

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044889**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.10

(51) Int. Cl. *F22G 3/00* (2006.01)
F22G 1/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
202290961

(22) Дата подачи заявки
2022.04.21

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА И ВОДОРОДА ПУТЕМ
МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ДЕТОНАЦИИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

(43) **2023.10.09**

(56) RU-C1-2686138
RU-C1-2649494
WO-A1-2014129920

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛЛС-ФЗ "АГРОМУС" (АЕ)

(72) Изобретатель:
Газетов Рафаэль, Шарипова Марина
(LT), Демидов Александр (GB)

(74) Представитель:
Асылханов А.С. (KZ)

(57) Изобретение относится к способам и устройствам для получения сильно перегретого водяного пара и водорода и может быть использовано в различных устройствах, например, для прямого производства "зеленого" водорода из воды, для беспаровой термической конверсии метана в водород, для утилизации CO₂, для газификации и конверсии отходов и биомассы в "зеленый" водород, для производства "зеленой" тепловой и электрической энергии, в металлургии для выплавки металлов, металлообработке, в сфере строительства для конверсии пустынного песка в строительный песок, в деревообрабатывающей промышленности для производства термомодифицированной древесины, для опреснения соленой морской воды, для очистки загрязненных сточных вод, а также в других областях "зеленой" экономики, направленных на борьбу с изменением климата. Технический результат, достигаемый при осуществлении изобретения, заключается в возможности получения сильно перегретого пара температурой около 3500°C и водорода наиболее дешевым из существующих в настоящее время способом, при этом полученный перегретый пар, водород и продукты термической диссоциации являются экологически чистыми и не содержат вредных и токсичных примесей, а также водород, получаемый в процессе термической диссоциации воды, является экологически чистым и наиболее дешевым из существующих в настоящее время видом топлива. Технический результат заявляемого изобретения достигается за счет использования газодинамического резонатора для дальнейшего перегрева пара, предварительно полученного путем однократного ударного детонационного сжатия детонационной волной, до температуры около 3500°C за счет многоступенчатого детонационного сжатия многократно отраженными детонационными волнами в газодинамическом резонаторе.

044889
B1

044889
B1

Изобретение относится к способам и устройствам для получения сильно перегретого водяного пара и водорода и может быть использовано в различных устройствах, например, для прямого производства "зеленого" водорода из воды, для беспаровой термической конверсии метана в водород, для утилизации CO_2 , для газификации и конверсии отходов и биомассы в "зеленый" водород, для производства "зеленой" тепловой и электрической энергии, в металлургии для выплавки металлов и металлообработке для штамповки изделий, в сфере строительства для конверсии пустынного песка в строительный песок, в деревообрабатывающей промышленности для производства термомодифицированной древесины и производства экологически чистых древесных плит и пластин из опилок, для опреснения соленой морской воды, для очистки загрязненных сточных вод, для обработки и уничтожения сорняков перегретым паром, для создания водородных дирижаблей, а также в других областях "зеленой" экономики, направленных на борьбу с изменением климата.

В настоящее время перегретый пар широко используется в самых разнообразных областях энергетики и промышленности. Однако себестоимость его производства является все еще высокой, что делает относительно высокой себестоимость производства различной продукции. Например, себестоимость "серого" водорода, производимого способом паровой конверсии метана хоть и является ниже, чем себестоимость производства "зеленого" и даже "голубого" водорода, но углеродный след и негативное воздействие CO_2 на климат повышает конечную себестоимость "серого" водорода, что ограничивает его использование для нужд "зеленой" энергетики. Высокая себестоимость перегретого пара также ограничивает его широкое использование для утилизации отходов, производства термомодифицированной древесины и решения других задач "зеленой" экономики.

В существующих традиционных парогенераторах перегретый пар температурой около 1800°C получают путем традиционной низкоэффективной теплопередачи, при которой передача тепловой энергии водяному пару от нагретых продуктов сгорания горючего. В парогенераторах, работающих на новых физических принципах, перегретый пар температурой около 2000°C получают путем однократного ударного детонационного сжатия водяного пара с помощью детонационной волны, возникающей в процессе быстропотекающего детонационного горения.

Однако парогенераторы, использующие только однократное ударное детонационное сжатие водяного пара с помощью детонационной волны, не позволяют получать перегретый пар более высоких температур.

Известен способ и устройство для его реализации, предложенные в документе WO 2011/070580, 16.06.2011; и в работе "Performance-Stability and Performance-Safety of a Practical Pulse Detonation Burner (based on patent WO 2011070580 A8)"/Michael Zettner/The 31st Annual Symposium on the Israel Section of the Combustion Institute, December 14th, 2017, p. 73-76, в котором пар генерируется за счет нагрева воды путем теплопередачи через стенку камеры сгорания от продуктов детонации, нагретых за счет ударных детонационных волн. Устройство включает систему подачи топлива, систему подачи окислителя, каналы подачи топлива и окислителя в камеру сгорания, камеру сгорания с гладкими внутренними стенками, источник искрового зажигания, выпускной канал, соединяющий камеру сгорания с атмосферой, а также теплообменник для нагрева воды и/или пара, состоящий из внешнего кожуха и ребер, выполненных на внешней стороне стенки камеры сгорания.

Основной недостаток способа и устройства заключается в том, что перегрев пара происходит традиционным путем теплопередачи тепловой энергии, полученной от разогретых продуктов детонации за счет энергии детонационной волны.

Известен способ получения водорода и кислорода из воды с использованием солнечной энергии, US 4053576 A, 11.10.1977. В предложенном способе производства и отделения водорода и кислорода из воды, в котором вода перекачивается через сосуд со стенками, проницаемыми для солнечного света, нагреваемый до температуры около 2000°C с помощью концентратора солнечной энергии, при которой вода диссоциирует на водород и кислород. Водород диффундирует через стенку-мембрану сосуда, выполненную из жаропрочного материала, отделяется и отводится. Кислород отделяется с помощью обычных методов разделения и отводится.

Основными недостатками способа и устройства заключаются в том, что при температуре около 2000°C только около 2% молекул воды диссоциирует на водород и кислород, а при отсутствии солнечного света устройство не позволяет получать водород и кислород.

Наиболее близкими аналогами способа и устройства получения перегретого пара являются решения, раскрытые в патентах RU 2649494 C1 и RU 2686138 C1.

В известном способе и устройстве "Импульсный детонационный ракетный двигатель", описанном в патенте RU 2649494 C1, для создания многоступенчатой детонации используется газодинамический резонатор, основанный на эффекте Гартмана (Расчетное исследование газодинамического течения в дисковом генераторе Гартмана, автореферат диссертации, Соколов И.А., 2006), способствующий повышению температуры продуктов детонации в камере сгорания до 3500°C , а также повышению давления и скорости импульсных потоков продуктов детонационного горения, что приводит к повышению КПД импульсного детонационного ракетного двигателя. Газодинамический резонатор выполнен из наномодифицированного углеродного материала, позволяющего работать при температурах около 3500°C .

Основной недостаток описанного способа и устройства заключается в том, что используемый газодинамический резонатор, повышающий температуру продуктов детонации до 3500°C, не используется для получения сильно перегретого пара до температуры около 3500°C.

В другом известном способе и устройстве, описанном в патенте RU 2686138 C1, получение перегретого водяного пара осуществляется с помощью однократного ударного детонационного сжатия и разогрева пара в циклическом или непрерывном рабочем процессе, основанном на детонационном сжигании смеси "горючее - окислитель".

Основной недостаток способа и устройства - детонационного парогенератора - заключается в том, что известный детонационный парогенератор, использующий однократное ударное детонационное сжатие водяного пара с помощью детонационной волны позволяет получать смесь продуктов детонации и перегретого пара температурой около 2000°C и не позволяет получать перегретый пар более высоких параметров, например температурой около 3500°C.

Другой недостаток известного способа и устройства - детонационного парогенератора заключается в том, что в полученной смеси перегретого пара и продуктов детонации содержится двуокись углерода CO₂, монооксид углерода CO и оксиды азота (группы NO_x), что снижает экологические показатели.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в разработке высокоэффективного, дешевого и экологически чистого способа и устройства для получения перегретого пара температурой около 3500°C и водорода с минимальными затратами.

Технический результат, достигаемый при осуществлении изобретения заключается в возможности получения сильно перегретого пара температурой около 3500°C и водорода наиболее дешевым из существующих в настоящее время способом, при этом полученный перегретый пар, водород и продукты термической диссоциации являются экологически чистыми и не содержат вредных и токсичных примесей, а водород, получаемый в процессе термической диссоциации воды, является наиболее дешевым и экологически чистым из существующих в настоящее время видом топлива.

Технический результат заявляемого изобретения достигается за счет использования газодинамического резонатора для дальнейшего перегрева пара, предварительно полученного путем однократного ударного детонационного сжатия детонационной волной, до температуры около 3500°C за счет многоступенчатого детонационного сжатия многократно отраженными детонационными волнами в газодинамическом резонаторе. При многоступенчатом перегреве пара до температуры около 3500°C и высоком давлении происходит интенсивная диссоциация молекул воды с выделением водорода и кислорода.

В настоящем изобретении устройство для получения перегретого пара и водорода путем многоступенчатой детонации - импульсный детонационный генератор перегретого пара с газодинамическим резонатором - может работать как в режиме генерации импульсных потоков перегретого пара температурой около 3500°C, так и в самоподдерживающемся режиме генерации водорода.

В настоящем изобретении получение перегретого пара температурой около 3500°C и водорода путем многоступенчатого детонационного сжатия многократно отраженными детонационными волнами осуществляется с помощью импульсного детонационного генератора перегретого пара, содержащего детонационную камеру сгорания, совмещенную с детонационным каналом;

систему подачи горючего;

систему подачи окислителя;

систему зажигания детонационного горения;

газодинамический резонатор, соосно размещенный на выходе детонационной камеры сгорания, выполненный в виде конического кольцевого канала, образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и детонационным каналом и внешней поверхностью конического кольцевого канала, выполненного из жаропрочного углеродного наномодифицированного материала;

систему подачи и нагрева питательной воды, включающую приточный резервуар, полностью заполненный питательной водой, в который полностью погружена детонационная камера сгорания, совмещенная с детонационным каналом;

парогенератор с паровым клапаном и паровой форсункой, подающей водяной пар в детонационную камеру сгорания;

систему производства водорода из питательной воды, включающую камеру диссоциации питательной воды, водородную камеру с диффузионной мембраной для отделения и накопления водорода;

систему разделения водорода от продуктов термической диссоциации перегретого пара, включающую водородную камеру с диффузионной мембраной для отделения и накопления водорода от продуктов термической диссоциации перегретого пара;

устройство отвода из водородной камеры и подачи водорода в систему подачи горючего;

устройство отвода и подачи кислорода в систему подачи окислителя.

В настоящем изобретении при работе в режиме генерации перегретого пара детонационный генератор перегретого пара с газодинамическим резонатором генерирует смесь перегретого пара и продуктов диссоциации воды температурой около 3500°C, который может быть использован для технологических целей в различных сферах промышленности.

В настоящем изобретении при работе в самоподдерживающемся режиме генерации водорода дето-

национный генератор перегретого пара с газодинамическим резонатором генерирует смесь продуктов детонации и перегретого пара температурой около 3500°C, при которой под давлением происходит интенсивное термическое разложение (диссоциация) молекул перегретого водяного пара на атомарный (H) и молекулярный (H₂) водород и на атомарный (O) и молекулярный (O₂) кислород, которые разделяются, например, с помощью специальной жаростойкой диффузионной мембраны и направляются потребителям. При этом определенная часть генерируемого водорода может использоваться в качестве горючего и может подаваться в систему подачи горючего, обеспечивая автономный процесс самоподдерживающегося детонационного горения.

В настоящем изобретении при работе в режиме генерации перегретого пара детонационный генератор перегретого пара с газодинамическим резонатором генерирует экологически чистую смесь продуктов детонации и перегретого пара температурой около 3500°C, при которой происходит интенсивное термическое разложение CO₂ на углерод (C) и кислород (O₂), термическое разложение монооксида углерода CO на углерод (C) и кислород (O), а также термическое разложение оксидов азота (группы NO_x) на азот и кислород.

Фиг. 1 иллюстрирует работу устройства для получения перегретого пара, водорода и кислорода с газодинамическим резонатором в режиме генерации перегретого пара.

Фиг. 2 иллюстрирует работу устройства для получения перегретого пара, водорода и кислорода с газодинамическим резонатором в комбинированном режиме генерации водорода и кислорода из перегретого пара.

На фиг. 1 показана схема устройства для получения перегретого пара и водорода с газодинамическим резонатором в режиме генерации перегретого пара:

детонационный канал (1);
 детонационная камера сгорания (2);
 система подачи горючего (3);
 система подачи окислителя (4);
 стехиометрическая смесь горючего и окислителя (5);
 стехиометрическая смесь водяного пара горючего и окислителя (6);
 паровая форсунка (7);
 паровой клапан (8);
 приточный резервуар (9);
 выходное устройство приточного резервуара (10);
 парогенератор (11);
 система зажигания детонационного горения (12);
 ударная детонационная волна (13);
 импульсный поток перегретого пара (14), предварительно полученный путем однократного ударного сжатия детонационной волной;

газодинамический резонатор (15), соосно размещенный на выходе детонационной камеры сгорания, выполненный в виде конического кольцевого канала (16), образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и детонационного канала и внешней поверхностью конического кольцевого канала, выполненного из жаропрочного углеродного наномодифицированного материала;

многokrратно отраженные детонационные волны (17);
 турбулентный поток перегретого пара и продуктов диссоциации температурой около 3500°C (18);
 результирующая детонационная волна (19);
 входное устройство приточного резервуара (20);
 турбулентный поток смеси перегретого пара, водорода и других продуктов диссоциации (21).

На фиг. 2 показана схема устройства для получения перегретого пара и водорода с газодинамическим резонатором в комбинированном режиме генерации перегретого пара и водорода из питательной воды:

детонационный канал (1);
 детонационная камера сгорания (2);
 система подачи горючего (3);
 система подачи окислителя (4);
 стехиометрическая смесь горючего и окислителя (5);
 стехиометрическая смесь водяного пара горючего и окислителя (6);
 паровая форсунка (7);
 паровой клапан (8);
 приточный резервуар (9);
 выходное устройство приточного резервуара (10);
 парогенератор (11);
 система зажигания детонационного горения (12);
 ударная детонационная волна (13);
 импульсный поток перегретого пара (14), предварительно полученный путем однократного ударного

сжатия детонационной волной;

газодинамический резонатор (15), соосно размещенный на выходе детонационной камеры сгорания, выполненный в виде конического кольцевого канала (16), образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и детонационного канала и внешней поверхностью конического кольцевого канала, выполненного из жаропрочного углеродного наномодифицированного материала;

многократно отраженные детонационные волны (17);

турбулентный поток перегретого пара и продуктов диссоциации температурой около 3500°C (18);

результатирующая детонационная волна (19);

входное устройство приточного резервуара (20);

турбулентный поток смеси перегретого пара, водорода и других продуктов диссоциации (21);

система производства и разделения водорода и кислорода из перегретой питательной воды (22);

камера диссоциации перегретой питательной воды (23);

устройство подачи питательной воды (24);

жаропрочная диффузионная мембрана для отделения водорода из перегретой питательной воды (25);

водородная камера (26);

система разделения водорода и кислорода из продуктов диссоциации (27);

приемная камера продуктов диссоциации (28);

жаропрочная диффузионная мембрана для отделения водорода из продуктов диссоциации (29);

водородная камера (30);

устройство отвода водорода из водородной камеры (31);

устройство отвода кислорода и продуктов диссоциации из приемной камеры продуктов диссоциации (32);

устройство отвода водорода из водородной камеры (33);

устройство отвода кислорода и продуктов диссоциации из камеры диссоциации перегретой питательной воды (34);

устройство подачи водорода в систему подачи горючего (35);

устройство подачи кислорода в систему подачи окислителя (36).

Фиг. 1 иллюстрирует работу устройства для получения перегретого пара и водорода с газодинамическим резонатором в режиме генерации перегретого пара, где

в импульсную детонационную камеру сгорания (2), совмещенную с детонационным каналом (1), из системы подачи горючего (3) циклически подается горючий газ (например, природный газ, метан, водород, пропан, бутан), из системы подачи окислителя (4) циклически подается окислитель (например, кислород или воздух, обогащенный кислородом), образуя стехиометрическую смесь горючего и окислителя (5);

далее образовавшаяся стехиометрическая смесь горючего и окислителя циклически поджигается системой зажигания детонационного горения (12), обеспечивая режим импульсного детонационного горения;

далее питательная вода через входное устройство приточного резервуара (20) подается в приточный резервуар (9), где нагревается, и через выходное устройство приточного резервуара (10) подается в парогенератор (11);

далее слабо перегретый водяной пар (с температурой около 120°C) из парогенератора через паровой клапан (8) и паровую форсунку (7) циклически подается в импульсную детонационную камеру сгорания, образуя стехиометрическую смесь водяного пара, горючего и окислителя (6);

далее осуществляется перегрев пара за счет однократного ударного сжатия возникающей детонационной волной (13) с образованием турбулентного потока перегретого пара и продуктов детонации (14);

далее турбулентный поток перегретого пара и продуктов детонации температурой около 2000°C, сопровождаемый детонационной волной, распространяется вдоль детонационного канала со сверхзвуковой линейной скоростью;

далее детонационная волна поступает в газодинамический резонатор (15), выполненный в виде конического кольцевого канала (16), образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и детонационного канала и внешней поверхностью конического кольцевого канала, выполненного из жаропрочного углеродного наномодифицированного материала и многократно отражается от стенок газодинамического резонатора;

далее многократно отраженные детонационные волны (17) фокусируются в определенной точке резонанса, которая определяется размерами и конфигурацией газодинамического резонатора и обеспечивают процесс многоступенчатой детонации, при котором обратная отраженная волна многократно взаимодействует с предыдущей отраженной волной, что приводит к резкому резонансному повышению давления, линейной скорости и температуры турбулентного потока продуктов детонации и перегретого пара около 3500°C;

далее при перегреве пара и продуктов детонации до температуры около 3500°C происходит интенсивное термическое разложение двуокиси углерода CO_2 на углерод (C) и кислород (O_2), термическое разложение монооксида углерода CO на углерод (C) и кислород (O), а также термическое разложение оксидов азота (группы NO_x) на азот (N) и кислород (O);

далее при перегреве пара и продуктов детонации до температуры около 3500°C происходит интенсивное термическое разложение (диссоциация) молекул перегретого водяного пара с образованием атомарного и молекулярного водорода, кислорода и других продуктов диссоциации;

далее турбулентный поток смеси перегретого пара, водорода, кислорода и других продуктов диссоциации (21) температурой около 3500°C, сопровождающийся результирующей детонационной волной, движется со сверхзвуковой линейной скоростью вдоль детонационного канала к потребителю.

Фиг. 2 иллюстрирует работу устройства для получения перегретого пара и водорода с газодинамическим резонатором в комбинированном режиме генерации водорода и кислорода из перегретой питательной воды, где

в импульсную детонационную камеру сгорания (2), совмещенную с детонационным каналом (1), из системы подачи горючего (3) циклически подается горючий газ (например, природный газ, метан, водород, пропан, бутан), из системы подачи окислителя (4) циклически подается окислитель (например, кислород или воздух, обогащенный кислородом), образуя стехиометрическую смесь горючего и окислителя (5);

далее образовавшаяся стехиометрическая смесь горючего и окислителя циклически поджигается системой зажигания детонационного горения (12), обеспечивая режим импульсного детонационного горения; далее питательная вода, через входное устройство приточного резервуара (20) подается в приточный резервуар (9), где нагревается, и через выходное устройство приточного резервуара (10) подается в парогенератор (11);

далее слабо перегретый водяной пар (с температурой около 120°C) из парогенератора через паровой клапан (8) и паровую форсунку (7) циклически подается в импульсную детонационную камеру сгорания, образуя стехиометрическую смесь водяного пара, горючего и окислителя (6);

далее осуществляется перегрев пара за счет однократного ударного сжатия возникающей детонационной волной (13) с образованием турбулентного потока перегретого пара и продуктов детонации (14);

далее турбулентный поток перегретого пара и продуктов детонации температурой около 2000°C, сопровождаемый детонационной волной, распространяется вдоль детонационного канала со сверхзвуковой линейной скоростью;

далее детонационная волна поступает в газодинамический резонатор (15), выполненный в виде конического кольцевого канала (16), образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и детонационного канала и внешней поверхностью конического кольцевого канала, выполненного из жаропрочного углеродного наномодифицированного материала и многократно отражается от стенок газодинамического резонатора;

далее многократно отраженные детонационные волны (17) фокусируются в определенной точке резонанса, которая определяется размерами и конфигурацией газодинамического резонатора и обеспечивают процесс многоступенчатой детонации, при котором обратная отраженная волна многократно взаимодействует с предыдущей отраженной волной, что приводит к резкому резонансному повышению давления, линейной скорости и температуры турбулентного потока продуктов детонации и перегретого пара до температуры около 3500°C;

далее при перегреве пара и продуктов детонации до температуры около 3500°C происходит интенсивное термическое разложение двуокиси углерода CO_2 на углерод (C) и кислород (O_2), термическое разложение монооксида углерода CO на углерод (C) и кислород (O), а также термическое разложение оксидов азота (группы NO_x) на азот (N) и кислород (O);

далее при перегреве пара и продуктов детонации до температуры около 3500°C под давлением происходит интенсивное термическое диссоциация молекул перегретого пара с образованием атомарного и молекулярного водорода, кислорода и других продуктов диссоциации;

далее турбулентный поток смеси перегретого пара, водорода, кислорода и других продуктов диссоциации (21) температурой около 3500°C, сопровождающийся результирующей детонационной волной, движется со сверхзвуковой линейной скоростью вдоль детонационного канала и поступает в систему производства и разделения водорода и кислорода из перегретой питательной воды (22);

далее турбулентный поток смеси перегретого пара, водорода, кислорода и других продуктов диссоциации нагревает камеру диссоциации перегретой питательной воды (23), в которую подается питательная вода под давлением через устройство подачи питательной воды (24);

далее в камере диссоциации перегретой питательной воды под давлением происходит интенсивное термическая диссоциация молекул перегретого пара с образованием атомарного и молекулярного водорода, кислорода и других продуктов термической диссоциации;

далее атомарный и молекулярный водород проникает через жаропрочную диффузионную мембрану (25) в водородную камеру (26) и через устройство отвода водорода (33) из водородной камеры поступает к потребителю;

далее кислород и другие продукты диссоциации отводятся из камеры диссоциации перегретой питательной воды через устройство отвода кислорода и продуктов диссоциации (34);

далее турбулентный поток смеси перегретого пара, водорода, кислорода и продуктов диссоциации поступает в систему производства и разделения водорода и кислорода из смеси перегретого пара и продуктов диссоциации (27);

далее турбулентный поток атомарного и молекулярного водорода, кислорода и других продуктов диссоциации поступает в приемную камеру продуктов диссоциации (28);

далее атомарный и молекулярный водород, через жаропрочную диффузионную мембрану (29) поступает в водородную камеру (30) и через устройство отвода водорода (31) поступает к потребителю;

далее часть водорода через устройство подачи водорода (35) подается в систему подачи горючего, обеспечивая процесс самоподдерживающегося детонационного горения;

далее кислород и другие продукты диссоциации отводятся из приемной камеры продуктов диссоциации через устройство отвода кислорода и продуктов диссоциации (32);

далее часть кислорода через устройство подачи кислорода (36) подается в систему подачи окислителя для обогащения воздуха кислородом.

Пример осуществления заявляемого изобретения.

На лабораторной установке, оборудованной приборами измерения давления, температуры и расхода, а также газоанализатором, были проведены испытания, общая длительность которых не превышала 5 ч.

В импульсную детонационную камеру сгорания диаметром 150 мм, совмещенную с детонационным каналом общей длиной 3500 мм, соосно был встроены газодинамический резонатор диаметром 130 мм и длиной 280 мм. В систему подачи горючего циклически с частотой 10 Гц подавался природный газ, а в систему подачи окислителя циклически с частотой 10 Гц подавался воздух, обогащенный кислородом, слабо перегретый водяной пар (температурой около 120°C) из парогенератора, через паровой клапан и паровую форсунку циклически с частотой 10 Гц, подавался в импульсную детонационную камеру сгорания, образуя стехиометрическую смесь водяного пара, горючего и окислителя. Далее образовавшаяся стехиометрическая смесь горючего, окислителя и водяного пара циклически с частотой 10 Гц зажигалась системой искрового зажигания детонационного горения, содержащей 5 автомобильных свечей зажигания, обеспечивая режим импульсного детонационного горения. Далее перегрев пара осуществлялся путем однократного ударного сжатия возникающей детонационной волной с образованием турбулентного потока перегретого пара и продуктов детонации температурой около 1700°C и общим расходом около 13 м³/ч, который распространялся вдоль детонационного канала со сверхзвуковой линейной скоростью около 3000 м/с и детонационной волной давлением около 12 кг/см² и поступал в конический кольцевой канал газодинамического резонатора и многократно отражался от стенок газодинамического резонатора, что приводило к резкому резонансному повышению температуры турбулентного потока продуктов детонации и перегретого пара до 3470°C давления до 27 кг/см² и линейной скорости, превышающей 5600 м/с, общим расходом около 13 м³/ч. На выходе детонационного канала в турбулентном потоке продуктов детонации и перегретого пара газоанализатором фиксировалось объемное содержание водорода около 25%, кислорода около 29%, углерода около 9% и азота около 31%. Состав и объемное содержание оставшихся 6% продуктов детонации не определялось.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения перегретого пара и водорода путем многоступенчатой детонации, включающий предварительный перегрев пара путем однократного ударного сжатия детонационной волной, отличающийся тем, что предварительно перегретый пар подвергается дальнейшему перегреву путем многоступенчатого ударного сжатия многократно отраженными детонационными волнами, которые создаются при помощи газодинамического резонатора, соосно размещенного на выходе детонационной камеры сгорания и выполненного в виде конического кольцевого канала, образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и внешней поверхностью конического кольцевого канала, в результате многоступенчатого перегрева пара образуется водород, кислород и другие продукты термической диссоциации.

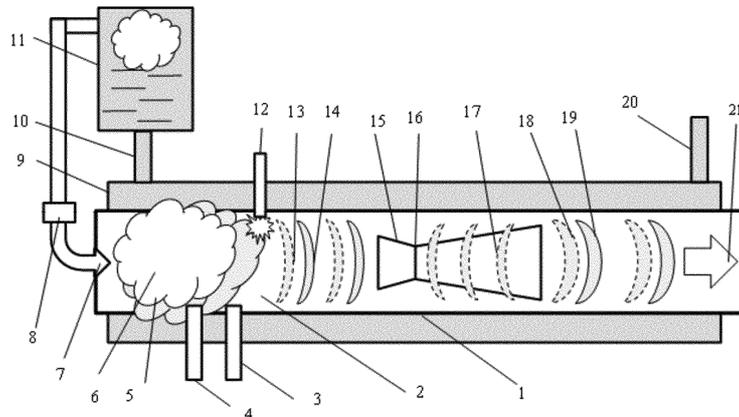
2. Устройство для получения перегретого пара и водорода, содержащее детонационную камеру сгорания, совмещенную с детонационным каналом; систему подачи горючего; систему подачи окислителя, приточный резервуар с питательной водой, в который полностью погружена детонационная камера сгорания, совмещенная с детонационным каналом; парогенератор с паровым клапаном и паровой форсункой, подающей водяной пар в детонационную камеру сгорания; систему зажигания детонационного горения, отличающееся тем, что включает газодинамический резонатор, соосно размещенный на выходе детонационной камеры сгорания, выполненный в виде конического кольцевого канала, образованного между внутренней поверхностью детонационной камеры сгорания и внешней поверхностью конического кольцевого канала, выполненного из жаропрочного углеродного наномодифицированного материала.

3. Устройство по п.2, отличающееся тем, что на выходе детонационной камеры сгорания, совмещенной с детонационным каналом может быть размещена система производства водорода из питательной воды, включающая камеру диссоциации питательной воды, водородную камеру с диффузионной мембраной для отделения и накопления водорода.

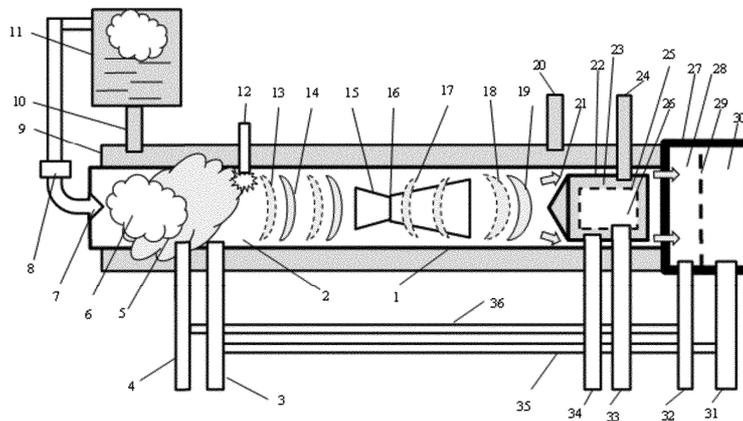
4. Устройство по п.2, отличающееся тем, что на выходе детонационной камеры сгорания, совмещенной с детонационным каналом может быть размещена система разделения водорода от продуктов термической диссоциации перегретого пара, включающая водородную камеру с диффузионной мембра-

ной для отделения и накопления водорода от продуктов термической диссоциации перегретого пара.

5. Устройство по п.2, отличающееся тем, что приточный резервуар с питательной водой может быть выполнен в виде трубчатой конструкции из теплопроводящего материала, расположенный коаксиально вокруг детонационной камеры сгорания, совмещенной с детонационным каналом.



Фиг. 1



Фиг. 2

