

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F02K 7/10 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019105113, 25.02.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.02.2019Дата регистрации:
21.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.02.2019

(45) Опубликовано: 21.11.2019 Бюл. № 33

Адрес для переписки:
127474, Москва, Бескуновский б-р, 4, ООО
"Новые физические принципы", зам.
генерального директора по науке, Фролову
Сергею Михайловичу

(72) Автор(ы):

Фролов Сергей Михайлович (RU),
Аксёнов Виктор Серафимович (RU),
Шамшин Игорь Олегович (RU),
Набатников Сергей Александрович (RU),
Авдеев Константин Алексеевич (RU),
Шулакова Надежда Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"Новые физические принципы" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2439358 C2, 10.01.2012. RU
2565131 C1, 20.10 10.01.2012. RU 215799 C1,
10.01.2012. RU 2315193 C1, 20.01.2008. RU
2142058 C1 27.11.1999. W 2014/129920 A1,
28.04.2014.C1
2706870
RU(54) ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫЙ ДЕТОНАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ
И СПОСОБ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к силовым установкам летательных аппаратов различного назначения, работающим на твердом топливе (например, синтетическом полимере). Способ организации детонационного горения пиролизных газов в камере сгорания воздушно-реактивного двигателя, при котором для дросселирования реактивной тяги используется продувка реактора-пиролизера с гранулированным твердым топливом высокотемпературными или низкотемпературными газами из газогенератора. Сгорание смеси пиролизных газов с воздухом в камере сгорания происходит в детонационной волне, обеспечивающей поток тепла в реактор-пиролизер из камеры сгорания, достаточный для достижения требуемой скорости образования пиролизных газов на том или ином рабочем режиме, а также достаточный для надежного охлаждения элементов конструкции камеры сгорания за счет эндотермического пиролиза

гранулированного твердого топлива. Способ реализован в устройстве, в котором реактор-пиролизер отделен от кольцевой камеры сгорания стенкой, выполненной из материала с высокой теплопроводностью. Внутри реактора-пиролизера расположен теплообменный каркас, выполненный из материала с высокой теплопроводностью и находящийся в тепловом контакте со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания. Гранулированное твердое топливо в реакторе-пиролизере находится в тепловом контакте как со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания, так и с элементами теплообменного каркаса. Изобретение обеспечивает получение продуктов пиролиза с фазовым и химическим составом, требуемым для самоподдерживающегося детонационного горения и надежного охлаждения элементов конструкции камеры сгорания. 2 н. и 1 з.п. ф-лы,

R U
2 7 0 6 8 7 0
C 1

1 ил.

R U 2 7 0 6 8 7 0 C 1

R U 2 7 0 6 8 7 0 C 1

R U 2 7 0 6 8 7 0 C 1

RUSSIAN FEDERATION



(19) RU (11)

2 706 870⁽¹³⁾ C1

(51) Int. Cl.
F02K 7/10 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
F02K 7/10 (2019.08)

(21)(22) Application: 2019105113, 25.02.2019

(24) Effective date for property rights:
25.02.2019

Registration date:
21.11.2019

Priority:

(22) Date of filing: 25.02.2019

(45) Date of publication: 21.11.2019 Bull. № 33

Mail address:

127474, Moskva, Beskudnikovskij b-r, 4, OOO
"Novye fizicheskie printsy", zam. generalnogo
direktora po naуke, Frolovу Sergеyu
Mikhajlovichu

(72) Inventor(s):

Frolov Sergej Mikhajlovich (RU),
Aksenov Viktor Serafimovich (RU),
Shamshin Igor Olegovich (RU),
Nabatnikov Sergej Aleksandrovich (RU),
Avdeev Konstantin Alekseevich (RU),
Shulakova Nadezhda Sergeevna (RU)

(73) Proprietor(s):

Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu
"Novye fizicheskie printsy" (RU)

(54) AIR-JET DETONATION ENGINE ON SOLID FUEL AND METHOD OF ITS OPERATION

(57) Abstract:

FIELD: aviation.

SUBSTANCE: invention relates to power plants of aircraft for various purposes operating on solid fuel (for example, synthetic polymer). Method of detonation combustion of pyrolysis gases in combustion chamber of air-jet engine, at that jet reactor throttling involves blowdown of pyrolyser reactor with granulated solid fuel by high-temperature or low-temperature gases from gas generator. Combustion of pyrolysis gases mixture with air in combustion chamber takes place in detonation wave, providing heat flow to pyrolysis reactor from combustion chamber, sufficient to achieve required rate of pyrolysis gases formation in this or that operating mode, and sufficient for reliable cooling of combustion chamber design elements due to endothermic pyrolysis of granular solid fuel. Method

is realized in a device in which the pyrolyser reactor is separated from the annular combustion chamber by a wall made from a material with high heat conductivity. Inside the pyrolysis reactor there is a heat exchange frame made of material with high heat conductivity and in thermal contact with the wall separating the pyrolysis reactor from the annular combustion chamber. Granulated solid fuel in pyrolyser reactor is in thermal contact both with wall separating reactor-pyrolyser from annular combustion chamber, and with elements of heat exchange frame.

EFFECT: invention enables to obtain pyrolysis products with phase and chemical composition required for self-sustained detonation combustion and reliable cooling of combustion chamber design elements.

3 cl, 1 dwg

R U 2 7 0 6 8 7 0 C 1

Изобретение относится к силовым установкам летательных аппаратов различного назначения (беспилотных летательных аппаратов, летающих мишеней и т.п.), работающим на твердом топливе (например, синтетическом полимере).

Главная проблема, стоящая на пути создания практических воздушно-реактивных двигателей, работающих на твердом топливе, заключается в необходимости обеспечения быстрой газификации (пиролиза) твердого топлива и последующего быстрого и полного сгорания образованной топливно-воздушной смеси в условиях полета с высокими скоростями, а также надежного охлаждения конструкции двигателя. Например, при пиролизе синтетического полимера, как правило, образуются газообразные и конденсированные продукты пиролиза: неконденсируемые пиролизные газы, конденсируемые пиролизные газы (жидкая фракция) и коксовый остаток, а сам процесс пиролиза представляет собой сложный комплекс протекающих одновременно последовательных и параллельных, как правило, эндотермических превращений. Реакции, протекающие при пиролизе, разделяют на первичные с разрывом полимерной цепи и с образованием свободного радикала и двойной связи, и вторичные, при которых взаимодействуют между собой продукты первичного распада. Хроматомасс-спектрометрический анализ жидкой фракции продуктов пиролиза показывает, что основными продуктами являются непредельные разветвленные углеводороды (алкены и диены) C₈-C₂₈, образующиеся в результате первичных реакций. Их содержание в жидкой фракции может составлять до 80%. Кроме того, идентифицируются группы соединений, образовавшиеся в результате вторичных реакций циклизации и конденсации: цикл о диены, циклоалкены, алкилбензолы и полициклические ароматические углеводороды. Поэтому для решения указанной проблемы предлагается использование детонационного горения (непрерывно-детонационного, продольно-пульсирующего или импульсно-детонационного) пиролизных газов, обеспечивающего высокую теплонапряженность рабочего процесса и относительно слабую чувствительность к типу применяемого топлива (см. Фролов С.М., Звегинцев В.И., Иванов В.С, Аксенов В.С, Шамшин И.О., Внучков Д.А., Наливайченко Д.Г., Берлин А.А., Фомин В.М., Шиплюк А.Н., Яковлев Н.Н. Модель детонационного прямоточного воздушно-реактивного двигателя: испытания в аэродинамической трубе при обтекании воздушным потоком с числом Maxa 5,7 и температурой торможения 1500 К. Горение и взрыв, 2018, том 11, №1, с. 54-62).

Предшествующий уровень техники

Известны способы и устройства, предложенные в патентах RU 2565131 C1, F02K 7/10 (2006.1), F02K 9/64 (2006.1), 20.10.2015. Способ функционирования устройства включает разгон посредством стартовой ступени до заданных параметров скорости и высоты, неполное торможение воздушного потока в воздухозаборнике, низкотемпературную газификацию твердого горючего в газогенераторе, высокотемпературное разложение продуктов газификации в охлаждающем тракте, смешение воздуха и продуктов разложения, воспламенение и сжигание смеси в камере дожигания, расширение продуктов сгорания в сопле. Устройство содержит воздухозаборник, газогенератор с зарядом твердого горючего в отдельном корпусе, камеру дожигания и сопло. К недостаткам способа и устройства следует отнести внешнее расположение газогенератора, что требует дополнительного источника тепла для поддержания температурного режима газогенератора.

Известно устройство, предложенное в патенте RU 2439358 C2, F02K 7/18 (2006.1), 10.01.2012. Устройство - прямоточный воздушно-реактивный двигатель на металлическом порошкообразном горючем - содержит систему запуска двигателя,

систему подачи горючего, включающую топливный бак с металлическим порошкообразным горючим и перфорированным поршнем, камеру сгорания. В корпусе двигателя установлен газогенератор, обеспечивающий запуск системы подачи порошкообразного металлического горючего. Камера сгорания состоит из форкамеры, 5 воспламенителя и камеры окончательного дожигания топлива. Форкамера и камера окончательного дожигания имеют каналы для подачи воздуха. В форкамере воздушный поток обеспечивает полноту газификации взвеси с коэффициентом избытка воздуха от 0,15 до 0,3. К недостаткам способа и устройства следует отнести необходимость 10 постоянной работы газогенератора, обеспечивающего образование порошковой взвеси и ее вытеснение в форкамеру, что требует значительного запаса топлива и окислителя для работы газогенератора в случае длительного полета.

Известно устройство, предложенное в патенте RU 2627310 C1, F02K 7/10 (2006.1), 07.08.2017. Устройство - прямоточный воздушно-реактивный двигатель с газогенератором открытого типа и регулируемым расходом твердого топлива - содержит 15 воздухозаборник, систему подачи твердого топлива в камеру сгорания, газогенератор, камеру сгорания и установленный на выходе из камеры сгорания профилированный сопловой насадок. Газогенератор выполнен в виде барабана со сквозными продольными каналами, в которых размещены заряды твердого топлива с возможностью их перемещения в камеру сгорания. При этом барабан соединен с кольцевой 20 перфорированной решеткой, отверстия которой направляют воздушный поток на поверхность зарядов твердого топлива. Основной недостаток устройства - использование пневмомеханического или гидромеханического устройства подачи твердого топлива, что усложняет конструкцию и, как следствие, снижает ее надежность.

Известно устройство, предложенное в патенте RU 2315193 C1, F02K 7/18 (2006.1), 25 20.01.2008. Устройство - прямоточный воздушно-реактивный двигатель с распределенным по длине тепломассоподводом - содержит воздухозаборник, газогенератор с топливом, камеру сгорания с блоком горючего и выходное сопло. В камере сгорания установлены подсоединенные к блоку управления топливонесущие секции с соплами для истечения топливных струй из внутренних полостей секций во 30 внутреннее пространство камеры сгорания. В каждой топливонесущей секции сопла распределены по периметру камеры сгорания, а их оси направлены под углом от 90° до 0° к оси камеры сгорания. В разных топливонесущих секциях размещены заряды топлив, различные по химическому составу и агрегатному состоянию. Одна или 35 несколько топливонесущих секций установлены в сужающейся (дозвуковой) части выходного сопла двигателя. Основной недостаток устройства - сложность конструкции, что снижает его надежность.

Наиболее близкими к предлагаемому изобретению по технической сущности являются прямоточный воздушно-реактивный двигатель на твердом топливе и способ функционирования двигателя, предложенные в статье «Испытания ПВРД твердого 40 топлива с измерением тяговых характеристик в аэродинамических установках» / Д.А. Внучков, В.И. Звегинцев, Д.Г. Наливайченко, В.И. Смоляга, А.В. Степанов // Теплофизика и аэромеханика, 2018, №4, стр. 629-635.

Способ-прототип функционирования устройства-прототипа включает разгон 45 устройства-прототипа посредством стартовой ступени до заданных параметров скорости и высоты, организацию горения смеси горючего с окислителем в газогенераторе, пиролиз твердого топлива, смешение воздуха с пиролизным газом, включающим газы из газогенератора, воспламенение и горение образованной смеси в камере сгорания и расширение продуктов горения в сопле для создания реактивной тяги.

Устройство-прототип содержит сверхзвуковой воздухозаборник, камеру сгорания с центральным телом с встроенным газогенератором, снабженным реактором-пиролизером, газовым коллектором и поясом радиальных отверстий для подачи газов из газогенератора в камеру сгорания с центральным телом, и реактивное сопло. К

- 5 недостаткам устройства-прототипа следует отнести: (1) необходимость иметь на борту летательного аппарата такое количество горючего и окислителя, которое требуется для непрерывной работы газогенератора, обеспечивающего подвод тепла для эндотермического процесса пиролиза твердого топлива в реакторе-пиролизере; (2) пиролиз твердого топлива в реакторе-пиролизере происходит только благодаря
- 10 поступлению тепла от газов из газогенератора; (3) пиролизные газы, поступающие в камеру сгорания, всегда разбавлены газами из газогенератора.

Раскрытие изобретения

Задача изобретения - создание способа организации детонационного горения пиролизных газов в камере сгорания воздушно-реактивного двигателя, который

- 15 обеспечит (1) получение продуктов пиролиза с фазовым и химическим составом, требуемым для самоподдерживающегося детонационного горения и (2) надежное охлаждение элементов конструкции камеры сгорания.

Задача изобретения - создание устройства для осуществления способа организации детонационного горения пиролизных газов в камере сгорания воздушно-реактивного

- 20 двигателя, который обеспечит (1) получение продуктов пиролиза с фазовым и химическим составом, требуемым для самоподдерживающегося детонационного горения и (2) надежное охлаждение элементов конструкции камеры сгорания.

Решение поставленной задачи достигается предлагаемыми:

- способом, включающим продувку реактора-пиролизера с твердым топливом газами из газогенератора, пиролиз твердого топлива в реакторе-пиролизере с образованием пиролизных газов, подачу пиролизных газов из реактора-пиролизера в камеру сгорания и их смешение с атмосферным воздухом, поступающим в камеру сгорания, с последующим сгоранием образованной горючей смеси в камере сгорания и истечением продуктов горения из камеры сгорания в атмосферу в виде реактивной струи, создающей

- 30 реактивную тягу, в котором твердое топливо гранулировано, продувка реактора-пиролизера с твердым топливом газами из газогенератора используется только для дросселирования реактивной тяги путем перевода реактора-пиролизера на тот или иной рабочий режим с требуемой скоростью образования пиролизных газов, а при нарушении того или иного рабочего режима реактора-пиролизера - для его

35 восстановления, причем требуемая скорость образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере на рабочем режиме обеспечивается благодаря потоку тепла в реактор-пиролизер из камеры сгорания, находящейся в тепловом контакте с реактором-пиролизером, а сгорание смеси пиролизных газов с воздухом в камере сгорания происходит в детонационной волне, что обеспечивает поток тепла в реактор-пиролизер

- 40 из камеры сгорания, достаточный для достижения требуемой скорости образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере на том или ином рабочем режиме, а также достаточный для надежного охлаждения элементов конструкции камеры сгорания за счет эндотермического пиролиза гранулированного твердого топлива.

- устройством, содержащим сверхзвуковой воздухозаборник, камеру сгорания с центральным телом с встроенным газогенератором, снабженным реактором-пиролизером, газовым коллектором и поясом радиальных отверстий для подачи газов в камеру сгорания с центральным телом, и реактивное сопло, в котором реактор-пиролизер, встроенный в центральное тело и установленный между газогенератором

и газовым коллектором, заполнен гранулированным твердым топливом, а реактор-пиролизер и газогенератор сообщаются друг с другом через расширяющийся канал, а реактор-пиролизер и газовый коллектор - через перфорированную перегородку, причем реактор-пиролизер отделен от кольцевой камеры сгорания стенкой, выполненной из материала с высокой теплопроводностью, и граничит с той областью кольцевой камеры сгорания, где в основном происходит тепловыделение в детонационной волне, а внутри реактора-пиролизера расположен теплообменный каркас, выполненный из материала с высокой теплопроводностью и находящийся в тепловом контакте со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания, а гранулированное твердое топливо в реакторе-пиролизере находится в тепловом контакте как со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания, так и с элементами теплообменного каркаса, а кольцевая камера сгорания снабжена инициатором детонации, имеющим любую известную конструкцию.

Теплообменный каркас может быть выполнен в виде сборки из поперечных

перфорированных дисков и продольных стержней, находящихся в тепловом контакте друг с другом и со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания.

Газогенератор может иметь любую известную конструкцию, обеспечивающую генерацию как низкотемпературных, так и высокотемпературных газов в температурном диапазоне, требуемом для дросселирования тяги предлагаемого устройства.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 приведена схема устройства воздушно-реактивного детонационного двигателя на твердом топливе с детонационным горением смеси пиролизных газов с воздухом: 1 - кольцевая камера сгорания, 2 - центральное тело, 3 - корпус, 4 - сверхзвуковой воздухозаборник, 5 - реактивное сопло, 6 - реактор-пиролизер, 7 - газогенератор, 8 - газовый коллектор, 9 - пояс радиальных отверстий, 10 - расширяющийся канал, 11 - перфорированная перегородка, 12 - стенка, 13 - теплообменный каркас, 14 - поперечный перфорированный диск, 15 - продольный стержень, ГТТ - гранулированное твердое топливо, ПГ - пиролизные газы, ИД - инициатор детонации, ДВ - детонационная волна, А - область кольцевой камеры сгорания (1), где в основном происходит тепловыделение в детонационной волне.

Осуществление изобретения

На фиг. 1 приведена схема предлагаемого устройства с детонационным горением смеси пиролизных газов твердого топлива с воздухом.

Основной элемент устройства - кольцевая камера сгорания (1), образованная центральным телом (2) и корпусом (3), снабженная инициатором детонации (ИД). К входному сечению кольцевой камеры сгорания (1) присоединен сверхзвуковой воздухозаборник (4). К выходному сечению кольцевой камеры сгорания (1) присоединено реактивное сопло (5). В центральное тело (2) встроены реактор-пиролизер (6) с гранулированным твердым топливом (ГТТ), газогенератор (7) и газовый коллектор (8), снаженный поясом радиальных отверстий (9) для подачи газа в кольцевую камеру сгорания (1). Реактор-пиролизер (6) установлен между газогенератором (7) и газовым коллектором (8). Реактор-пиролизер (6) и газогенератор (7) сообщаются друг с другом через расширяющийся канал (10). Реактор-пиролизер (6) и газовый коллектор (8) сообщаются друг с другом через перфорированную перегородку (11). Реактор-пиролизер (6) отделен от кольцевой камеры сгорания (1) стенкой (12), выполненной из материала с высокой теплопроводностью, и граничит с областью (А) кольцевой камеры сгорания (1), где в основном происходит тепловыделение в детонационной волне (ДВ). Внутри

реактора-пиролизера (6) расположен теплообменный каркас (13), выполненный из материала с высокой теплопроводностью и находящийся в тепловом контакте со стенкой (12), отделяющей реактор-пиролизер (6) от кольцевой камеры сгорания (1). Гранулированное твердое топливо (ГТТ) в реакторе-пиролизере (6) находится в тепловом контакте как со стенкой (12), отделяющей реактор-пиролизер (6) от кольцевой камеры сгорания (1), так и с элементами теплообменного каркаса (13).

Теплообменный каркас (13) может быть выполнен в виде сборки из поперечных перфорированных дисков (14) и продольных стержней (15), находящихся в тепловом контакте друг с другом и со стенкой (12), отделяющей реактор-пиролизер (6) от кольцевой камеры сгорания (1).

Газогенератор (7) может иметь любую известную конструкцию, обеспечивающую генерацию как низкотемпературных, так и высокотемпературных газов в температурном диапазоне, требуемом для дросселирования тяги предлагаемого устройства.

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

Устройство (фиг. 1) разгоняется до требуемой сверхзвуковой скорости полета любым известным способом, так что атмосферный воздух проходит через сверхзвуковой воздухозаборник (4), кольцевую камеру сгорания (1) и выходит из устройства через реактивное сопло (5). Устройство запускается включением газогенератора (7), который генерирует высокотемпературную газовую струю. Газы из газогенератора (7)

направляются в реактор-пиролизер (6), заполненный гранулированным твердым топливом, через расширяющийся канал (10), соединяющий газогенератор (7) и реактор-пиролизер (6). Расширяющийся канал (10) обеспечивает равномерность потока газов из газогенератора (7) на входе в реактор-пиролизер (6). Проходя через гранулированное твердое топливо, газы из газогенератора (7) равномерно разогревают твердое топливо и поступают через перфорированную перегородку (11) сначала в газовый коллектор (8), а затем в кольцевую камеру сгорания (1) через пояс радиальных отверстий (9) для подачи газов в кольцевую камеру сгорания (1), где смешиваются с воздухом и истекают из кольцевой камеры сгорания (1) в атмосферу через реактивное сопло (5).

Перфорированная перегородка (11) предназначена для отделения неконденсируемых пиролизных газов от коксового остатка и жидкой фракции конденсируемых пиролизных газов, образующихся при пиролизе гранулированного твердого топлива. Пояс радиальных отверстий (9) для подачи газов в кольцевую камеру сгорания (1) обеспечивает быстрое и равномерное смешение газов с воздухом. Разогрев гранулированного твердого топлива газами из газогенератора (7) приводит к пиролизу

твердого топлива с выделением пиролизных газов, которые поступают в кольцевую камеру сгорания (1) вместе с газами из газогенератора (7), смешиваются с воздухом и истекают из кольцевой камеры сгорания (1) в атмосферу через реактивное сопло (5). Газогенератор (7) работает до тех пор, пока скорость образования пиролизных газов не достигнет значения, требуемого для того или иного рабочего режима реактора-

пиролизера (6). Рабочий режим реактора-пиролизера (6) определяется средней температурой стенок реактора-пиролизера (6) и элементов теплообменного каркаса (13). По достижении требуемого значения скорости образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере (6) газогенератор (7) отключается и в кольцевой камере сгорания (1) инициируется самоподдерживающееся детонационное горение смеси пиролизных

газов с воздухом. Инициирование детонационного горения и само детонационное горение осуществляются в соответствии с принципом, изложенным в патенте WO 2014/129920 A1, Устройство для сжигания топлива в непрерывной детонационной волне, F23R 7/00 (2006.01), опубликованном 28.08.2014 (авторы Фролов С.М., Фролов Ф.С.).

Самоподдерживающееся детонационное горение смеси пиролизных газов с воздухом в кольцевой камере сгорания (1) сопровождается значительным тепловыделением и обеспечивает ускорение продуктов горения по направлению к реактивному соплу (5) и создание реактивной тяги, а также приводит к разогреву стенки (12), отделяющей

- 5 кольцевую камеру сгорания (1) от реактора-пиролизера (6), который встроен в центральное тело (2) устройства и граничит с областью (A) кольцевой камеры сгорания (1), где в основном происходит тепловыделение в детонационной волне. Ввиду того, что температура продуктов горения в области (A) кольцевой камеры сгорания (1) значительно превышает среднюю температуру стенки (12) реактора-пиролизера (6) и
- 10 элементов теплообменного каркаса (13), из кольцевой камеры сгорания (1) в реактор-пиролизер (6) поступает поток тепла, достаточный для обеспечения скорости образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере (6), требуемой для того или иного рабочего режима реактора-пиролизера (6). Тому или иному режиму работы реактора-пиролизера (6) соответствуют определенный расход пиролизных газов через
- 15 кольцевую камеру сгорания (1) и определенная величина реактивной тяги, развиваемой предлагаемым устройством, т.е. изменение режима работы реактора-пиролизера (6) обеспечивает дросселирование тяги предлагаемого устройства.

Для повышения реактивной тяги можно использовать кратковременное включение газогенератора (7) с подачей высокотемпературных газов, которое приведет к

- 20 повышению средней температуры стенки (12) реактора-пиролизера (6) и элементов теплообменного каркаса (13) и, следовательно, к повышению скорости образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере (6) и к увеличению расхода пиролизных газов через кольцевую камеру сгорания (1).

Для понижения реактивной тяги можно использовать кратковременное включение

- 25 газогенератора (7) с подачей низкотемпературных газов, которое приведет к уменьшению средней температуры стенки (12) реактора-пиролизера (6) и элементов теплообменного каркаса (13) и, следовательно, к снижению скорости образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере (6) и к уменьшению расхода пиролизных газов через кольцевую камеру сгорания (1).

- 30 Приводим пример реализации устройства осуществления изобретения.

В нашей статье (Frolov S.M., Aksenov V.S., Ivanov V.S., Shamshin I.O. Continuous detonation combustion of ternary "hydrogen-liquid propane-air" mixture in annular combustor. International Journal of Hydrogen Energy, 2017, Vol. 42, No.26, pp. 16808-16820) представлены экспериментальные исследования непрерывно-детонационного горения воздушной

- 35 смеси сжиженного углеводородного газа марки ПБА - пропан-бутан автомобильный в кольцевой камере сгорания с внешней стенкой диаметром 406 мм и шириной кольцевого зазора 25 мм. При расходах горючего и воздуха на уровне 0,1-0,5 кг/с и 5-12 кг/с соответственно, в экспериментах зарегистрирован режим детонационного горения с одной вращающейся детонационной волной, т.е. реализован процесс

- 40 непрерывно-детонационного горения.

Для того, чтобы доказать, что пропан-бутан автомобильный можно заменить пиролизными газами твердого топлива, нами проведены эксперименты по изучению детонационной способности пиролизных газов гранулированного вторичного полипропилена. Спроектирован, изготовлен и испытан реактор-пиролизер для получения

- 45 пиролизных газов гранулированного вторичного полипропилена при температуре стенок реактора-пиролизера от 650 до 800°C. Показано, что рабочий режим реактора-пиролизера полностью определяется средней температурой стенок реактора-пиролизера. Хроматографический анализ продуктов показал, что они в основном состоят из

пропилена, изобутена, этана, метана, этилена и пропана. Проведены эксперименты по изучению перехода горения в детонацию в воздушных смесях пиролизных газов полипропилена. Показано, что в смесях с воздухом, несколько обогащенных горючим (с коэффициентом избытка воздуха $0,73 \leq \alpha \leq 0,90$), при нормальном давлении и

- 5 повышенной начальной температуре ($60\text{--}90^{\circ}\text{C}$) продукты пиролиза полипропилена обладают детонационной способностью, близкой к детонационной способности сжиженного углеводородного газа марки ПБА - пропан-бутан автомобильный - в стехиометрической смеси с воздухом при нормальных условиях: расстояние и время, требуемые для перехода горения в детонацию в таких смесях имеют практически
- 10 одинаковые значения.

Таким образом, предложенные способ организации детонационного горения пиролизных газов гранулированного твердого топлива в камере сгорания воздушно-реактивного двигателя и устройство для его реализации обеспечивают получение пиролизных газов с фазовым и химическим составом, требуемым для

- 15 самоподдерживающегося детонационного горения, а также надежное охлаждение элементов конструкции камеры сгорания.

(57) Формула изобретения

1. Способ организации детонационного горения пиролизных газов в камере сгорания воздушно-реактивного двигателя, включающий продувку реактора-пиролизера газами из газогенератора, пиролиз твердого топлива в реакторе-пиролизере с образованием пиролизных газов, подачу пиролизных газов из реактора-пиролизера в камеру сгорания и их смешение с атмосферным воздухом, поступающим в камеру сгорания, с последующим сгоранием образованной горючей смеси в камере сгорания и истечением 25 продуктов горения из камеры сгорания в атмосферу в виде реактивной струи, создающей реактивную тягу, отличающийся тем, что твердое топливо гранулировано, продувка реактора-пиролизера с твердым топливом газами из газогенератора используется только для дросселирования реактивной тяги путем перевода реактора-пиролизера на тот или иной рабочий режим с требуемой скоростью образования пиролизных газов, 30 а при нарушении того или иного рабочего режима реактора-пиролизера - для его восстановления, причем требуемая скорость образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере на рабочем режиме обеспечивается благодаря потоку тепла в реактор-пиролизер из камеры сгорания, находящейся в тепловом контакте с реактором-пиролизером, а сгорание смеси пиролизных газов с воздухом в камере сгорания 35 происходит в детонационной волне, что обеспечивает поток тепла в реактор-пиролизер из камеры сгорания, достаточный для достижения требуемой скорости образования пиролизных газов в реакторе-пиролизере на том или ином рабочем режиме, а также достаточный для надежного охлаждения элементов конструкции камеры сгорания за счет эндотермического пиролиза гранулированного твердого топлива.

- 40 2. Воздушно-реактивный детонационный двигатель на твердом топливе, содержащий сверхзвуковой воздухозаборник, камеру сгорания с центральным телом с встроенным газогенератором, снабженным реактором-пиролизером, газовым коллектором и поясом радиальных отверстий для подачи газов в камеру сгорания с центральным телом, и реактивное сопло, отличающийся тем, что реактор-пиролизер, встроенный в центральное 45 тело и установленный между газогенератором и газовым коллектором, заполнен гранулированным твердым топливом, а реактор-пиролизер и газогенератор сообщаются друг с другом через расширяющийся канал, а реактор-пиролизер и газовый коллектор - через перфорированную перегородку, причем реактор-пиролизер отделен от кольцевой

камеры сгорания стенкой, выполненной из материала с высокой теплопроводностью, и граничит с той областью кольцевой камеры сгорания, где в основном происходит тепловыделение в детонационной волне, а внутри реактора-пиролизера расположен теплообменный каркас, выполненный из материала с высокой теплопроводностью и

5 находящийся в тепловом контакте со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания, а гранулированное твердое топливо в реакторе-пиролизере находится в тепловом контакте как со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания, так и с элементами теплообменного каркаса, а кольцевая камера сгорания снабжена инициатором детонации.

10 3. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что теплообменный каркас может быть выполнен в виде сборки из поперечных перфорированных дисков и продольных стержней, находящихся в тепловом контакте друг с другом и со стенкой, отделяющей реактор-пиролизер от кольцевой камеры сгорания.

15

20

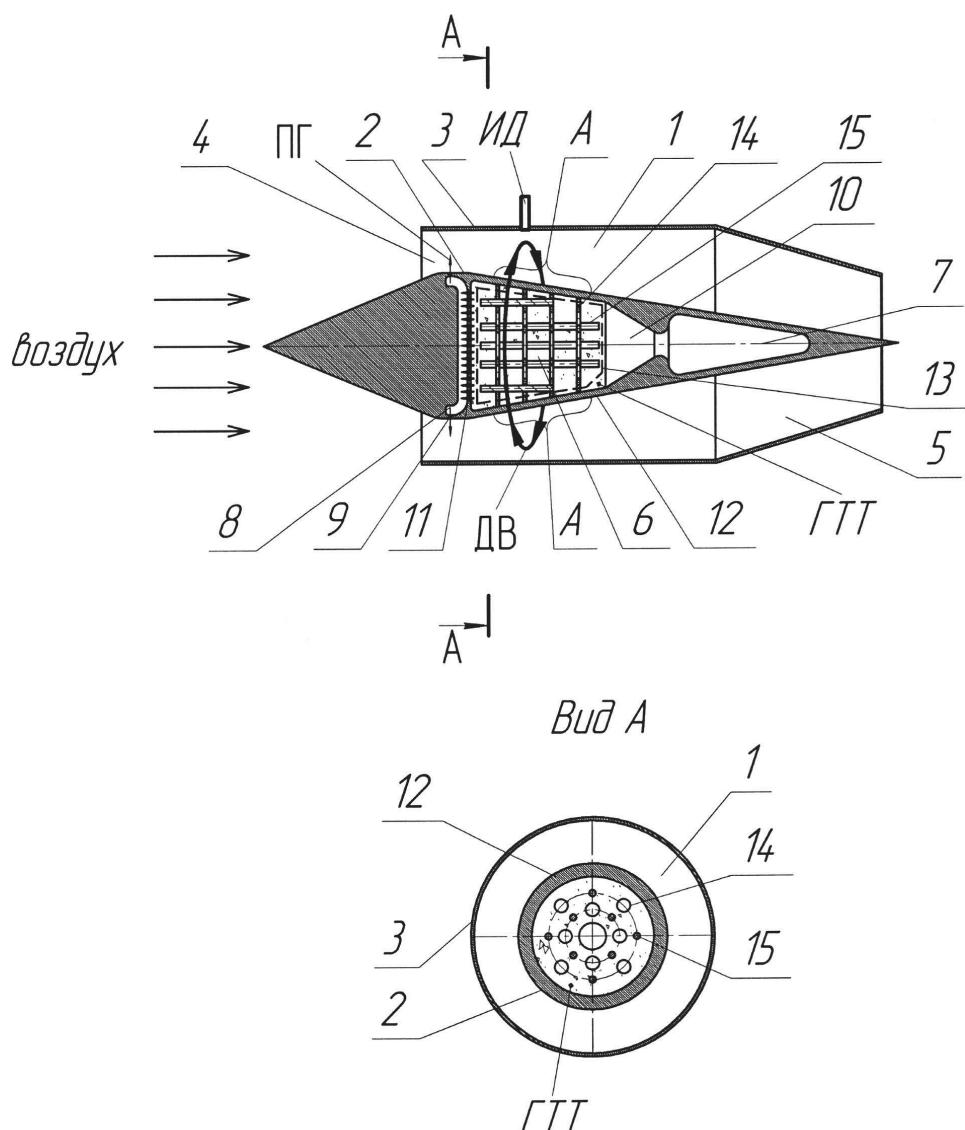
25

30

35

40

45



Фиг. 1