда, содержащем вертикально установленную рабочую камеру, электроды, расположенную в нижней части рабочей камеры газораспределительную решетку со слоем электропроводного порошка на ней, штуцер подачи газа, и систему электропитания, рабочая камера помещена в теплоизолирующую футеровку, снабжена на своей боковой поверхности смотровым окном, а в верхней части - предохранительным клапаном, штуцер подачи газа снабжен обратным клапаном, а штуцер отвода газа снабжен клапаном регулировки давления в рабочей камере, электроды установлены вертикально и выполнены в виде взаимопроникающих пластинчатых гребенок с расстоянием между их пластинами противоположной полярности от 5 до 50 мм.

Сущность заявляемого технического решения заключается в значительном увеличении объема кипящего слоя электропроводного порошка.

Принципиальным отличием заявляемого устройства от прототипа является то, что электропроводный порошок не является частью электрода. Он не находится под напряжением, расположен на газораспределительной решетке в нижней части рабочей камеры и интенсивно охлаждается восходящим потоком рабочего газа, что предупреждает его спекание. Электроды при этом располагаются на некотором расстоянии от поверхности слоя порошка. В начальный момент времени порошок не несет электрического заряда. При подаче рабочего газа и достижении определенной скорости газового потока порошок "закипает" и попадает в межэлектродное пространство. Частицы порошка при контакте с одним из электродов приобретают соответствующий этому электроду заряд и становятся его носителями в межэлектродном пространстве. При этом часть частиц заряжается положительно, а часть - отрицательно. Наличие электрического поля и "кипящего" слоя заряженного порошка приводит к возникновению электрического разряда в межэлектродном пространстве - плазма зажигается. Высота "кипящего" слоя определяется характеристиками порошка и скоростью газового потока. Нижняя граница кипящего слоя при этом определяется положением газораспределительной решетки в нижней части рабочей камеры. Верхнюю границу "кипящего" слоя формируют вблизи верхнего края электродов выбором скорости газового потока. Увеличение количества наборных пластин в составе электродов и их размеров как по горизонтали, так и по вертикали позволяет при реализации заявляемого устройства существенно увеличить размеры рабочей камеры вплоть до сотен литров и более при сохранении заданного межэлектродного промежутка.

Циклическое движение частиц порошка в кипящем слое от его нижней границы на газораспределительной решетке в межэлектродное пространство и обратно за счет интенсивного теплообмена с рабочим газом обеспечивает поддержание его температуры на уровне температуры подаваемой газовой смеси. Поэтому спекание частиц порошка, как это наблюдается иногда в прототипе, в принципе невозможно. По этой причине заявляе-

мое устройство может быть эффективно использовано для высокотемпературной конверсии газов, в частности для дожига отходящих газов, содержащих трудно окисляемые ядовитые продукты. Термоизолирующая футеровка в этом случае обеспечивает как стабилизацию требуемой высокой температуры в рабочей камере, так и защиту персонала от возможных ожогов, а также способствует повышению прочности изделия в целом.

Наличие клапана регулировки давления в рабочей камере обеспечивает проведение процессов конверсии при повышенном давлении. Это значительно повышает эффективность различных процессов конверсии, поскольку концентрация реагирующих компонентов в рабочей камере повышается. Одновременно это расширяет интервалы допустимых плотностей тока, что также повышает скорость конверсии и расширяет возможности управления процессом.

В целях безопасности рабочая камера также снабжена предохранительным клапаном аварийного сброса давления. Наличие обратного клапана в системе подачи газов обеспечивает движение газовой смеси только в направлении рабочей камеры и предупреждает выброс содержимого рабочей камеры в нагнетательную систему, например компрессор.

Обеспечение возможности работы при избыточном давлении газов и высокой температуре предъявляет повышенные требования к прочности рабочей камеры. Поэтому в данном случае ее необходимо изготавливать из достаточно прочного материала, например жаропрочной стали. В то же время существует необходимость визуального контроля горения плазмы. Для этой цели на боковой поверхности рабочей камеры предусмотрено смотровое окно, которое может быть выполнено из толстого кварцевого стекла.

Выполнение электродов в форме взаимопроникающих пластинчатых гребенок обеспечивает свободу выбора объема рабочей камеры и, соответственно, производительности устройства в целом. При увеличении объема рабочей камеры соответственно увеличивается количество необходимого для формирования кипящего слоя электропроводного порошка. Заявляемая форма электродов позволяет изготавливать устройства широкого типонаминала по производительности.

Межэлектродное расстояние выбрано на основании имеющихся экспериментальных данных. При расстоянии менее 5 мм возможно засорение межэлектродного пространства примесными частицами конвертируемых газов и продуктами их агломерации с частицами электропроводного порошка. Увеличение межэлектродного пространства свыше 50 мм также нецелесообразно в связи с существенным повышением рабочего напряжения и связанным с этим непроизводительным повышением мощности.

Сущность заявляемого технического решения поясняется фиг. 1, где приведено схематическое изображение заявляемого устройства, и фиг. 2, где изображено взаимное расположение электродов (вид сверху). На фигурах приняты следующие обозначения:

- 1 - рабочая камера;
- 2 - штуцер подачи газа;
- 3 - штуцер отвода газа;
- 4 - обратный клапан;
- 5 - клапан регулировки давления;
- 6 - предохранительный клапан;
- 7 - футеровка;
- 8 - смотровое окно;
- 9 - газораспределительная решетка;
- 10 - электропроводный порошок;
- 11а - правый электрод;
- 11б - левый электрод;
- 12 - источник электропитания.

Как видно из приведенных фигур, заявляемое устройство для получения плазмы тлеющего разряда состоит из рабочей камеры 1, к которой присоединены штуцер подачи газа

2 и штуцер отвода газа 3. Штуцер подачи газа 2 снабжен обратным клапаном 4, а штуцер отвода газа 3 снабжен клапаном регулировки давления 5. Рабочая камера 1 содержит расположенный в ее верхней части предохранительный клапан 6 для аварийного сброса давления. Для дополнительной теплозащиты при проведении высокотемпературных процессов рабочая камера 1 может быть снабжена футеровкой 7. Внешнее наблюдение за горением плазмы в рабочей камере 1 реализуется через смотровое окно 8. В нижней части рабочей камеры 1 расположена газораспределительная решетка 9, на которую насыпают электропроводный порошок 10. Заявляемая конструкция и расположение электродов обеспечивает их равную функциональность, то есть правый электрод 11а может быть как катодом, так и анодом. Такие же функции может выполнять и левый электрод 11б. Поэтому источник электропитания 12 может быть постоянного или переменного тока. В последнем случае конструкция в целом упрощается, т.к. отпадает необходимость использования дорогостоящих высоковольтных выпрямителей. Направление движения газовых потоков указано фигурными стрелками.

Заявляемое устройство работает следующим образом. С помощью клапана регулировки давления 5, установленного на штуцере отвода газа 3, устанавливают требуемое начальное давление в рабочей камере 1. Атмосферное давление в данном случае является предпочтительным, т.к. это требует меньшего начального напряжения для зажигания плазмы. Однако если межэлектродное расстояние фактически используемого устройства выбрано вблизи минимального значения из заявляемого интервала, то это позволяет зажигать плазму и при повышенном давлении, что упрощает дальнейшую эксплуатацию. Штуцер подачи газа 2 соединяют с источником конвертируемых газов. При этом газовая смесь начинает поступать в рабочую камеру 1. Обратный клапан 4 обеспечивает требуемую скорость прямого газового потока, а при прекращении подачи газа препятствует возникновению обратного потока. Под действием восходящего потока газа электропроводный порошок 10, расположенный на газораспределительной решетке 9, "закипает". При помощи обратного клапана 4 и клапана регулировки давления 5 регулируют высоту "кипящего" слоя электропроводного порошка 10 так, чтобы его верхняя граница была расположена вблизи верхнего края электродов. Высоту "кипящего" слоя при этом наблюдают в смотровое окно 8. Включают источник электропитания 12. При этом на правый электрод 11а и левый электрод 11б подается рабочее напряжение, в результате чего в межэлектродном промежутке за счет наличия электропроводного порошка 10 инициируется разряд и загорается плазма. Величину начального напряжения зажигания выбирают на основании фактического расстояния между электродами и характеристик используемого электропроводного порошка из интервала от 3 до 25 кВ. После этого регулировкой рабочего напряжения на электродах, давления в рабочей камере (при необходимости) и скорости газового потока добиваются стабилизации горения плазмы по всей площади электродов. Величина рабочего тока и напряжения зависят от расстояния между пластинами электродов и их площади, которые, в свою очередь, определяются конкретным назначением устройства. За горением плазмы наблюдают через смотровое окно 8. Футеровка 7 предохраняет от возможных ожогов при касании металлической поверхности рабочей камеры 1, а также обеспечивает поддержание высокой температуры процесса. Предохранительный клапан 6 служит для аварийного сброса давления при выходе процесса горения из-под контроля. При этом следует отметить, что типичными рабочими давлениями заявляемого устройства являются значения от 1 до 2 атм, и регулировку предохранительного клапана 6 осуществляют с учетом этих данных, а также на основании требований к сосудам, работающим под давлением.

По окончании работы отключают источник электропитания 12, перекрывают обратный клапан 4 и полностью открывают клапан регулировки давления 5.

Испытания заявляемого устройства проводили при дожиге выхлопных газов дизельного двигателя. Эффективность работы устройства оценивали по изменению содержания

## ВУ 23581 С1 2021.12.30

СО и СН в выхлопе при помощи газового анализатора testo 350 XL. Корпус рабочей камеры устройства и электроды были изготовлены из жаростойкого сплава на основе никеля. Смотровое окно изготавливали из высокопрочного кварцевого стекла, футеровку - из керамики. Каждый электрод был выполнен в форме гребенки из 5 пластин размером 10 на 15 см (15 см - высота). Расстояние между пластинами электродов приведено в таблице. В качестве электропроводного порошка использовали порошкообразный никель марки ПНЭ ГОСТ 9722-79. Процесс дожига выхлопных газов проводили как при атмосферном, так и при повышенном до 1,5 атм давлении. Рабочее давление в камере контролировали при помощи манометра. Производительность устройства оценивали по расходу подаваемой газовой смеси. Результаты испытаний приведены в таблице.

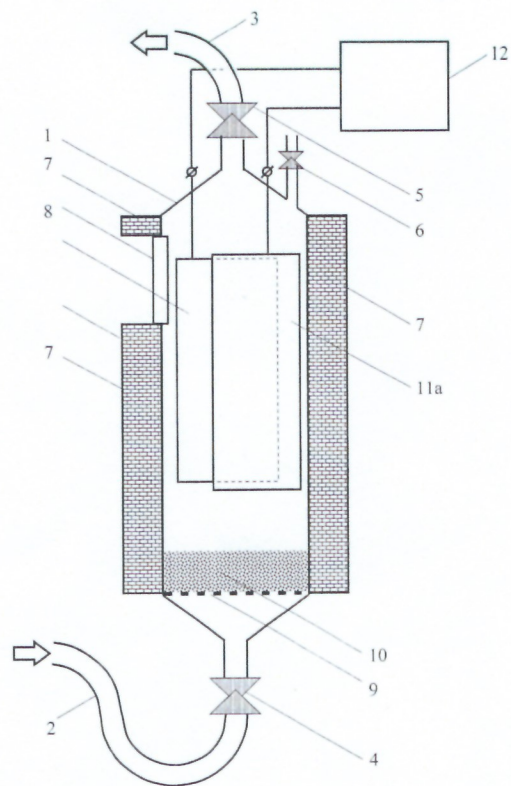
### Результаты контроля состава выхлопных газов в зависимости от особенностей устройства

Расстояние между электродами, мм	Рабочее давление в камере, атм	Содержание СО на входе, об. %	Содержание СО на выходе, об. %	Содержание СН на входе, об. %	Содержание СН на выходе, об. %	Расход газовой смеси, л/мин	Примечание
3	1	1,3	0,01	2,1	0,01	120	засорение межэлектродного пространства через 0,5 ч работы
5	1	1,3	0,01	2,1	0,01	150	
20	1	1,3	0,01	2,1	0,01	180	
50	1	1,3	0,01	2,1	0,01	220	
60	1	1,3	0,01	2,1	0,01	200	выход из строя блока питания из-за перегрузки через 20 мин работы
20	1,5	1,3	0,01	2,1	0,01	250	
Прототип		1,3	0,01	2,1	0,01	10	выход из строя через 1 ч работы из-за спекания порошка на катоде

Из приведенных данных видно, что заявляемое устройство в совокупности отличительных признаков обеспечивает повышение производительности по сравнению с прототипом в 15-25 раз, при этом его работа стабильна во времени и не требует промежуточных операций по замене электропроводного порошка.

#### Источники информации:

1. KUNHARDT E.E. Generation of Large Volume, Atmospheric Pressure, Nonequilibrium Plasmas // IEEE Transactions on Plasma Science. V. 28, № 1, February 2000.
2. ВУ 10597, 2008.
3. ВУ 22302, 2018.



Фиг. 1