

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C01B 3/34 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019102745, 10.07.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.07.2017Дата регистрации:  
09.12.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
15.07.2016 US 62/362,649

(45) Опубликовано: 09.12.2019 Бюл. № 34

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 31.01.2019(86) Заявка РСТ:  
US 2017/041315 (10.07.2017)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2018/013455 (18.01.2018)Адрес для переписки:  
119019, Москва, Гоголевский бульвар, 11,  
"Гоулинг ВЛГ (Интернэшнл) Инк.",  
В.М.Угрюмову(72) Автор(ы):  
КОБАЯСИ, Хисаси (US),  
ВУ, Куан-Тсай (US)(73) Патентообладатель(и):  
ПРАКСАЙР ТЕКНОЛОДЖИ, ИНК. (US)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 6113874 A1, 05.09.2000. GB 756191  
A1, 29.08.1956. US 2007059234 A1, 15.03.2007. SU  
1208026 A1, 30.01.1986. RU 2005128246 A1,  
20.03.2007.

## (54) ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ПОСРЕДСТВОМ ДОБАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к сжиганию в печах, таких как стекловаренные печи, при котором материал подается в печь и нагревается и/или плавится под действием тепла от сгорания, которое происходит внутри печи. Способ включает: (А) сжигание топлива в печи для получения газообразных продуктов горения, содержащих кислород, и (В) поочередное (1) (i) пропускание части газообразных продуктов сгорания из печи в первую камеру, подачу углеводородного топлива в первую камеру и проведение в первой камере реакции углеводородного топлива с кислородом; (ii) пропускание газообразной реакционной смеси из

первой камеры в охлажденный первый регенератор и через него; (iii) пропускание по меньшей мере части охлажденной газообразной реакционной смеси из первого регенератора и топлива в нагретый второй регенератор и проведение во втором регенераторе эндотермической реакции; (iv) пропускание синтетического газа, образованного во втором регенераторе, в печь и сжигание синтетического газа с помощью одного или более потоков окислителя, подаваемых в печь; (2) (i) пропускание части газообразных продуктов сгорания из печи во вторую камеру, подачу углеводородного топлива во вторую камеру и

R U 2 7 0 8 6 0 3 C 1

R U 2 7 0 8 6 0 3 C 1

проведение во второй камере реакции углеводородного топлива с кислородом; (ii) пропускание газообразной реакционной смеси из второй камеры в охлажденный второй регенератор и через него; (iii) пропускание по меньшей мере части охлажденной газообразной реакционной смеси из второго регенератора и топлива в нагретый первый регенератор и проведение в первом регенераторе эндотермической реакции; (iv) пропускание

синтетического газа, образованного в первом регенераторе, в печь и сжигание синтетического газа с помощью одного или более потоков окислителя, подаваемых в печь. Технический результат заключается в эффективной рекуперации тепла, а также в создании и поддержании восстановительной среды в обоих из упомянутых выше регенераторов. 13 з.п. ф-лы, 3 ил., 1 табл., 1 пр.

RUSSIAN FEDERATION



(19)

RU (11)

2 708 603<sup>(13)</sup> C1

(51) Int. Cl.  
*C01B 3/34* (2006.01)

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC  
*C01B 3/34 (2019.08)*

(21)(22) Application: 2019102745, 10.07.2017

(24) Effective date for property rights:  
10.07.2017

Registration date:  
09.12.2019

Priority:

(30) Convention priority:  
15.07.2016 US 62/362,649

(45) Date of publication: 09.12.2019 Bull. № 34

(85) Commencement of national phase: 31.01.2019

(86) PCT application:  
US 2017/041315 (10.07.2017)

(87) PCT publication:  
WO 2018/013455 (18.01.2018)

Mail address:  
119019, Moskva, Gogolevskij bulvar, 11, "Gouling  
VLG (Interneshnl) Ink.", V.M.Ugryumovu

(72) Inventor(s):

KOBAYASI, Khisasi (US),  
VU, Kuan-Tsaj (US)

(73) Proprietor(s):

PRAKSAJR TEKNOLODZHI, INK. (US)

R U 2 7 0 8 6 0 3 C 1

(54) THERMOCHEMICAL REGENERATION BY MEANS OF FUEL ADDITION

(57) Abstract:

FIELD: fuel combustion.

SUBSTANCE: invention relates to incineration in furnaces, such as glass-melting furnaces, where material is fed into furnace and heated and / or melted by heat from combustion, which takes place inside furnace. Method includes: (A) combustion of fuel in furnace to produce gaseous combustion products containing oxygen, and (B) alternate (1) (i) passing part of gaseous combustion products from furnace into first chamber, feeding hydrocarbon fuel into first chamber and conducting in first reaction chamber hydrocarbon fuel with oxygen; (ii) passing the gaseous reaction mixture from the first chamber to the cooled first regenerator and through it; (iii) passing at least a portion of the cooled gaseous reaction mixture from the first regenerator and fuel to the heated second regenerator

and conducting an endothermic reaction in the second regenerator; (iv) passing synthetic gas formed in second regenerator into furnace and burning synthetic gas by means of one or more streams of oxidant fed into furnace; (2) (i) passing a portion of gaseous combustion products from the furnace to a second chamber, feeding hydrocarbon fuel into the second chamber and conducting hydrocarbon fuel with oxygen in the second reaction chamber; (ii) passing the gaseous reaction mixture from the second chamber to the cooled second regenerator and through it; (iii) passing at least a portion of the cooled gaseous reaction mixture from the second regenerator and fuel to the heated first regenerator and conducting an endothermic reaction in the first regenerator; (iv) passing the synthetic gas formed in the first regenerator into the furnace and burning the

R U 2 7 0 8 6 0 3 C 1

R U 2 7 0 8 6 0 3 C 1

synthetic gas with one or more oxidant streams fed into the furnace.

EFFECT: technical result consists in effective heat

recovery, as well as in creation and maintenance of reducing medium in both of said regenerators.

14 cl, 3 dwg, 1 tbl, 1 ex

**Область применения изобретения**

Настоящее изобретение относится к сжиганию в печах, таких как стекловаренные печи, при котором материал подается в печь и нагревается и/или плавится под действием тепла от сгорания, которое происходит внутри печи.

5    **Предпосылки создания изобретения**

В патенте США № 6,113,874 раскрыты способы рекуперации тепла, используемые в печах с регенераторами, в которых поток продуктов сгорания, образующихся в печи, пропускают через первый регенератор для нагрева первого регенератора и охлаждения продуктов сгорания, а затем часть охлажденных продуктов сгорания объединяют с 10 топливом для образования смеси, которую пропускают через второй нагретый регенератор, в котором смесь подвергается эндотермической реакции с образованием синтетического газа, который затем подается в печь и сжигается.

15 В настоящем изобретении предложено усовершенствование способов, раскрытых в этом патенте, поскольку авторы неожиданно обнаружили, что можно улучшить эффективную рекуперацию тепла, обеспечиваемую этими способами, и реализовать другие преимущества, описанные в настоящем документе. В частности, в настоящем изобретении предложено создать и поддерживать восстановительную среду в обоих из упомянутых выше регенераторов, обеспечив таким образом преимущества, описанные в настоящем документе.

20    **Краткое изложение сущности изобретения**

Один аспект настоящего изобретения представляет собой способ выполнения сжигания в печи, включающий в себя

(A) сжигание топлива в печи для получения газообразных продуктов горения, содержащих кислород; и

25    **(B) поочередное**

(1) (i) пропускание части газообразных продуктов сгорания из печи в первую камеру, подачу углеводородного топлива в первую камеру и проведение в первой камере реакции углеводородного топлива с кислородом, присутствующим в газообразных продуктах сгорания, с целью снижения концентрации кислорода в первой камере и 30 получения газообразной реакционной смеси, содержащей кислород и от нуля до 20 000 ч./млн монооксида углерода;

(ii) пропускание газообразной реакционной смеси из первой камеры в охлажденный первый регенератор и через него для нагрева первого регенератора и охлаждения указанной газообразной реакционной смеси;

35 (iii) пропускание по меньшей мере части указанной охлажденной газообразной реакционной смеси из указанного первого регенератора и топлива в нагретый второй регенератор и проведение во втором регенераторе эндотермической реакции между газообразной реакционной смесью и топливом во втором регенераторе для образования синтетического газа, содержащего водород и CO; и

40 (iv) пропускание указанного синтетического газа, образованного во втором регенераторе, в указанную печь и сжигание синтетического газа с помощью одного или более потоков окислителя, подаваемых в указанную печь; и

(2) (i) пропускание части газообразных продуктов сгорания из печи во вторую камеру, подачу углеводородного топлива во вторую камеру и проведение во второй камере 45 реакции углеводородного топлива с кислородом, присутствующим в газообразных продуктах сгорания, с целью снижения концентрации кислорода во второй камере и получения газообразной реакционной смеси, содержащей кислород и от нуля до 20 000 ч./млн монооксида углерода;

(ii) пропускание газообразной реакционной смеси из второй камеры в охлажденный второй регенератор и через него для нагрева второго регенератора и охлаждения указанной газообразной реакционной смеси;

(iii) пропускание по меньшей мере части указанной охлажденной газообразной

<sup>5</sup> реакционной смеси из указанного второго регенератора и топлива в нагретый первый регенератор и проведение в первом регенераторе эндотермической реакции между газообразной реакционной смесью и топливом в первом регенераторе для образования синтетического газа, содержащего водород и CO; и

(iv) пропускание указанного синтетического газа, образованного в первом

<sup>10</sup> регенераторе, в указанную печь и сжигание синтетического газа с помощью одного или более потоков окислителя, подаваемых в указанную печь.

В предпочтительном аспекте изобретения газообразные продукты сгорания, которые пропускают поочередно в первую и вторую камеры, содержат более 5% об. кислорода, а газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй <sup>15</sup> камерах, содержит до 5% об. кислорода и содержит от нуля до 3000 ч./млнmonoоксида углерода.

В другом предпочтительном аспекте изобретения газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах, содержит менее 20 000 ч./млн кислорода и по меньшей мере 1000 ч./млн monoоксида углерода.

<sup>20</sup> В дополнительном предпочтительном аспекте настоящего изобретения охлажденная газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах, до ее пропускания через выпускную трубу в дымоход или пропускания через слой катализатора реформинга вступает в реакцию с кислородсодержащим газом, таким как воздух или кислород, с целью преобразования monoоксида углерода, водорода <sup>25</sup> и углеводородов, присутствующих в охлажденной газообразной реакционной смеси, в диоксид углерода и воду со снижением концентрации monoоксида углерода до менее 500 ч./млн, предпочтительно менее 200 ч./млн, более предпочтительно менее 100 ч./млн.

Предпочтительно способ осуществляется в печи, там же, где проводится сгорание на стадиях (A) и (B) в условиях сгорания кислородно-топливной смеси, т.е. под <sup>30</sup> воздействием окислителя, содержащего по меньшей мере 50% об. кислорода.

В настоящем документе единицы измерения композиций газа «ч./млн» означают «частей на миллион по объему на влажной основе».

В настоящем документе считается, что композиция содержит кислород, если кислород обнаруживается в композиции и/или если расчеты термодинамического равновесия <sup>35</sup> указывают на присутствие кислорода в композиции, например, в малых количествах даже в восстановительной среде со значительной концентрацией CO.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1–3 схематически представлены разные аспекты настоящего изобретения.

Подробное описание изобретения

<sup>40</sup> Изобретение подробно описано в настоящем документе в отношении предпочтительного типа печи, а именно такого, где используется процесс рекуперации тепла, в котором полезное тепло извлекается из выпускных потоков дымового газа с высокой температурой. Данный процесс рекуперации тепла состоит из двух циклов, которые в настоящем документе называются циклом отвода и циклом реформинга.

<sup>45</sup> Эти два цикла выполняются поочередно в двух или более регенераторах, заполненных насадками. Процесс рекуперации тепла предпочтительно осуществляют в сочетании с печами и другими камерами сгорания с применением «кислородно-топливных» процессов сжигания, т.е. сжигания топлива с газообразным окислителем, содержащим

по меньшей мере 50% об. кислорода, предпочтительно по меньшей мере 80% об. кислорода, более предпочтительно по меньшей мере 90% об. кислорода и даже по меньшей мере 99% об. кислорода, поскольку дымовые газы, получаемые при сгорании кислородно-топливной смеси, имеют более высокие концентрации  $H_2O$  и  $CO_2$ , каждая из которых поддерживает реакции эндотермического реформинга, которые используются в способе по настоящему изобретению.

Во время цикла отвода дымовой газ, который образуется при сгорании в печи и содержит продукты сгорания, такие как диоксид углерода и водяной пар, и содержит избыток кислорода (обычно до 1–5% об. или даже выше), подвергается специальной обработке в соответствии с настоящим изобретением для уменьшения избытка кислорода или удаления кислорода, а полученную газообразную реакционную смесь пропускают в первый регенератор и через него для извлечения и аккумулирования тепла в слоях насадки в этом регенераторе и, соответственно, охлаждения реакционной смеси. Затем необязательно, но предпочтительно, после удаления избытка кислорода охлажденную реакционную смесь после ее выхода из слоев насадки обрабатывают путем добавления кислорода для конверсии неполностью окисленных соединений, таких какmonoоксид углерода, в диоксид углерода и водяной пар.

После этого в цикле реформинга часть (которую в настоящем документе называют рециклированным дымовым газом или RFG) охлажденной и необязательно обработанной реакционной смеси, которая выходит из первого регенератора, подают в другой (второй) регенератор и смешивают с потоком топлива (которое в настоящем документе называют топливом для реформинга или RF). Для целей иллюстрации в представленном ниже описании в качестве топлива для реформинга описан чистый метан ( $CH_4$ ). Другие приемлемые виды топлива включают в себя любой горючий газ, смесь газов или испаренные жидкые топлива, включая, без ограничений, природный газ, пропан и сжиженный нефтяной газ ( $CNG$ ).

В цикле реформинга смесь RFG/топлива для реформинга (RF) поступает во второй регенератор, в котором насадка уже нагрета, как описано в настоящем документе, и протекает через регенератор к печи. Температура смеси RFG/RF, проходящей через второй регенератор, продолжает расти по мере извлечения тепла из предварительно нагретой насадки. По мере прохождения через второй регенератор смесь RFG/RF достигает температуры, при которой начинаются и продолжают проходить реакции реформинга, продукты которых включают в себя  $H_2$  и  $CO$ . Реакции реформинга являются эндотермическими, и необходимое для их поддержания тепло поглощается из нагретой насадки. В результате реакций реформинга образуется смесь продуктов, которая обычно содержит один или более компонентов, таких как  $H_2$ ,  $CO$ , сажа и непрореагировавшие газы, содержащие  $H_2O$ ,  $CO_2$  и  $CH_4$ . Полученную таким способом газообразную композицию в настоящем документе также называют «синтетическим газом». Смесь газообразных продуктов и вся сажа выходят из второго регенератора в печь, где горючие компоненты сгорают под воздействием окислителя с выделением тепловой энергии, которая используется для нагрева и/или плавки материала в печи. Во время этого сгорания часть продуктов, находящихся внутри границ пламени, может сгореть или перейти в газообразное состояние, но в конечном итоге все горючие продукты, содержащиеся в синтетическом газе, либо непосредственно окисляются под действием подаваемого в дымовой газ печи окислителя и/или избыточного  $O_2$  до  $CO_2$  и  $H_2O$ , либо сначала переходят в газообразные  $CO$  и  $H_2$  под воздействием  $H_2O$  и  $CO_2$ , содержащихся в дымовом газе печи, а затем последовательно непосредственно окисляются под

действием подаваемого в дымовой газ печи окислителя и/или избыточного  $O_2$  до  $CO_2$  и  $H_2O$ .

Через некоторое время два регенератора меняются циклами (включая обработку дымовых газов для удаления избыточного кислорода), т.е. регенератор, который использовался в цикле отвода, переключается в цикл реформинга, а регенератор, который использовался в цикле реформинга, переключается в цикл отвода. Еще через некоторое время два регенератора снова меняются циклами. Периодичность смены циклов можно определять по времени, прошедшему с момента предыдущей смены циклов, или по другим критериям, таким как температура потока газа, выходящего из регенератора, работающего в цикле отвода. Процесс смены циклов выполняют согласно предварительно определенному механизму и плану, в соответствии с которыми клапаны открывают и закрывают в определенное время.

Ниже описаны управление и контроль по настоящему изобретению со ссылкой на фиг. 1–3. Примером служит стекловаренная печь (10) с торцевыми горелками, оснащенная двумя регенераторами в торцевой стенке (3). Однако настоящее изобретение может быть реализовано в печи, оборудованной по меньшей мере двумя термохимическими регенераторами по настоящему изобретению и другими горелками и регенераторами различных конструкций, включая, без ограничений, воздухоподогреваемые регенераторы.

Как показано на фиг. 1, стекловаренная печь (10) с торцевыми горелками имеет загрузочную станцию (20), через которую в печь загружают сырье (30) для нагрева и плавки, содержащее твердые материалы стекольной шихты (которые называют шихтой и/или стеклобоем). Поток расплавленного стекла на выходе из печи (10) представлен элементом (90). Печь (10) оборудована первым регенератором (100) с левой стороны печи и вторым регенератором (200) с правой стороны печи. Виды в вертикальном поперечном сечении двух регенераторов более подробно показаны на фиг. 2 и 3.

Как можно видеть на фиг. 2, регенератор (200) работает в цикле отвода, в котором газообразные продукты сгорания, такие как поток дымового газа (50) из внутренней части печи (10), поступают во входной проход (240), а затем протекают в камеру (530) регенератора (200) мимо необязательного анализатора (250) кислорода.

Поток дымового газа включает в себя основные продукты сгорания  $CO_2$  и  $H_2O$  и некоторое избыточное количество кислорода, обычно от 1 до 5% об. и в некоторых сферах применения более 5% об. Этот уровень кислорода может быть обеспечен путем подачи в печь достаточного количества кислорода для обеспечения стехиометрического избытка кислорода в отношении горючих продуктов, находящихся в печи. Чтобы уменьшить количество кислорода в дымовом газе (50) после его поступления в камеру (530), оставив при этом некоторое количество кислорода, или создать в среде слоя насадки в камере (200) восстановительную среду, в камеру (530), расположенную над системой (520) насадок, или во входной проход (240) подается приемлемое количество топлива. Допустимые виды топлива для подачи включают в себя любые жидкие или газообразные углеводороды, предпочтительно метан или природный газ. Подача топлива показана как элемент (562). Топливо можно подавать, например, путем его впрыскивания через форсунки, встроенные в верхнюю поверхность камеры (купол) (563), или в стенку камеры (564), или представленные в виде комбинации обоих вариантов, или в любые другие доступные стенки, окружающие камеру (530), над системой насадок и во входном проходе. Предпочтительно использовать топливный(-ые) инжектор(-ы) оптимизированной конструкции, так чтобы свести к минимуму

количество впрыскиваемого топлива для желаемой степени снижения содержания кислорода в дымовом газе. Поскольку температура поступающего дымового газа (50) обычно превышает 982°C (1800°F), во время смешивания впрыскиваемого топлива с поступающим потоком дымового газа в камере (530) кислород в дымовом газе (50)

- 5 частично или полностью расходуется в реакциях автогенного окисления между впрыскиваемым топливом и кислородом при высоких температурах дымового газа. Полученная газообразная реакционная смесь (566) поступает в верхнюю часть системы (520) насадок.

В случае уменьшения, но не полного устранения содержания кислорода в

- 10 газообразной реакционной смеси (566) относительно поступающих газообразных продуктов сгорания (50), в камеру (530) добавляется достаточное количество топлива, чтобы уменьшить содержание кислорода до менее 5% об. кислорода, предпочтительно до 0,5–2% об. кислорода. Если в смеси (566) образуется или присутствуетmonoоксид углерода, его количество составляет до 3000 ч./млн, предпочтительно до 1000 ч./млн.

- 15 В случае создания в системе (520) насадок восстановительной среды в камеру (530) добавляется достаточное количество топлива, чтобы уменьшить содержание кислорода до менее 20 000 ч./млн, и при этом также присутствует monoоксид углерода в количестве, превышающем 1000 ч./млн. Присутствуют водород и другие углеводородные соединения. Также может присутствовать некоторое количество непрореагировавшего топлива.

- 20 Предпочтительно концентрация monoоксида углерода в этом случае составляет 1000–50 000 ч./млн, более предпочтительно 1000–10 000 ч./млн. Предпочтительно уменьшить содержание присутствующего кислорода до менее 1000 ч./млн. Таким образом, во всей системе (520) насадок формируется восстановительная среда, даже несмотря на то что регенератор (200) TCR в этот момент работает в цикле отвода. Поскольку слой насадки 25 в другом регенераторе (100) (который в этот момент работает в цикле реформинга, как описано в настоящем документе) также находится в восстановительной среде, насадки рекуперации тепла находятся в восстановительной среде во время работы в обоих циклах — реформинга и отвода.

- 30 Можно ожидать, что экзотермические реакции окисления, которые протекают между впрыскиваемым топливом (562) и избытком кислорода в дымовом газе (50), приведут к тому, что температура полученной газообразной реакционной смеси (566) будет выше, чем температура дымового газа (50). Большую часть этого дополнительного тепла можно рекуперировать при помощи системы (520) насадок посредством аккумулирования тепла в материалах насадок.

- 35 Кроме того, в регенераторе (200) можно восстановить оксиды азота (также называемые NOx) в потоке дымового газа (50) путем химического взаимодействия с впрыскиваемым топливом или с восстановительной средой в системе (520) насадок.

- Газообразная реакционная смесь (566) протекает через проходы между насадками в регенераторе (200), нагревая при этом насадки в системе (520) насадок, и поступает 40 в нижнее пространство (500) камеры в виде потока (567) через газовые каналы (515), предусмотренные в арке (510), которая также поддерживает массу всего слоя насадок. Регенераторы для стеклоплавильных печей обычно работают при отрицательном давлении по сравнению с атмосферным давлением. В регенератор (200) может натечь некоторое количество воздуха из окружающей среды и вступить в реакцию с 45 окисляемыми компонентами в газообразной реакционной смеси (566), в результате чего концентрация окисляемых компонентов в потоке (567) может оказаться ниже, чем в газообразной реакционной смеси (566).

В том случае, когда поток (567) представляет собой восстановительную среду,

предпочтительно полностью окислить окисляемые компоненты в этом потоке (567), в первую очередь присутствующий в нем СО, чтобы свести к минимуму их содержание и предпочтительно полностью выжечь их до того, как какая-либо часть этого потока будет выведена в трубопровод (201). Предпочтительно на данной стадии окисления 5 или выжига уменьшить содержание монооксида углерода в потоке газа до менее 500 ч./млн, предпочтительно менее 200 ч./млн и более предпочтительно менее 100 ч./млн. Предпочтительным способом достижения этого результата является впрыскивание окислителя (569) при температуре окружающей среды или более высокой температуре в нижнее пространство (500) под аркой (510) и в соответствующее пространство (400), 10 показанное на фиг. 3 в поочередно выполняемом цикле способа. Этот окислитель для выжига следует подавать в количестве, достаточном для полного окисления (выжига) даже низких концентраций СО и избытка топлива, содержащихся в потоке (567), которое усиливается в результате тщательного смешивания с потоком (567) газа. Если 15 температура потока (567) газа слишком низка для достаточного выжига монооксида углерода, Н<sub>2</sub> и топлива, окислитель (569) можно предварительно нагревать до температуры, превышающей температуру окружающей среды, такую как 100–500°C. Например, можно использовать форсунку для подачи горячего кислорода, как описано в патенте США № 8,425,870, который обладает превосходной способностью к 20 смешиванию и который можно использовать для удаления следовых уровней монооксида углерода в ч./млн и несгоревшего топлива. Предпочтительный окислитель (569) для данной стадии включает в себя воздух и более предпочтительно композицию, содержащую по меньшей мере 90% об. кислорода.

Расход впрыскиваемого топлива (562) необходимо тщательно измерять, поскольку его количества достаточно для уменьшения количества избыточного кислорода до 25 желаемого количества или поскольку в случае создания восстановительной среды в системе его количества должно быть более чем достаточно для проведения реакции со всем избыточным кислородом в дымовом газе (50), поданным в камеру (530). В потоке (566) могут находиться водород, другие углеводороды и дополнительное 30 непрореагированное топливо (т.е. «избыточное топливо»), и количество этого избыточного топлива определяется тем, какой именно избыток топлива предполагается создать в формируемой среде слоя насадки. Например, если требуется, чтобы среда в системе (520) насадок содержала больший избыток топлива, то следует увеличить 35 количество впрыскиваемого избыточного топлива (562). Альтернативно, если предпочтительна среда, содержащая небольшое избыточное количество топлива, то расход впрыскиваемого топлива задается так, чтобы после выжига всего избыточного 40 кислорода в потоке (566) оставалось лишь минимальное количество топлива.

Для более точного контроля скоростей впрыска топлива (562) и окислителя (569) на куполе внутри камеры (530) или в подходящем положении на стенке в пространстве (500) можно установить высокотемпературный датчик кислорода для мониторинга 45 концентраций кислорода в камере (530) или в пространстве (500) соответственно. Кроме того, в пространстве (500) можно установить газовый анализатор для измерения концентраций монооксида углерода и несгоревшего топлива в потоке (567) газа. Необходимое количество топлива (562) можно оценить при помощи измеренных анализатором кислорода концентраций О<sub>2</sub> и точно отрегулировать, отслеживая концентрации монооксида углерода и топлива, измеренные газовым анализатором. Концентрации монооксида углерода и топлива, измеренные газовым анализатором, можно также применять наряду с другой информацией о процессе для определения количества антиоксиданта (569), которое необходимо подавать.

Как показано на фиг. 1, часть (52) дымовых газов, образовавшихся в печи (10), можно пустить в обход по трубопроводу (70) через частично открытый клапан (350) и далее в дымоход (340) на выход, что означает, что дымовой газ не вернется в печь, а вместо этого будет выпущен в атмосферу и/или направлен на одну или более других станций 5 для хранения и/или дополнительной обработки, или поступит на любую комбинацию из таких назначений. Для максимальной рекуперации тепла предпочтительно, чтобы клапан (350) был закрыт, чтобы по существу весь дымовой газ (50) печи поступал на регенераторы (200) и (100).

Как показано на фиг. 1 и 2, охлажденный поток газа в трубопроводе (201) выходит

10 из регенератора (200) в трубопровод (260), проходит через открытый клапан (210) и датчик (310) кислорода, а затем поступает на сторону всасывания вентилятора (300). Большая часть этого потока (301) газа, покидая сторону нагнетания вентилятора, проходит через заслонку (330), затем через расходомер (332) и, наконец, поступает в дымоход (340), через который этот газ покидает систему, как определено в настоящем 15 документе. Необязательно поток газа может быть обработан с помощью устройства контроля загрязнения воздуха для снижения содержания пыли, NOx и SOx перед направлением в дымоход (340). Часть (303) потока газа рециклируется в нижнюю часть регенератора (100) посредством пропускания через трубопровод (320) и клапан (360). Это рециклированный дымовой газ (RFG). Его расход измеряют расходомером (322).

20 Как показано на фиг. 1 и 3, топливо для реформинга, которое должно подаваться на второй регенератор (100), подают по трубопроводу (130) через клапан (120).

Подходящие виды топлива для реформинга включают в себя метан (предпочтителен), а также любой другой горючий газ, смесь газов или испаренные жидкие топлива, включая, без ограничений, природный газ, пропан и сжиженный нефтяной газ (СНГ).

25 Как показано на фиг. 3, топливо для реформинга (RF) из потока (130) пересекается и смешивается с RFG (303) в точке (127) в трубопроводе (128), который, в свою очередь, сообщается с нижним пространством (400) регенератора (100). Данная смесь RFG/RF поступает в предварительно нагретую систему (420) насадок регенератора (100) через газовые каналы (415) на арке (410). Регенератор (100) уже был нагрет в предыдущем

30 цикле путем пропускания дымового газа (содержащего кислород) из печи в камеру (430), где в предыдущем цикле дымовой газ вступал в реакцию с углеводородным топливом (562), подаваемым в пространство (430) камеры способом, описанным выше применительно к регенератору (200) и камере (530), затем полученный продукт реакционной смеси пропускался через систему (420) насадок с целью нагрева системы 35 (420) насадок, после чего он необязательно вступал в реакцию с кислородом, подаваемым в качестве (569) в пространство (400), и в этом случае опять же способом, описанным выше применительно к пространству (500).

40 Температура смеси RFG/RF растет по мере ее протекания через систему (420) насадок регенератора (100). Когда температура RFG/RF достигает температуры реформинга, происходят эндотермические реакции реформинга, в процессе которых топливо для реформинга (например, CH<sub>4</sub>) вступает в реакцию с CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в RFG с образованием монооксида углерода, H<sub>2</sub>, других углеводородов и сажи. Необходимое для 45 эндотермических реакций реформинга тепло отбирают от нагретых насадок. Реакция реформинга продолжается, а смесь RFG/RF продолжает продвигаться к камере (430). Поток (425) газов (в настоящем документе называется «подвергнувшимся реформингу») потоком газов или потоком «синтетического газа») выходит из верхней части системы (420) насадок. Поток (425) имеет высокую температуру и может включать в себя такие

соединения, как CO, H<sub>2</sub>, сажа, непрореагировавший CH<sub>4</sub> и непрореагировавшие CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Поток (425) проходит через входной проход (140) и датчик (150) кислорода и поступает в печь (10). Этот поток покидает систему (420) насадок с температурами, которые, например, находятся в диапазоне от 982°C до 1371°C (от 1800°F до 2500°F).

5 Окислитель для сгорания синтетического газа подается по трубопроводу (135) через открытый клапан (115). Данный окислитель может представлять собой воздух или иметь большее содержание кислорода, чем воздух, т.е. по меньшей мере 21% об., а предпочтительно равное или больше 80% об., более предпочтительно равное или больше 90% об. или даже по меньшей мере 99% об.

10 Как правило, в процессе рекуперации тепла один регенератор работает в цикле отвода и один регенератор — в цикле реформинга, как показано на фиг. 1, в течение от приблизительно 20 до 40 минут или до тех пор, пока насадки в регенераторе реформинга не остынут настолько, что перестанут обеспечивать достаточное количество тепла для поддержания желательных эндотермических химических реакций. На этой 15 стадии (и продолжая описание в настоящем документе, где регенератор (200) работал в цикле отвода, а регенератор (100) работал в цикле реформинга) печь (10) подвергают процедуре реверсирования, при которой регенератор (200) переводится в цикл реформинга для рекуперации тепла, а регенератор (100) переводится в цикл отвода для накопления тепла. Перед реверсированием оставшуюся в регенераторе (100) часть 20 синтетического газа необходимо продуть в печь (10). В этом случае сначала блокируют подачу топлива для реформинга на регенератор посредством закрытия клапана (120) и в то же время поддерживают поток RFG от вентилятора (300). Оставшаяся в регенераторе (100) часть синтетического газа продувается с помощью RFG в течение 25 указанного количества времени, так что практически весь синтетический газ в регенераторе вытесняется в печь и полностью сжигается.

После смены циклов дымовой газ из печи проходит в камеру (430) и затем после 30 конверсии в реакционную смесь пропускается через регенератор (100) и предпочтительно подвергается окислению в пространстве (400). Часть этого продукта проходит в выпускную трубу (как определено в настоящем документе), а другая часть или остаток смешивается с топливом и смесь подается через регенератор (200) и в печь. Клапан 35 (110), находившийся в закрытом положении, открывается, клапан (210) закрыт, клапан (360) закрыт, а клапан (380) открыт, что позволяет дымовому газу проходить из регенератора (100) к вентилятору (300) и через него, а части (303) данного дымового газа проходить в регенератор (200) после смешивания с топливом (230) для реформинга, 40 которое поступает через клапан (220), который раньше был закрыт, а теперь открыт. Клапан (115), находившийся в открытом положении, закрывается, поскольку на этой фазе не происходит сжигания с участием окислителя, поступающего через клапан (115), а клапан (225) открыт. Полученная смесь топлива для реформинга и обработанного рециклированного дымового газа вступает в регенераторе (200) в эндотермические 45 реакции реформинга, которые проходили в предыдущем цикле в регенераторе (100), как описано в настоящем документе, с образованием потока (425) синтетического газа, который поступает в печь (10), где он сгорает под воздействием окислителя (235), который подается через клапан (225). Возможные и предпочтительные композиции окислителя (235) описаны выше в отношении окислителя (135).

Во время процесса рекуперации тепла печь (10) может поджигаться вместе с другими горелками, такими как элементы (60) и (65), таким образом, чтобы как пламя (40) от синтетического газа, так и пламя (62) и (64) от горелок существовали одновременно. Кроме того, горелки (60) и (65) могут поджигаться или не поджигаться в течение

процесса смены циклов, когда работавший в цикле реформинга регенератор (т.е. (100) или (200), в зависимости от обстоятельств) подвергается описанной выше последовательности продувки. Для максимальной рекуперации тепла предпочтительно, чтобы горелки (60) и (65) не горели одновременно с пламенем (40) синтетического газа.

5 Также предпочтительно, чтобы горелки (60) и (65) не горели в течение последовательности продувки.

Процедуры управления и контроля по настоящему изобретению были описаны в предшествующих разделах на примере стекловаренной печи (10) с торцевыми горелками, оснащенной двумя регенераторами в торцевой стенке (3). Настоящее изобретение может

10 быть альтернативно реализовано в печи с поперечным направлением пламени, оснащенной множеством (обычно от трех до семи) пар термохимических регенераторов по настоящему изобретению, которые расположены на противоположных сторонах печи. Настоящее изобретение может быть также реализовано в печи, оснащенной по меньшей мере двумя термохимическими регенераторами по настоящему изобретению

15 и другими горелками и регенераторами различных конструкций, включая, без ограничений, топливовоздушные горелки (то есть горелки, которые сжигают в печи смесь топлива с воздухом) и воздухоподогреваемые регенераторы (то есть регенераторы, через которые в поочередно выполняемых циклах дымовой газ отводится из внутренней части печи для нагревания регенератора, а затем воздух, предназначенный для сжигания

20 топлива в печи, подается снаружи от печи через нагретый регенератор в печь). Однако при реализации настоящего изобретения в печи с воздухоподогреваемыми регенераторами или топливовоздушными горелками дымовые газы из топливовоздушных горелок и/или воздухоподогреваемых регенераторов смешиваются с дымовым газом из термохимических регенераторов и разбавляют концентрацию CO<sub>2</sub>

25 и H<sub>2</sub>O в дымовом газе, поступающем в термохимические регенераторы. В таком случае для поддержания достаточно высокой скорости реакций реформинга в слое катализатора реформинга суммарная концентрация CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в дымовом газе, поступающем в термохимические регенераторы, должна составлять по меньшей мере 35% об., предпочтительно более 50% об.

30 Настоящее изобретение обеспечивает многочисленные преимущества. Тепло, выделяемое в ходе экзотермических реакций окисления, которые протекают между впрыснутым топливом (562) и избытком кислорода в дымовом газе (50), который поочередно проходит в камеры (530) и (430), аккумулируется в верхней части соответствующих систем (520) и (420) насадок. Автор настоящего изобретения неожиданно обнаружил, что это дополнительное тепло, аккумулированное в зоне системы насадок с наивысшей температурой, эффективно рекуперируется во время цикла реформинга из-за высокой скорости эндотермических химических реакций при высокой температуре. Отдельные расчеты энергетического баланса печи и регенераторов показывают, что 1 млн БТЕ топлива, впрыскиваемого в регенераторы и вступающего в них в реакцию с избытком кислорода, может снизить расход топлива в печи более чем на 1 млн БТЕ в зависимости от теплового коэффициента полезного действия печи. Этот неожиданный результат можно объяснить на следующем примере. Кислородно-топливная стекловаренная печь с термохимическими регенераторами характеризуется 40 эффективностью сжигания топлива 80%, поскольку 20% вводимого топлива относится на потери с явным теплом дымового газа после регенераторов. Рекуперация и ввод в печь 1 млн БТЕ дополнительного тепла в виде энергии синтетического газа позволяет уменьшить количество вводимого топлива, необходимого для сжигания в печи, на 1/

0,8 = 1,25 млн БТЕ в общем энергетическом балансе печи. Отдельный расчет термохимического регенератора показывает, что более 90% из 1 млн БТЕ (низшая теплота сгорания, LHV) топлива, впрыскиваемого в регенераторы и вступающего в них в реакцию с избытком кислорода, можно аккумулировать и рекуперировать во время цикла реформинга. В этом примере 0,9 млн БТЕ рекуперированного тепла позволяет уменьшить количество вводимого в печь топлива на  $0,9/0,8 = 1,125$  млн БТЕ (LHV).

Кроме того, в регенераторе (200) можно восстановить часть оксидов азота (также называемых NOx), содержащихся в потоке (50) дымовых газов, путем химического взаимодействия с впрыскиваемым топливом или с восстановительной средой в камере (530) и слое (520) (и аналогичным образом, когда регенераторы меняются циклами, как описано в настоящем документе, после чего дымовой газ (50) проходит из печи в камеру (430) и регенератор (100)). При рециркуляции дымового газа, содержащего избыточный кислород в высокой концентрации, его смешивании с топливом и пропускании в регенератор, работающий в цикле реформинга, избыточный кислород экзотермически реагирует с топливом при нагревании в системе насадок еще до протекания основных эндотермических реакций реформинга. Тепло, выделяющееся в этой экзотермической реакции, нагревает нижнюю среднюю секцию системы насадок.

В частности, в случае полного удаления избытка кислорода настоящее изобретение обеспечивает восстановительную среду в обоих слоях регенератора в обоих циклах (а именно в цикле отвода и цикле реформинга). Это противоречит ожидаемой ситуации, в которой каждый слой поочередно подвергается воздействию окислительной среды, когда слой работает в цикле отвода дымовых газов, а затем подвергается воздействию восстановительной среды, когда слой работает в цикле реформинга. Следует ожидать, что такая поочередная смена среды (в особенности при повышенных температурах, используемых в каждом цикле) ускорит старение и износ материалов, из которых изготовлены слои насадок и стенки регенератора, а также входные проходы. Таким образом, оператор может быть вынужден использовать материалы, стойкие не только к циклическим изменениям температуры потоков газов, которые контактируют с этими материалами, но и к средам обоих типов; такие материалы сложнее подобрать, и они более дорогие. Настоящее изобретение благодаря обеспечению восстановительной атмосферы в обоих циклах снижает риск износа в результате поочередной смены между восстановительной и окислительной средами и предоставляет оператору большую свободу в выборе более доступных материалов для насадок, стойких к восстановительной среде, но необязательно стойких к окислительным средам.

#### Пример

В этом примере и приведенной ниже сопроводительной таблице (которые представлены для пояснительных целей и не имеют ограничительного характера) проиллюстрирована эффективность настоящего изобретения для случая полного удаления кислорода.

Стекловаренная печь с регенерацией воздуха производительностью 345 мегаграмм/сутки (380 тонн/сутки) была переведена на кислородно-топливную технологию сжигания с использованием процесса термохимической рекуперации тепла (TCR), описанного выше. После модернизации с каждой стороны подпорных стенок печи были обеспечены две камеры регенератора TCR.

Согласно результатам расчетов на основании модели с раздельным определением массового и энергетического баланса, общий расход дымового газа, поступающего в камеру TCR в цикле нагревания дымового газа, составил 7633,15 ст. куб. м/ч (269 562

ст. куб. фут/ч). Предполагалось, что дымовой газ имеет температуру 1482°C (2700°F) и композиции газа, показанные в таблице 1. Избыток кислорода в дымовом газе составил 0,80% на влажной основе. Для выжига всего избыточного O<sub>2</sub> в дымовом газе, а также для обеспечения в насадках общей восстановительной среды с избытком топлива было необходимо впрыскивать всего 30,64 ст. куб. м/ч (1082 ст. куб. фут/ч) метанового топлива и смешивать его с выпускаемым горячим дымовым газом.

Впрыск топлива производился с помощью двух форсунок, каждая из которых имела одно сопло для впрыска. Внутренний диаметр соплового отверстия составлял 0,635 сантиметра (0,25 дюйма), благодаря чему скорость впрыска топлива составила приблизительно 134 м/с (приблизительно 441 фут/с). После завершения впрыска введенное топливо сжигали с помощью избыточного O<sub>2</sub> в дымовом газе, так что был удален весь избыточный кислород. Таким образом, температура дымового газа повысилась до 1520°C (2768°F), что соответствует росту температуры на 38°C (68°F). Расход дымового газа и его композиция после впрыска топлива также показаны в таблице I. Как можно видеть, дымовой газ в камере, расположенной над верхней частью насадки, теперь находился в восстановительной среде, которая содержала очень небольшое количество избыточного топлива 40 ч./млн и концентрацию CO 2000 ч./млн. Для оптимизации расположений и конструкции топливных форсунок можно использовать программное обеспечение Computational Fluid Dynamics (CFD).

В зоне окончательного выжига и как указано в таблице I, стехиометрический поток кислорода, необходимый для выжига CO и остаточного топлива, по расчетам, составил 8,27 ст. куб. м/ч (292 ст. куб. фут/ч). Поскольку полное смешивание этого кислорода с дымовым газом является важным условием для обеспечения уровней выжига CO, количество кислорода для выжига CO было увеличено с 8,27 ст. куб. м/ч до 30,78 ст. куб. м/ч (с 292 ст. куб. футов/ч до 1087 ст. куб. футов/ч), что соответствует 0,4% избытка O<sub>2</sub> на выходе из зоны выжига CO, чтобы усилить кинетическую энергию струи кислорода для смешивания. Если температура дымового газа вблизи арочной зоны насадки является слишком низкой для выжига CO при впрыскивании холодного кислорода, можно установить форсунку для подачи горячего кислорода, чтобы снизить концентрации CO до ниже или намного ниже 200 ч./млн, чтобы обеспечить соответствие нормам по выбросам CO.

Таблица 1

Дымовой газ		
Входной проход	Суммарный расход дымового газа (ст. куб. м/ч (ст. куб. футов/ч))	7633,15 (269 562)
	Температура дымового газа (°C (°F))	1482 (2700)
	Композиция дымового газа	
	CO <sub>2</sub> (%), на влажной основе)	38,89
	H <sub>2</sub> O (%), на влажной основе)	52,22
	N <sub>2</sub> (%), на влажной основе)	6,01
	O <sub>2</sub> (%), на влажной основе)	0,80
	Ar (%), на влажной основе)	2,09
	Скорость дымового газа (м/с (футов/с))	9 (30)
	Общий массовый расход дымового газа (кг/ч (фунтов/ч))	9433,8 (20 798)
Впрыск топлива		
Камера, расположенная над верхней частью насадки	Количество топлива (CH <sub>4</sub> ), необходимое для достижения небольшого избытка топлива (ст. куб. м/ч (ст. куб. футов/ч))	30,64 (1082)
	Число сопел	2
	Расход топлива в пересчете на одно сопло (ст. куб. м/ч (ст. куб. футов/ч))	15,3 (541)

	Диаметр сопла (сантиметр (дюйм))	0,635 (0,25)
	Скорость топлива (м/с (футов/с))	134 (441)
	Общий массовый расход топлива (кг/ч (фунтов/ч))	21 (46)
5	После впрыска топлива	
Камера, расположенная над верхней частью насадки	Температура дымового газа (°C (°F))	1520 (2768)
10	Суммарный расход дымового газа (ст. куб. м/ч (ст. куб. футов/ч))	7664,72 (270 677)
	Композиция дымового газа	
	CO <sub>2</sub> (%), на влажной основе	38,93
	H <sub>2</sub> O (%), на влажной основе	52,80
	N <sub>2</sub> (%), на влажной основе	5,98
	O <sub>2</sub> (%), на влажной основе	0,00
	Ar (%), на влажной основе	2,08
	CH <sub>4</sub> (ч./млн, на влажной основе)	40
15	CO (ч./млн, на влажной основе)	2000
Выжиг CO		
Арка	Требуемое количество O <sub>2</sub> при SR = 1 (ст. куб. м/ч (ст. куб. футов/ч))	8,27 (292)
	Избыток O <sub>2</sub> в дымовом газе (%)	0,4
20	Требуемый поток O <sub>2</sub> (ст. куб. м/ч (ст. куб. футов/ч))	30,78 (1087)

## (57) Формула изобретения

1. Способ выполнения сжигания в печи, включающий в себя

(A) сжигание топлива в печи для получения газообразных продуктов горения, содержащих кислород, и

25 (B) поочередное

(1) (i) пропускание части газообразных продуктов сгорания из печи в первую камеру, подачу углеводородного топлива в первую камеру и проведение в первой камере реакции углеводородного топлива с кислородом, присущующим в газообразных продуктах сгорания, с целью снижения концентрации кислорода в первой камере и 30 получения газообразной реакционной смеси, содержащей кислород и от нуля до 20000 ч./млн монооксида углерода;

(ii) пропускание газообразной реакционной смеси из первой камеры в охлажденный первый регенератор и через него для нагрева первого регенератора и охлаждения указанной газообразной реакционной смеси;

35 (iii) пропускание по меньшей мере части указанной охлажденной газообразной реакционной смеси из указанного первого регенератора и топлива в нагретый второй регенератор и проведение во втором регенераторе эндотермической реакции между газообразной реакционной смесью и топливом во втором регенераторе для образования синтетического газа, содержащего водород и CO; и

40 (iv) пропускание указанного синтетического газа, образованного во втором регенераторе, в указанную печь и сжигание синтетического газа с помощью одного или более потоков окислителя, подаваемых в указанную печь; и

(2) (i) пропускание части газообразных продуктов сгорания из печи во вторую камеру, подачу углеводородного топлива во вторую камеру и проведение во второй камере 45 реакции углеводородного топлива с кислородом, присущующим в газообразных продуктах сгорания, с целью снижения концентрации кислорода во второй камере и получения газообразной реакционной смеси, содержащей кислород и от нуля до 20000 ч./млн монооксида углерода;

(ii) пропускание газообразной реакционной смеси из второй камеры в охлажденный второй регенератор и через него для нагрева второго регенератора и охлаждения указанной газообразной реакционной смеси;

(iii) пропускание по меньшей мере части указанной охлажденной газообразной реакционной смеси из указанного второго регенератора и топлива в нагретый первый регенератор и проведение в первом регенераторе эндотермической реакции между газообразной реакционной смесью и топливом в первом регенераторе для образования синтетического газа, содержащего водород и CO; и

(iv) пропускание указанного синтетического газа, образованного в первом регенераторе, в указанную печь и сжигание синтетического газа с помощью одного или более потоков окислителя, подаваемых в указанную печь.

2. Способ по п.1, в котором газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах, содержит до 5 об.% кислорода и содержит от нуля до 3000 ч./млнmonoоксида углерода.

3. Способ по п.2, в котором газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах, содержит 0,5-2,0 об.% кислорода.

4. Способ по п.1, в котором газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах на стадиях (B)(1)(i) и (B)(2)(i), содержит менее 20000 ч./млн кислорода.

5. Способ по п.4, в котором газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах на стадиях (B)(1)(i) и (B)(2)(i), содержит менее 1000 ч./млн кислорода и 1000-20000 ч./млн monoоксида углерода.

6. Способ по п.1, в котором охлажденная газообразная реакционная смесь, которая образуется поочередно в первой и второй камерах до ее пропускания через выпускную трубу в дымоход или пропускания через слой катализатора реформинга вступает в реакцию с кислородсодержащим газом с целью преобразования monoоксида углерода, водорода и углеводородов, присутствующих в охлажденной газообразной реакционной смеси, в диоксид углерода и воду со снижением концентрации monoоксида углерода до менее 500 ч./млн.

7. Способ по п.6, в котором указанная реакция с кислородом уменьшает количество monoоксида углерода в охлажденной газообразной реакционной смеси до ниже 500 ч./млн.

8. Способ по п.6, в котором указанная реакция с кислородом уменьшает количество monoоксида углерода в охлажденной газообразной реакционной смеси до ниже 200 ч./млн.

9. Способ по п.6, в котором указанная реакция с кислородом уменьшает количество monoоксида углерода в охлажденной газообразной реакционной смеси до ниже 100 ч./млн.

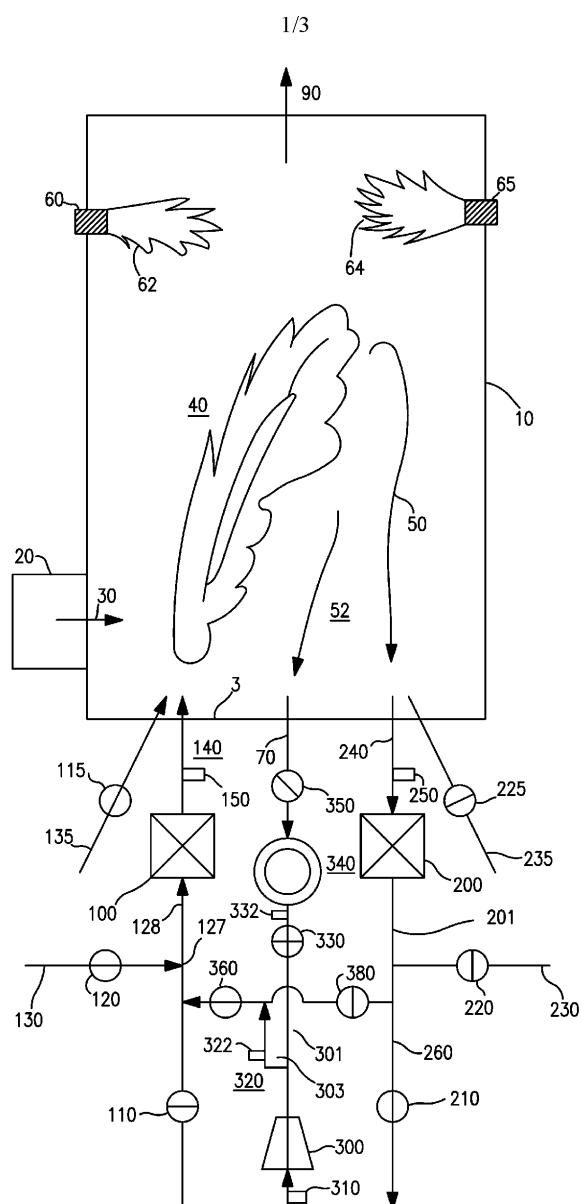
10. Способ по п.1, в котором сжигание в печи на стадиях (A) и (B) осуществляется под воздействием окислителя, содержащего по меньшей мере 50 об.% кислорода.

11. Способ по п.1, в котором сжигание в печи на стадиях (A) и (B) осуществляется под воздействием окислителя, содержащего по меньшей мере 80 об.% кислорода.

12. Способ по п.1, в котором печь также нагревается путем сгорания в одной или обеих топливовоздушных горелках и/или воздухоподогреваемых регенераторах.

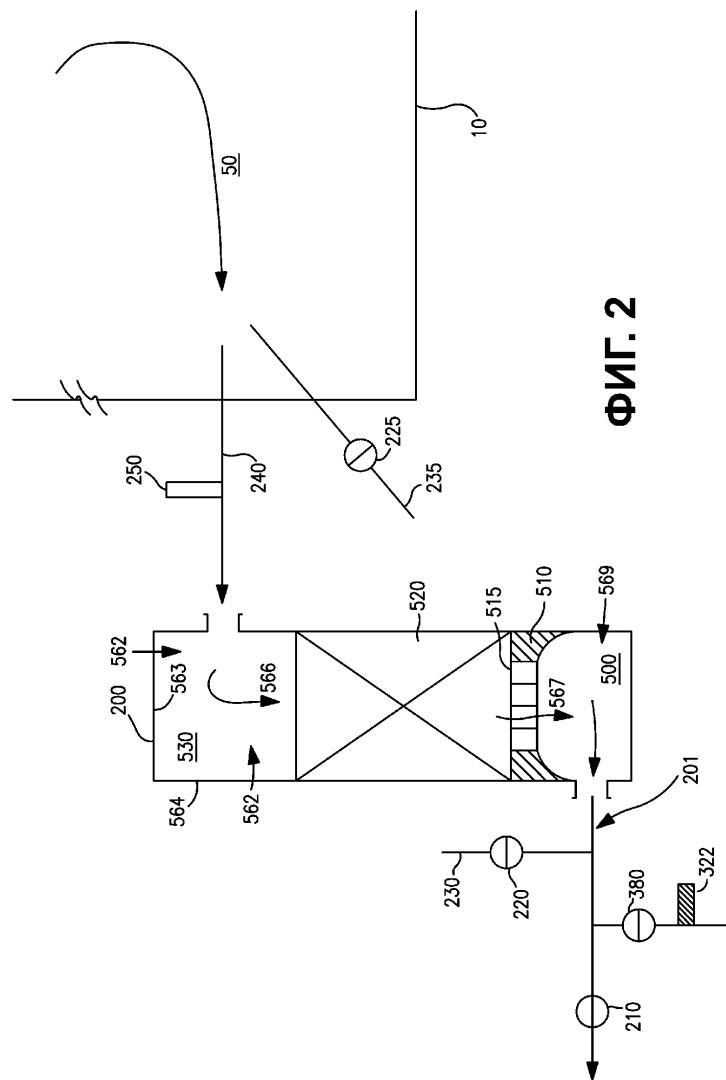
13. Способ по п.12, в котором суммарная концентрация CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в дымовом газе, поступающем в термохимические регенераторы, составляет по меньшей мере 35 об.%.

14. Способ по п.12, в котором суммарная концентрация CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в дымовом газе, поступающем в термохимические регенераторы, превышает 50 об.%.



## ФИГ. 1

2/3



ФИГ. 2

