

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034410**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.02.05

(21) Номер заявки
201792016

(22) Дата подачи заявки
2011.08.30

(51) Int. Cl. **F02C 3/20** (2006.01)
F02K 9/64 (2006.01)
F23R 3/06 (2006.01)
F23M 5/08 (2006.01)
F23L 7/00 (2006.01)

(54) **УСТАНОВКА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА ПРИ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И
ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ**

(31) **12/872,364; 61/510,356; 13/220,439**

(32) **2010.08.31; 2011.07.21; 2011.08.29**

(33) **US**

(43) **2018.01.31**

(62) **201300308; 2011.08.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ПАЛМЕР ЛЭБС, ЛЛК; 8 РИВЕРЗ
КЭПИТЛ, ЛЛК (US)**

(72) Изобретатель:
**Палмер Майлз Р. (US), Аллам Родни
Джон (GB), Браун Гленн Уилльям
Джр., Фетведт Джереми Эрон (US)**

(74) Представитель:
**Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) **US-A-6151887
RU-C2-2171388
US-A1-20070274876**

(57) В изобретении представлена установка для сжигания топливной смеси, содержащая камеру сгорания и узел форсунки, выполненный с возможностью приема углеродного топлива, кислорода и рабочего тела и подачи топливной смеси в камеру сгорания. Камера сгорания, по меньшей мере, частично сформирована расположенным по периметру пористым транспирационным элементом, по меньшей мере, частично охваченным элементом защитной оболочки высокого давления. Камера сгорания имеет разнесенные друг от друга в продольном направлении входную и выходную части. Топливная смесь поступает во входную часть для сжигания в камере сгорания при температуре горения с образованием продуктов горения. Далее в камере сгорания продукты горения направляются в продольном направлении к выходной части. Пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью в основном равномерного направления сквозь него в камеру сгорания транспирационной текучей среды по винтовой линии вдоль его периметра, очерчивающего камеру сгорания, и в продольном направлении между входной и выходной частями с целью предотвращения взаимодействия между продуктами горения и пористым транспирационным элементом.

034410 B1

034410 B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к установкам и системам для сжигания углеродного (углеродсодержащего) топлива с кислородом при высоком давлении и высокой температуре с получением продуктов горения, обладающих или окислительными свойствами при избытке кислорода, или содержащими восстановительные компоненты и имеющими нулевое содержание кислорода. Одним из практических применений может быть выработка энергии, такой как электрическая, с использованием рабочей текучей среды (далее - рабочего тела) для преобразования энергии, получаемой при высокоэффективном сжигании топлива. В частности, в таких установках и системах в качестве рабочего тела может использоваться диоксид углерода или пар. В других частных вариантах выполнения изобретения установки и системы могут использоваться для производства газа, содержащего водород и(или) монооксид углерода.

Уровень техники

По оценкам в ближайшие 100 лет основная потребность мирового производства электроэнергии будет удовлетворяться за счет использования органических топлив, хотя одновременно будут развиваться и использоваться неуглеродные источники энергии. Однако известным способом производства энергии путем сжигания органических топлив и(или) биомассы присущи увеличение стоимости энергии и возрастание выхода диоксида углерода (CO_2) и других вредных выбросов. Все и более становится ясным, что глобальное потепление из-за увеличения выбросов углерода развитыми и развивающимися странами потенциально влечет за собой катастрофические последствия. Как представляется, солнечная и ветровая энергия не способны заместить сжигание органического топлива в ближайшей перспективе, а с ядерной энергией связаны такие угрозы, как распространение ядерных материалов и необходимость в захоронении ядерных отходов.

На обычные устройства для производства энергии из органических топлив или соответствующей биомассы в настоящее время накладываются все большие требования по улавливанию CO_2 при высоком давлении для доставки его на изолированные пункты. Как доказано, такие требования трудновыполнимы, так как существующие технологии обеспечивают очень низкую эффективность улавливания CO_2 даже в лучших конструкциях. Кроме того, капитальные затраты на улавливание CO_2 высоки, что может привести к существенному удорожанию электроэнергии по сравнению с системами, выбрасывающими CO_2 в атмосферу. Соответственно в мире существует все большая потребность в устройствах и способах для высокоэффективного производства энергии при пониженном выбросе CO_2 и(или) упрощенном улавливании и удалении выработанного CO_2 .

Сжигание в кислородной атмосфере углеродных топлив включает выделение в основном чистого кислорода из воздуха (или обеспечение иным способом в основном чистого кислорода для использования в процессе горения) и использование кислорода в качестве среды горения для получения продуктов горения, в основном свободных от азота и содержащих диоксид углерода и водяной пар. Существующие камеры сгорания, работающие с воздушной и кислородной атмосферой при сжигании топлива, действуют при ограниченных температурах и давлениях для предотвращения повреждения избыточной температурой стенок камеры сгорания и(или) других компонент системы, таких как турбинные лопатки. В некоторых случаях ограничение рабочей температуры и(или) давления могут привести к нежелательному увеличению длительности процесса горения и(или) требованию увеличения объема камеры сгорания. Кроме того, процесс горения, конструкция камеры сгорания и(или) расположенные ниже по потоку средства обработки выходных газов также могут нежелательно зависеть от типа используемого в процессе топлива. Кроме того, из-за больших объемов продуктов горения, возникающих в обычных бойлерных системах, известных в современном уровне техники, и выброса этих газов в атмосферу современные способы удаления загрязняющих примесей из поступающих в дымовые трубы выхлопных газов и системы сжигания в атмосфере кислорода в высокой степени зависят от деталей конструкции установки и от конкретного вида топлива, сжигаемого в установке. Каждый вид топлива имеет свой химический состав и количество загрязняющих примесей. Таким образом, в настоящее время существуют нежелательные требования, чтобы системы очистки выхлопных газов или модификации конструкций камер сгорания с кислородным горением топлива для каждой установки проектировались индивидуально под конкретный вид топлива с конкретным химическим составом.

В современном уровне техники, например, для угля, обычно используется очень большая единичная камера сгорания, снабженная вертикальными полыми стенками или спиралевидными полыми стенками, в которых вырабатывается пар под высоким давлением и доводится до перегретого состояния в отдельной секции пароперегревателя. В крупногабаритной камере сгорания могут возникать значительные тепловые потери, и вообще она подвержена повреждениям, а также образованию нагара в горелках и на передающих тепло радиационным и конвективным способом поверхностях и других компонентах, формируемого угольной золой, шлаком и коррозионными компонентами, такими как SO_x , HCl , NO_x и т.д., содержание которых в продуктах горения зависит от конкретного используемого угля. Такие приведенные в качестве примера недостатки могут в конечном итоге привести к необходимости периодического прекращения работы всей установки для ремонта или замены поврежденных или корродированных деталей и(или) других компонент и могут таким образом привести к снижению возможности использования установки и трудностям в компенсации потерь в производительной мощности установки при про-

стое.

Сущность изобретения

Вышеперечисленные и другие запросы удовлетворены в настоящем изобретении, в котором обеспечивается установка для сжигания топливной смеси, содержащая смесительное устройство, выполненное с возможностью смешивания углеродного топлива с обогащенным кислородом и рабочим телом (текучей средой) с образованием топливной смеси, и устройство камеры сгорания, формирующее камеру сгорания, имеющую входную часть, разнесенную по длине от противоположной выходной части и выполненную с возможностью приема топлива для сжигания его в камере сгорания при температуре горения с образованием продуктов горения. Камера сгорания выполнена с возможностью направления продуктов горения продольно к выходной части. Устройство камеры сгорания содержит элемент защитной оболочки высокого давления; пористый расположенный по периметру транспирационный элемент (т.е. имеющий поры, сквозь которые проникает текучая среда), по меньшей мере, частично формирующий камеру сгорания и, по меньшей мере, частично охваченный элементом защитной оболочки высокого давления; и узел форсунки. Транспирационный элемент выполнен с возможностью направления сквозь него транспирационной субстанции в камеру сгорания в основном равномерно по его периметру, так чтобы поток транспирационной субстанции направлялся в основном по касательной к периметру транспирационного элемента и по винтовой линии вокруг его периметра и в продольном направлении между входной частью и выходной частью, предотвращая взаимодействие между продуктами горения и транспирационным элементом. Узел форсунки выполнен с возможностью приема топливной смеси из смесительного устройства и ее подачи во входную часть камеры сгорания в направлении, противоположном или совпадающем с винтовым потоком транспирационной субстанции.

Как будет более ясно из нижеследующего описания, основной техникой результат настоящего изобретения относится к повышению эффективности установки для сжигания топлива и, в частности, к повышению эффективности сжигания при одновременном уменьшении габаритов оборудования и капитальных затрат и предотвращении повреждений стенки камеры сгорания.

В некоторых случаях ввод транспирационной субстанции в камеру сгорания может обеспечивать требуемую выходную температуру продуктов горения. Установка может также содержать устройство преобразования, выполненное с возможностью приема продуктов горения и которое реагирует на поступление продуктов горения преобразованием заключенной в них тепловой энергии в кинетическую энергию.

В другом частном варианте выполнения кислородное сжигание углеродного топлива (и(или) углеводородного топлива) может также включать отделение в основном чистого кислорода от воздуха (или обеспечение другим способом такого в основном чистого кислорода) и его использование в процессе горения для получения продуктов горения, в основном свободных от азота и содержащих диоксид углерода и водяной пар. Обогащенные диоксидом углерода продукты горения (впоследствии охлажденные и конденсированные с помощью воды) могут быть затем сделаны пригодными для последующего коммерческого использования, например при добыче нефти вторичными методами или при добыче природного газа вторичными методами, или для закачки в изолированный геологический пласт (с последующими конденсацией и очисткой). При работе системы производства энергии с кислородным сжиганием топлива может быть также обеспечена возможность извлечения диоксида углерода из топлива, получаемого при высоком давлении, что дает экономию энергии за счет снижения или устранения необходимости в сжигании диоксида углерода. Кроме того, работа при высоком давлении может обеспечивать возможность использования в энергетическом цикле очищенных продуктов горения при их смешивании с соответствующим нагретым рабочим телом, таким как CO_2 или пар. Работа энергетической системы при высоком давлении может также привести к снижению объемного расхода текучей среды в энергетическом цикле, что снижает габариты оборудования и капитальные затраты. Другим важным частным вариантом выполнения является камера сгорания с кислородным сжиганием топлива, работающая при высоком давлении и обеспеченная средством регулирования температуры. Циклическое использование соответствующей текучей среды, такой как газообразные продукты горения, или диоксид углерода, или вода, или пар (например, из рециркуляционного потока), для транспирационного охлаждения и защиты стенок камеры сгорания/внутреннего пространства может также служить для регулирования температуры горения. Поток транспирационной субстанции сквозь стенки камеры сгорания может также служить для устранения повреждений стенок камеры сгорания из-за воздействия тепла или ударов золы или жидкого шлака. Таким образом, обеспечиваются действенные высокое давление и высокая температура горения, что может быть использовано для сжигания различных газообразных, жидких или твердых топлив или топливных смесей при удовлетворении различных требований, что является свойством системы выработки энергии, могущей действовать со значительно большей эффективностью и при более низких капитальных затратах, чем при существующих технологиях. В некоторых случаях камера сгорания может работать так, чтобы создавать продукты горения, содержащие водород и монооксид углерода, которые могут удовлетворять требованиям последующих процессов, отличных от выработки энергии.

В еще одном частном варианте выполнения настоящего изобретения обеспечиваются способы и устройства, связанные с камерой сгорания, работающей при высоком давлении и высокой температуре, с

высокой эффективностью, защищенной транспирационной текучей средой, работающей на кислородном сжигании топлива, которая предназначена для применения, например, при производстве энергии, например, в сочетании с энергетическим циклом, в котором используются CO_2 и(или) H_2O в качестве рабочего тела. В таком применении камера сгорания может быть задействована в окислительном режиме, при котором вырабатываемые в ней продукты горения содержат кислород с концентрацией в диапазоне приблизительно от 500 ppm до 3 мол.% и монооксид углерода с содержанием ниже приблизительно 50 ppm, предпочтительно ниже приблизительно 10 ppm молярных. В другом частном варианте выполнения камера сгорания может быть задействована в восстановительном режиме, при котором полученные продукты горения имеют близкую к нулю концентрацию кислорода и содержат некоторое количество CO и H_2 . Работа в восстановительном режиме может быть организована так, чтобы максимизировать выработку H_2 и CO и минимизировать потребление O_2 . Восстановительный режим работы может иметь преимущества не только при выработке энергии, но также при производстве H_2 или синтетического газа на основе H_2+CO . В частных вариантах выполнения рабочее давление может лежать в диапазоне приблизительно от 40 до 500 бар и предпочтительно по меньшей мере 80 бар, и температура продуктов горения может в основном лежать в диапазоне приблизительно от 400 до 3500°C.

В вариантах выполнения, включающих выработку энергии, часть рабочего тела вводится в камеру сгорания вместе с топливом и окислителем (то есть обогащенным кислородом) для сжигания, так что получается поток текучей среды (продуктов горения) под высоким давлением и с высокой температурой, содержащий рабочее тело и продукты горения. Рабочее тело может вводиться сквозь защищенные испарением стенки камеры сгорания и(или) через дополнительные точки впрыскивания, существующие в камере сгорания. Рабочее тело, следуя процессу горения и смешиваясь с продуктами горения при испарении, может иметь температуру, пригодную (то есть достаточно низкую) для введения непосредственно в средство выработки энергии, такое как турбина. В таких случаях общее количество рабочего тела, вводимого в камеру сгорания в качестве разбавителя продуктов горения, может быть подобрано таким, чтобы обеспечивать выходную температуру общего потока рабочего тела, выходящего из камеры сгорания, которая соответствует входной рабочей температуре и давлению энергетической турбины. Преимущество изобретения заключается в том, что поток текучей среды при расширении в турбине может поддерживаться при относительно высоком давлении, так что коэффициент давления в турбине (то есть отношение давления на входе к давлению на выходе турбины) остается менее приблизительно 12. Поток текучей среды может быть дополнительно обработан в процессе разделения его компонент, который может включать пропускание потока текучей среды через теплообменник. В частности, расширенное рабочее тело (по меньшей мере часть которого может быть отведена обратно из потока текучей среды) может быть пропущено через такой же теплообменник для нагрева находящегося под высоким давлением рабочего тела до введения его в камеру сгорания. В некоторых вариантах выполнения изобретения обеспечивается работающая при высоком давлении с кислородным горением топлива камера сгорания, предназначенная для применения в системах производства энергии, способных вырабатывать энергию с высокой эффективностью и при низких капитальных затратах, а также производить в основном чистый CO_2 под давлением в трубопроводе, направляемый на коммерческое использование или удаление. CO_2 может быть также рециклирован в систему производства энергии.

В других вариантах выполнения изобретения способы и системы сжигания могут быть выполнены с возможностью использования самых разнообразных источников топлива. Например, в предлагаемой в изобретении высокоэффективной камере сгорания могут использоваться газообразные (например, природный газ или извлеченный из угля газ), жидкие (например, углеводороды, битумы) и(или) твердые (например, уголь, лигнит, нефтяной кокс) топлива. Как альтернатива к перечисленным могут быть даже использованы другие топлива, такие как водоросли, биомасса или любые другие пригодные горючие органические материалы.

В других частных вариантах раскрытые способы и системы при их комбинации с энергетическими системами с улавливанием CO_2 под давлением в трубопроводе могут быть полезны в том, что их эффективность может превышать эффективность лучших современных электростанций, работающих на паровом цикле со сжиганием угля, которые не обеспечивают улавливание CO_2 . Например, такие существующие электростанции в лучшем случае могут достичь коэффициента полезного действия, равного приблизительно 45%, при работе на смолистом угле и давлении в конденсоре 1,7 дюйма Hg (43 мм рт.ст.). В представленных вариантах выполнения системы такой к.п.д. может быть превышен, например, при подаче CO_2 под давлением 200 бар.

В другом частном варианте выполнения изобретения обеспечивается возможность снижения физических размеров и капитальных затрат для системы выработки энергии по сравнению с существующими технологиями, в которых используется аналогичное топливо. Следовательно, предлагаемые в изобретении способы и системы могут вносить свой вклад или иным образом способствовать существенному снижению стоимости строительства для таких систем производства энергии, а относительно высокая эффективность таких систем может привести к снижению стоимости вырабатываемых электричества или энергии, а также к снижению использования органических топлив.

В одном из частных вариантов выполнения настоящего изобретения предлагается способ производ-

ства энергии, включающий использование такого рабочего тела, как CO_2 и(или) H_2O . В некоторых вариантах выполнения способ может включать введение в камеру сгорания нагретого, сжатого CO_2 и(или) перегретого пара. Предпочтительно CO_2 и(или) пар могут вводиться в камеру сгорания под давлением по меньшей мере приблизительно 80 бар. CO_2 и(или) H_2O могут вводиться в камеру сгорания с двух или нескольких отдельных местоположений. Часть CO_2 и(или) H_2O может смешиваться с O_2 и твердым, жидким, газообразным или сверхкритическим топливом, так чтобы температуру в камере сгорания можно было определять исходя из расчетного объема камеры сгорания. Оставшаяся часть нагретого CO_2 и(или) перегретого пара затем вводится в камеру сгорания для охлаждения продуктов горения путем непосредственного смешивания с ними до достижения заданной общей выходной температуры потока текучей среды, лежащей в диапазоне приблизительно от 400 до 3500°C, что может требоваться для системы производства энергии. В таких условиях CO_2 и(или) H_2O могут смешиваться с продуктами горения, образующимися при сжигании топлива, и с окислителем, таким как кислород с содержанием выше 85 мол.%, для получения потока текучей среды с заданной температурой, содержащего CO_2 и(или) H_2O . В конкретных вариантах выполнения выходная температура потока текучей среды может лежать в диапазоне приблизительно от 400 до 3500°C. В других частных вариантах выходной поток текучей среды может расширяться в турбине, производя энергию (то есть вырабатывая электричество из энергии, вводимой в турбину).

В некоторых частных вариантах выполнения изобретения может быть полезным нагрев рабочего тела даже до более высокой температуры перед введением в камеру сгорания. Например, CO_2 и(или) H_2O могут быть нагреты перед введением в камеру сгорания до температуры, составляющей по меньшей мере приблизительно от 200 до 700°C. В других частных вариантах CO_2 и(или) H_2O могут быть нагреты перед введением в камеру сгорания до температуры, составляющей приблизительно от 700 до 1000°C. В некоторых частных вариантах такое нагревание может выполняться с использованием теплообменного устройства. Как также раскрыто в данном описании, аналогичный теплообменник может быть использован для охлаждения потока текучей среды, выходящего из вырабатывающей энергию турбины.

Аналогично камера сгорания может с успехом работать при более высоком давлении, используя рабочее тело, способное обеспечивать очень высокую эффективность цикла выработки энергии. Например, камера сгорания и введенная часть рабочего тела на основе CO_2 и(или) H_2O могут находиться под давлением по меньшей мере приблизительно 200 бар. В других вариантах выполнения давление может лежать в диапазоне приблизительно от 200 до 500 бар.

В некоторых частных вариантах часть рабочего тела, введенного в камеру сгорания, может быть использована как рециклированный поток в основном чистого CO_2 , так что некоторое количество воды в рабочем теле появляется из топлива. Конечно, в качестве рабочего тела может быть использован CO_2 от внешнего источника.

Поток текучей среды, выходящий из камеры сгорания, может содержать рабочее тело на основе CO_2 и(или) H_2O , а также одну или несколько других компонент, таких как продукты горения, получающиеся из топлива в процессе его сжигания. Поток текучей среды может содержать такие компоненты, как H_2O , SO_2 , SO_3 , NO , NO_2 , Hg , HCl плюс избыточный кислород с содержанием в диапазоне приблизительно от 300 ppm до 3 мол.%. В других частных вариантах выходящий поток текучей среды может содержать, по меньшей мере, изменяющиеся доли H_2 и CO и иметь в основном нулевое содержание O_2 .

Камера сгорания может содержать входное сопловое устройство, через которое вводятся топливо плюс кислород плюс часть рабочего тела в камеру сгорания, где начинается и поддерживается стабильное горение в окислительном или восстановительном режиме в заданном диапазоне значений топливного потока, составляющего обычно приблизительно от 50 до 100% проектной величины. В некоторых частных вариантах выполнения рабочее давление может превышать приблизительно 150 бар, и при таком давлении кислород может быть введен как однофазная смесь с CO_2 и топливом, таким как природный газ, или с жидкостью, такой как продукт перегонки нефти, для достижения требуемой температуры адиабатического пламени. Если при таком высоком давлении CO_2 находится при температуре ниже приблизительно 100°C, то его плотность достаточно высока для удержания достаточно крупной фракции порошкового угля с образованием суспензии, которая может быть прокачана насосом, рассчитанным на высокое давление, соответствующее требуемому давлению горения и давлению в трубопроводе, до точки смешивания, где добавляется сверхкритическая смесь CO_2 и кислорода для получения требуемой температуры адиабатического пламени в камере сгорания. Предварительно смешанные разбавляющий CO_2 и кислород желательны должны находиться при общей температуре, которая ниже температуры самовоспламенения такой системы. Температура потока CO_2 может быть подобрана соответствующей такому критерию. Входное сопло может содержать группу отверстий в инжекторной пластине, каждое из которых выбрасывает тонкую струю топлива, что обеспечивает быструю теплопередачу и сгорание, создавая тем самым зону стабильного горения. Размеры отверстий могут лежать в диапазоне приблизительно от 0,5 до 3 мм в диаметре.

Стенки камеры сгорания могут быть облицованы слоем пористого материала, сквозь который направляется и проходит вторая часть разбавляющего потока на основе CO_2 и(или) H_2O . Поток текучей

среды сквозь этот пористый транспирационный слой и, как вариант, сквозь дополнительные средства выполнен с возможностью обеспечения требуемой общей температуры выходного потока текучей среды, лежащей приблизительно между 400 и 3500°C. Этот поток может также служить для охлаждения транспирационного элемента до температуры ниже максимально допустимой рабочей температуры материала, из которого выполнен транспирационный элемент. Транспирационная субстанция, такая как разбавляющий поток на основе CO_2 и(или) H_2O , может также служить для предотвращения попадания на стенки жидкого или твердого шлака или других загрязняющих примесей, имеющихся в топливе, которые могут привести к коррозии, загрязнению или другим повреждениям стенок. В таких случаях может быть желательным использовать для транспирационного элемента материал с надлежащей (низкой) теплопроводностью, чтобы присущее лучистое тепло могло отводиться в радиальном направлении наружу через пористый транспирационный элемент и затем передаваться за счет конвективной теплопередачи от поверхностей пористого слоя текучей среде, проходящей по радиусу вовнутрь к транспирационному слою. Такая конфигурация может обеспечивать возможность нагрева следующей части разбавляющего потока, направляемого сквозь транспирационный элемент, до температуры, лежащей в диапазоне приблизительно от 500 до 1000°C, и одновременно поддерживать температуру пористого транспирационного элемента в диапазоне, допустимом для использованного в нем материала. Пригодные материалы для пористого транспирационного элемента могут включать, например, пористые керамики, сетки из тугоплавких металлических нитей, цилиндрические секции с просверленными отверстиями и(или) слои спеченного металла или спеченные металлические порошки. Второе предназначение транспирационного элемента может состоять в том, чтобы обеспечивать в основном постоянный направленный по радиусу вовнутрь поток разбавляющей транспирационной текучей среды, в том числе в продольном направлении камеры сгорания, для достижения хорошего перемешивания между второй частью разбавляющего потока и продуктами горения при продвижении равномерного осевого потока вдоль длины камеры сгорания. Третье предназначение транспирационного элемента состоит в достижении скорости разбавляющей текучей среды радиально вовнутрь такой, чтобы создавать буфер или другим образом препятствовать ударам твердых и(или) жидких шлаковых включений или других загрязняющих примесей, содержащихся в продуктах горения, о поверхность транспирационного слоя, приводящим к его забиванию или другим повреждениям. Такой фактор может иметь особое значение, например, при сжигании такого топлива, как уголь, после которого остается инертный негорючий остаток. Внутренняя стенка сосуда высокого давления, охватывающая транспирационный элемент, также может быть изолирована для отделения от окружающей среды высокотемпературного второго разбавляющего потока внутри камеры сгорания.

Уголь или другие топлива с негорючим остатком могут быть введены в камеру сгорания в виде суспензии в воде или предпочтительно суспензии в жидком CO_2 . Жидкая часть суспензии выходит из энергетической установки при температуре, близкой к температуре окружающей среды, и под давлением, самым низким в энергетическом цикле. Разница в значении энтальпии на моль между входным состоянием суспензии и выходным состоянием газа в таких случаях может быть приблизительно 10 ккал/г-моль для H_2O и приблизительно 2,78 ккал/г-моль для CO_2 , что определяет существенно большую эффективность использования текучей среды в виде суспензии на основе CO_2 . Требуется незначительная дополнительная энергия в проходящем под высоким давлением энергетическом цикле с использованием CO_2 в качестве рабочего тела, чтобы получить жидкий CO_2 с температурой, лежащей в диапазоне приблизительно от -30 до 10°C.

Температура горения топлив, в основном твердых, таких как уголь, и оставляющих негорючий остаток, предпочтительно лежит в диапазоне приблизительно от 1800 до 3000°C. В таких условиях шлак или другие загрязняющие примеси находятся в виде жидких шлаковых включений, образующихся из частиц топлива, заключенных в подаваемой топливной суспензии. Эти жидкие шлаковые включения должны быть эффективно удалены для предотвращения загрязнения энергетической турбины или другого оборудования, расположенного ниже по потоку. Удаление может быть выполнено, например, с использованием циклонных сепараторов, лопаточных сепараторов или многослойных огнеупорных фильтров с гранулированным наполнителем, расположенных по окружности, а также с помощью их комбинации. В частных вариантах выполнения включения могут быть удалены из высокотемпературного потока рабочего тела последовательно установленными циклонными сепараторами. Для достижения эффективного удаления последовательно должны быть установлены по меньшей мере 2 и предпочтительно 3 циклонных сепаратора. Эффективность может быть увеличена рядом факторов. Например, температура удаления может быть выбрана такой, чтобы обеспечивать вязкость шлака достаточно низкой для отвода легко текущего жидкого шлака из сепараторов. Иногда может возникать необходимость в удалении шлака при промежуточной температуре, лежащей между температурой горения и конечной температурой выходного потока текучей среды. В таких случаях конечная температура выходного потока текучей среды может быть обеспечена смешиванием части рециклированного рабочего тела (транспирационной субстанции) непосредственно с потоком текучей среды, выходящим из устройства удаления шлака. Желательно, чтобы диаметр циклонных сепараторов был относительно небольшим (то есть в диапазоне диаметров приблизительно от 20 до 50 см), в то время как диаметр шлаковых включений должен быть дос-

таточно большим для обеспечения высокой эффективности разделения. Такие условия могут быть созданы, например, измельчением угольного топлива с получением основной фракции с размером частиц более 50 мкм в диаметре. Предпочтительно уголь разделяется на фракции, средний диаметр частиц в которых составляет приблизительно от 50 до 100 мкм, что может привести к получению в выходном потоке рабочего тела минимальных шлаковых включений, размер которых меньше 10 мкм в диаметре. В некоторых случаях за циклонными сепараторами могут следовать кольцевые фильтры, расположенные непосредственно выше турбины по потоку.

В частных вариантах выполнения время пребывания продуктов горения в установке может составлять от 0,2 до 2 с для природного газа и от 0,4 до 4 с для смолистого угля.

Поток текучей среды, выходящий из камеры сгорания, может иметь различные свойства. Например, поток текучей среды может содержать окислительную текучую среду. По существу, поток текучей среды может содержать одну или несколько компонент, которые могут быстро окисляться (например, сгорать) при добавлении окислителя (например O_2). В некоторых частных вариантах выполнения поток текучей среды может быть восстановительной текучей средой, содержащей одну или несколько компонент из группы, включающей H_2 , CO , CH_4 , H_2S и их сочетания. Действие системы в восстановительном режиме в общем аналогично работе в окислительном режиме, за исключением того, что доля вторичного разбавителя постепенно снижается, в то время как доля топлива, преобразуемого в H_2+CO , возрастает. Может также возникать необходимость по мере возрастания преобразования в H_2+CO в постепенном увеличении времени пребывания продуктов горения до диапазона приблизительно от 2,5 до 4,5 с для природного газа, так как при этом преобразование в H_2+CO достигает максимума, и приблизительно от 6 до 10 с для смолистого угля.

Вышеприведенные и другие частные варианты выполнения изобретения призваны удовлетворить перечисленные запросы и обеспечить преимущества, подробно изложенные в данном описании.

Краткое описание чертежей

Далее изобретение рассмотрено более подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых схематически показано:

на фиг. 1 - предлагаемая в некоторых частных вариантах выполнения изобретения установка камеры сгорания с транспирационным охлаждением;

на фиг. 1А - профиль температуры горения по длине камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 2 - приводимое в качестве примера поперечное сечение стенки транспирационного элемента в установке камеры сгорания согласно некоторым частным вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 2А - приводимое в качестве примера поперечное сечение стенки транспирационного элемента в установке камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения, проведенное перпендикулярно продольной оси камеры сгорания и иллюстрирующее пористую/перфорированную конфигурацию, обеспечивающую спиральный поток транспирационной текучей среды;

на фиг. 2Б - приводимое в качестве примера поперечное сечение стенки транспирационного элемента в установке камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения, иллюстрирующее наклонную пористую/перфорированную конфигурацию, способствующую формированию спирального (винтового) потока транспирационной текучей среды;

на фиг. 2В - приводимое в качестве примера поперечное сечение стенки транспирационного элемента в установке камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения, иллюстрирующее проплавленные продольные дорожки в транспирационном элементе, способствующие формированию спирального потока транспирационной текучей среды;

на фиг. 2Г - изображение защитной структуры, выполненной с возможностью размещения/ведения в транспирационный элемент с фиг. 2В согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения, способствующий формированию спирального потока транспирационной текучей среды;

на фиг. 2Д - изображение спирального потока транспирационной текучей среды в камере сгорания установки камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 2Е - иллюстрация эффекта Коанда, который может быть использован для облегчения формирования спирального потока транспирационной текучей среды в камере сгорания установки камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 2Ж - изображение спирально ориентированных противонаправленных потоков транспирационной текучей среды в камере сгорания установки камеры сгорания согласно некоторым вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 3А и 3Б - иллюстрация процесса горячей посадки узла транспирационного элемента установки камеры сгорания согласно некоторым частным вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 4 - устройство удаления загрязняющих примесей, содержащихся в продуктах горения, согласно некоторым частным вариантам выполнения настоящего изобретения;

на фиг. 5 - кривая, отображающая траектории шлаковых включений в функции от среднего размера

частиц и расхода транспирационной текучей среды, согласно некоторым частным вариантам выполнения настоящего изобретения; и

на фиг. 6 - перестраиваемая система выработки энергии согласно некоторым частным вариантам выполнения настоящего изобретения.

Осуществление изобретения

Далее настоящее изобретение раскрыто более подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых отражены некоторые, но не все, частные варианты выполнения изобретения. Действительно, изобретение может быть реализовано во многих различных вариантах и не должно рассматриваться как ограниченное приведенными ниже частными вариантами выполнения, тем более что эти частные варианты представлены так, чтобы данное описание удовлетворяло всем действующим нормативным требованиям. Везде в описании аналогичные ссылочные номера относятся к аналогичным элементам.

Один из частных вариантов установки камеры сгорания, предлагаемой в настоящем изобретении и приспособленной для работы на твердом топливе, схематически изображен на фиг. 1, на которой установка камеры сгорания в общем обозначена ссылочным номером 220. В данном примере установка 220 камеры сгорания может быть выполнена с возможностью сжигания сыпучего твердого материала, такого как уголь, с образованием продуктов горения, хотя другие подходящие горючие органические материалы, рассмотренные в данном описании, также могут быть использованы в качестве топлива. Камера 222 сгорания может быть сформирована транспирационным элементом 230, выполненным с возможностью направления через него транспирационной субстанции, такой как транспирационная текучая среда, в камеру 222 сгорания (то есть способствовать транспирационному охлаждению и(или) буферному взаимодействию между продуктами горения и транспирационным элементом 230). Для специалиста в данной области техники понятно, что транспирационный элемент 230 может быть в основном цилиндрическим, так чтобы формировать в основном цилиндрическую камеру 222 сгорания, имеющую входную часть 222А и противоположную выходную часть 222В. Транспирационный элемент 230 может быть, по меньшей мере, частично окружен элементом 338 защитной оболочки высокого давления. Входная часть 222А камеры 222 сгорания может быть приспособлена для приема топливной смеси из смесительного устройства, обозначенного в общем ссылочным номером 250. Согласно частным вариантам выполнения изобретения топливная смесь сжигается внутри камеры 222 сгорания при определенной температуре горения с образованием продуктов горения, причем камера 222 сгорания выполнена с возможностью направления этих продуктов к выходной части 222В. С элементом 338 защитной оболочки высокого давления может быть соединено средство 350 теплоотвода (см., например, фиг. 2), приспособленное для регулирования температуры этого элемента. В частных вариантах выполнения средство 350 теплоотвода может содержать теплообменный кожух, по меньшей мере, частично образованный стенкой 336, противоположащей элементу 338 защитной оболочки высокого давления, при этом в образованных между ними водяных рубашках 337 может циркулировать охлаждающая жидкость. В частных вариантах выполнения циркулирующей жидкостью может быть вода.

Смесительное устройство 250 выполнено с возможностью смешивания углеродного топлива 254 с обогащенным кислородом 242 и рабочим телом 236 для образования топливной смеси 200. Углеродное топливо 254 может быть обеспечено в виде твердого углеродного топлива, жидкого углеродного топлива и(или) газообразного углеродного топлива. Обогащенный кислород 242 может быть кислородом, имеющим молярную долю больше приблизительно 85%. Обогащенный кислород 242 может подаваться, например, из любой известной в предшествующем уровне техники системы (процесса) разделения воздуха, например из процесса криогенного разделения воздуха или из высокотемпературного процесса выделения кислорода на ионных мембранах (из воздуха). Рабочим телом 236 может быть двуокись углерода и(или) вода. В случаях, когда углеродное топливо 254 представляет собой сыпучее твердое вещество, например порошковый уголь 254А, смесительное устройство 250 может быть также выполнено с возможностью смешивания этого топлива 254А с псевдоожижающей субстанцией 255. В соответствии с одним из частных вариантов выполнения изобретения твердое сыпучее углеродное топливо 254А может иметь средний размер частиц приблизительно от 50 до 200 мкм. В соответствии с еще одним частным вариантом выполнения изобретения псевдоожижающая субстанция 255 может содержать воду и(или) жидкий CO_2 с плотностью приблизительно от 450 до 1100 кг/м³. В частности, псевдоожижающая субстанция 255 может быть смешана с сыпучим твердым углеродным топливом 254А, образуя суспензию 250А, содержащую, например, приблизительно от 25 до 95 мас.% сыпучего твердого углеродного топлива 254А или в других вариантах приблизительно от 25 до 60 мас.% твердого сыпучего углеродного топлива. Хотя на фиг. 2 изображено, что кислород 242 смешивается с топливом 254 и рабочим телом 236 до введения в камеру 222 сгорания, специалисту в данной области понятно, что в некоторых случаях кислород 242 может вводиться в камеру 222 сгорания отдельно, если возникает такая необходимость или желание.

В некоторых вариантах выполнения смесительное устройство 250 может содержать, например, группу разнесенных друг от друга распылительных сопел (не показаны), размещенных у торцевой стенки 223 транспирационного элемента 230, связанного с входной частью 222А цилиндрической камеры 222 сгорания. Впрыскивание таким способом топлива/топливной смеси в камеру 222 сгорания может обеспе-

чить, например, большую площадь поверхности входного потока распыленной топливной смеси, что может, в свою очередь, способствовать быстрой передаче тепла этому входному потоку распыленной топливной смеси за счет радиации. Следовательно, температуру распыленной топливной смеси можно быстро поднять до температуры воспламенения топлива (то есть угольных частиц), что может привести в результате к компактному горению. Скорость впрыскивания топливной смеси может лежать, например, в диапазоне приблизительно от 10 до 40 м/с, хотя эти величины зависят от многих факторов, таких как конфигурация конкретных распылительных сопел. Такая конфигурация распыления может принимать различные формы. Например, конфигурация распыления может включать группу отверстий, например, с диаметром, лежащим в диапазоне приблизительно от 0,5 до 3 мм, причем распыляемое топливо должно впрыскиваться через них со скоростью приблизительно от 10 до 40 м/с.

Такое "прямое впрыскивание" топлива/топливной смеси через в общем неизогнутые прямолинейные и(или) свободные каналы непосредственно в камеру 222 сгорания может, например, снизить износ, коррозию и(или) накопление частиц, особенно в случаях, когда топливо содержит твердые компоненты (то есть угольную суспензию в камере сгорания с частичным окислением). Хотя в некоторых случаях для топлива/топливной смеси предпочтительным может быть отклонение от прямого равномерного потока непосредственно внутри камеры 222 сгорания. К примеру, в некоторых частных вариантах может иметь преимущество завихривание (закручивание) топлива/топливной смеси или другое отклонение от прямолинейного однородного потока, например, таким образом, чтобы усилить перемешивание топлива/топливной смеси, обеспечивая таким образом большую эффективность процесса горения.

В других частных вариантах выполнения смесительное устройство 250 может быть удалено от камеры 222 сгорания или другим образом отделено от нее. Например, в некоторых вариантах выполнения смесительное устройство 250 может быть выполнено с возможностью направления топливной смеси 200 в узел 300 форсунки, выступающий в камеру 222 сгорания через элемент 338 защитной оболочки высокого давления и транспирационный элемент 230. Узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью введения топлива/топливной смеси в камеру 222 сгорания прямым, в основном равномерным потоком, аналогично, как для конфигурации с "прямым впрыскиванием". То есть узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью приема топлива/топливной смеси от смесительного устройства 250 и направления в основном однородного прямолинейного потока топлива/топливной смеси во входную часть 222А камеры 222 сгорания. Однако в некоторых вариантах выполнения (например, при использовании топлива, не содержащего твердые частицы) узел 300 форсунки может содержать соответствующие средства для формирования или другим образом побуждения того, чтобы топливо/топливная смесь завихрилась или была завихрена при введении в камеру 222 сгорания, что будет понятно специалисту в данной области техники. То есть узел 300 форсунки может быть приспособлен для завихривания или другим образом нарушения прямолинейного однородного потока топлива/топливной смеси при его введении в камеру 222 сгорания. В некоторых частных вариантах выполнения изобретения узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью приема топлива/топливной смеси из смесительного устройства 250 и направления топлива/топливной смеси во входную часть 222А камеры 222 сгорания, вызывая при этом завихривание топлива/топливной смеси в камере 222 сгорания. В частности, узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью наведения завихривания топлива/топливной смеси на выходе этой смеси из него в камеру 222 сгорания.

Как более подробно показано на фиг. 2, камера 222 сгорания сформирована транспирационным элементом 230, который может быть, по меньшей мере, частично охвачен элементом 338 защитной оболочки высокого давления. В некоторых вариантах элемент 338 защитной оболочки высокого давления может быть, по меньшей мере, частично окружен теплопередающим кожухом 336, взаимодействующим с элементом 338 защитной оболочки высокого давления, образуя между ними один или несколько каналов 337, через которые может циркулировать поток воды под низким давлением. Следовательно, за счет испарения прогоняемая вода может быть использована для регулирования и(или) поддержания выбранной температуры элемента 338 защитной оболочки высокого давления, например, в диапазоне приблизительно от 100 до 250°C. В некоторых частных вариантах выполнения между транспирационным элементом 230 и элементом 338 защитной оболочки высокого давления может быть расположен изоляционный слой 339.

В некоторых вариантах транспирационный элемент 230 может содержать, например, наружный транспирационный элемент 331 и внутренний транспирационный элемент 332, при этом внутренний транспирационный элемент 332 располагается против наружного транспирационного элемента 331 относительно элемента 338 защитной оболочки высокого давления и ограничивает камеру 222 сгорания. Наружный транспирационный элемент 331 может быть составлен из любого подходящего термостойкого материала, такого как, например, сталь и легированные стали, включая нержавеющую сталь и никелевые сплавы. В некоторых вариантах наружный транспирационный элемент 331 может быть выполнен со сформированными в нем первыми каналами 333А подачи транспирационной текучей среды, проходящими через него от его поверхности, прилегающей к изоляционному слою 339, к его поверхности, прилегающей к внутреннему транспирационному элементу 332. Первые каналы 333А подачи транспирационной текучей среды могут в некоторых вариантах соответствовать вторым каналам 333В подачи транс-

пирационной текучей среды, сформированным элементом 338 защитной оболочки высокого давления, теплопередающим кожухом 336 и(или) изоляционным слоем 339. Таким образом, первые и вторые каналы 333А, 333В подачи транспирационной текучей среды могут быть выполнены так, чтобы взаимодействовать при направлении транспирационной субстанции, такой как транспирационная текучая среда 210, через них к внутреннему транспирационному элементу 332. В некоторых вариантах, как показано, например, на фиг. 1, транспирационная текучая среда 210 может включать рабочее тело 236 и может поступать от некоего присоединенного источника. При необходимости первые и вторые каналы 333А, 333В подачи транспирационной текучей среды могут быть изолированы с целью доставки транспирационной текучей среды 210 (то есть CO_2) в достаточном количестве и при достаточном давлении, так чтобы транспирационная текучая среда 210 направлялась через внутренний транспирационный элемент 332 в камеру 222 сгорания. Такие меры, включающие рассмотренное введение транспирационного элемента 230 и соответствующей транспирационной текучей среды 210, могут дать, как описано здесь, возможность установке 220 камеры сгорания работать при относительно высоких давлениях и относительно высоких температурах, отличных от раскрытых ранее.

При этом внутренний транспирационный элемент 332 может быть выполнен, например, из пористого керамического материала, перфорированного материала, слоистого материала, проницаемого слоя, состоящего из волокон, произвольно ориентированных в двух измерениях и упорядоченных в третьем измерении, или из любого пригодного материала или комбинации материалов, имеющих удовлетворяющие раскрытым в данном описании требованиям, а именно имеющих многочисленные каналы или поры для прохождения потока или другие пригодные каналы 335, служащие для приема и направления транспирационной текучей среды через внутренний транспирационный элемент 332. Не служащие ограничением примеры пористых керамических и других материалов, пригодных для использования в таких системах транспирационного охлаждения, включают оксид алюминия, оксид циркония, модифицированный упрочненный цирконий, медь, молибден, вольфрам, вольфрамомедный псевдосплав, молибден с вольфрамовым покрытием, медь с вольфрамовым покрытием, различные высокотемпературные никелевые сплавы, материалы, покрытые или армированные рением. Соответствующие материалы можно получить, например, от CoorsTek, Inc., (Golden, CO) (цирконий), UltraMet Advanced Materials Solutions (Pacoima, CA) (жаропрочные металлические покрытия), Osram Sylvania (Danvers, MA) (вольфрам/медь) и MarkTech International, Inc. (Port Townsend, WA) (вольфрам). Примеры перфорированных материалов, пригодных для использования в таких системах транспирационного охлаждения, включают все вышеприведенные материалы и их поставщиков (у которых перфорированные конечные структуры могут быть получены, например, путем формирования отверстий в изначально непористых структурах известными в производстве способами). Примеры пригодных слоистых материалов включают все вышеприведенные материалы и их поставщиков (у которых слоистые конечные структуры могут быть получены, например, ламинированием непористых или частично пористых структур таким образом, чтобы достичь необходимой конечной проницаемости известными в производстве способами).

В других вариантах выполнения внутренний транспирационный элемент 332 может простирается от входной части 222А до выходной части 222В транспирационного элемента 230. В некоторых вариантах перфорированная/пористая структура внутреннего транспирационного элемента 332 может, по существу, занимать всю протяженность (по оси) от входной части 222А до выходной части 222В, так что транспирационная текучая среда 210 направляется в основном по всей длине камеры 222 сгорания. То есть в основном весь внутренний транспирационный элемент 332 может иметь перфорированную/пористую структуру, так что, по существу, камера 222 сгорания имеет транспирационное охлаждение на всей своей протяженности. В частности, в некоторых вариантах выполнения совокупная перфорированная/пористая площадь может быть в основном равна площади поверхности внутреннего транспирационного элемента 332. То есть отношение площади пор (пористости) к общей площади стенок (% пористости) может составлять, например, порядка 50%. В других частных вариантах выполнения перфорации/пористость могут быть разнесены с соответствующей плотностью, так что достигается в основном равномерное распределение транспирационной субстанции, поступающей от внутреннего транспирационного элемента 332 в камеру 222 сгорания (то есть не имеется "мертвых зон", в которых ощущается недостаток потока или присутствия транспирационной субстанции 210). В одном из вариантов внутренний транспирационный элемент 332 может содержать группу перфораций/пор, распределенных с плотностью порядка 250×250 1/дюйм² (приблизительно 100×100 1/см²), так что обеспечивается приблизительно 62500 пор/дюйм² (приблизительно 10000 пор/см²), и такие группы могут быть разнесены друг от друга приблизительно на 0,004 дюйма (около 0,1 мм). Однако специалисту в данной области понятно, что конфигурация групп пор может изменяться по необходимости, так чтобы подходить для другой конфигурации системы или достигать необходимого результата, например требуемого падения давления при некоторой скорости потока через транспирационный элемент 230. В другом варианте плотность группы пор может изменяться приблизительно от 10×101 /дюйм² (4×4 1/см²) до приблизительно 10000×10000 1/дюйм² (4000×4000 1/см²) при процентной пористости, изменяющейся приблизительно от 10 до 80%.

На фиг. 3А и 3В показано, что согласно одному из вариантов выполнения установки 220 камеры

сгорания конструкция, ограничивающая камеру 222 сгорания, может быть выполнена путем горячей посадки между транспирационным элементом 230 и охватывающей конструкцией, такой как элемент 338 защитной оболочки высокого давления или изоляционный слой 339, расположенный между транспирационным элементом 230 и этим элементом 338. Например, это относится к случаю, когда относительно "холодный" транспирационный элемент 230 может быть в радиальном и(или) осевом направлении выполнен меньшего размера по отношению к охватываемому его элементу 338 защитной оболочки высокого давления. По существу, при введении в элемент 338 защитной оболочки высокого давления между ними может быть оставлен радиальный и(или) осевой зазор (см., например, фиг. 3А). Конечно такая разница размеров может облегчить введение транспирационного элемента 230 в элемент 338 защитной оболочки высокого давления. Однако транспирационный элемент 230 может быть выполнен так, что при нагревании, например, до рабочей температуры он может расшириться в радиальном и(или) осевом направлении, уменьшив или выбрав указанные зазоры (см., например, фиг. 3Б). В этом случае между транспирационным элементом 230 и элементом 338 защитной оболочки высокого давления может сформироваться осевая или радиальная прессовая посадка. По существу, для формирования внутреннего транспирационного элемента 332 могут использоваться подходящие высокотермостойкие хрупкие материалы, такие как пористая керамика.

При такой конфигурации внутреннего транспирационного элемента 332 транспирационная субстанция 210 может содержать, например, диоксид углерода (поступающий из того же источника, что и рабочее тело 236), направляемый через внутренний транспирационный элемент 332, так чтобы транспирационная субстанция 210 образовывала в камере 222 сгорания буферный слой 231 (то есть "паровую стенку"), непосредственно прилегающий в камере 222 сгорания к внутреннему транспирационному элементу 332, причем буферный слой 231 может быть сформирован так, чтобы предотвращать взаимодействие между внутренним транспирационным элементом 332 и сжиженными негорючими компонентами, а также теплом, выделяемым продуктами горения. То есть в некоторых вариантах выполнения транспирационная текучая среда 210 может быть доставлена через внутренний транспирационный элемент 332, по меньшей мере, под давлением, соответствующим давлению в камере 222 сгорания, и при этом расход транспирационной текучей среды 210 (то есть потока CO_2) в камеру 222 сгорания может быть достаточен для смешивания транспирационной текучей среды 210 с продуктами горения и охлаждения их с образованием выходной смеси текучей среды, имеющей достаточную температуру, соответствующую исходным требованиям последующего происходящего ниже по потоку процесса (то есть для турбины может требоваться определенная входная температура, составляющая, например, приблизительно 1225°C), но при этом выходная смесь текучих сред остается достаточно высокотемпературной, чтобы поддерживать шлаковые включения или загрязняющие примеси, содержащиеся в топливе, в газообразном или жидком состоянии. Жидкое состояние негорючих компонентов топлива может облегчить, например, отделение таких загрязняющих примесей от продуктов горения в жидкой форме, предпочтительно в высокотекучей обладающей низкой вязкостью форме, что делает менее вероятным забивание или другое повреждение всей отводной системы, примененной для такого отделения. Практически такие требования могут зависеть от различных факторов, таких как вид используемого твердого углеродного топлива (то есть угля) и конкретные параметры шлака, образующегося в процессе горения. То есть температура горения в камере 222 сгорания предпочтительно должна быть такой, чтобы любые негорючие компоненты углеродного топлива превращались в жидкость, содержащуюся в продуктах горения.

В частных вариантах выполнения изобретения пористый внутренний транспирационный элемент 332 выполнен так, чтобы направлять транспирационную текучую среду в камеру 222 сгорания по радиусу вовнутрь, создавая защитную стенку из текучей среды или буферный слой 231 у поверхности внутреннего транспирационного элемента 332, ограничивающего камеру 222 сгорания (см., например, фиг. 2). В одном из частных вариантов выполнения пористый внутренний транспирационный элемент 332 выполнен таким образом, чтобы направлять транспирационную текучую среду в камеру 222 сгорания так, чтобы транспирационная субстанция 210 поступала в камеру 222 сгорания в основном под прямым углом (90°) к внутренней поверхности внутреннего транспирационного элемента 332. Среди других преимуществ введение транспирационной субстанции 210 в основном под прямым углом к внутреннему транспирационному элементу 332 может способствовать или другим образом усиливать эффект направления шлаковых жидких или твердых включений или других загрязняющих примесей, а также горячих завихренных продуктов горения далеко от внутренней поверхности внутреннего транспирационного элемента 332. Уменьшение, сведение к минимуму или другим образом устранение контакта между жидкими или твердыми шлаковыми включениями и внутренним транспирационным элементом 332 может, например, предотвратить слипание таких загрязняющих примесей в более крупные включения или массы, что, как известно, может происходить при контакте между включениями/частицами и твердыми стенками и приводить к повреждению внутреннего транспирационного элемента 332. Введение транспирационной субстанции 210 в основном под прямым углом к внутреннему транспирационному элементу 332 может, таким образом, способствовать или другим образом усиливать эффект предотвращения формирования завихренных продуктов горения вблизи внутреннего транспирационного элемента 332, обла-

дающих достаточной скоростью или инерцией для столкновения с внутренним транспирационным элементом 332, и возможного его повреждения.

Как было указано ранее, в других случаях преимущество состоит в том, чтобы вызывать завихрение или другое нарушение прямолинейного однородного потока при направлении топлива/топливной смеси в камеру 222 сгорания. При внесении таких нарушений потока после доставки топлива/топливной смеси в камеру 222 сгорания недостатки, связанные с соплами или другими узлами форсунки или устройств подачи, используемых для внесения такого нарушения потока перед доставкой топлива/топливной смеси в камеру сгорания, могут быть устранены или сведены к минимуму. Однако специалисту в данной области понятно, что в некоторых случаях такое последующее введение топлива/топливной смеси может иногда производиться обязательно или желательно в сочетании с устройствами доставки топлива/топливной смеси, обеспечивающими нарушение потока до его введения.

По существу, в некоторых частных вариантах выполнения настоящего изобретения по меньшей мере внутренний транспирационный элемент 332 может быть выполнен таким образом, чтобы через него транспирационная текучая среда 210 направлялась в основном неоднородно к камере 222 сгорания и направлялась так, чтобы протекать спирально (см., например, фиг. 2Д) вдоль периметра 221 (см., например, фиг. 2А) камеры сгорания и в продольном направлении между входной частью 222А и выходной частью 222В, формируя защитную стенку из текучей среды или барьерный слой 231 у поверхности внутреннего транспирационного элемента 332, предотвращающий взаимодействие между транспирационным элементом 332 и продуктами горения и(или) топливной смесью. Более подробно, в некоторых частных вариантах выполнения, по меньшей мере, внутренний транспирационный элемент 332 выполнен с возможностью направления через него транспирационной текучей среды 210 в камеру 222 сгорания в основном однородно по периметру 221 камеры сгорания и в продольном направлении между входной частью 222А и выходной частью 222В, причем транспирационная текучая среда 210 направляется так, чтобы протекать в основном по касательной к периметру 221 внутреннего транспирационного элемента 332 и по спирали (то есть по винтовой линии или спиральному контуру), как показано, например, на фиг. 2А и 2Д. Например, перфорации/поры 335, сформированные внутренним транспирационным элементом 332, могут быть изогнутыми или наклонными при прохождении между его внутренней поверхностью и наружной поверхностью (см., например, фиг. 2А), так чтобы побуждать транспирационную текучую среду 210 проходить через него в основном по касательной или другим образом вдоль периметра 221 камеры 222 сгорания.

В другом примере поры вдоль продольных дорожек внутреннего транспирационного элемента 332 могут быть проплавлены/закрыты так, чтобы способствовать прохождению через него транспирационной текучей среды 210 в основном по касательной или иным образом вдоль периметра 221 камеры 222 сгорания (см., например, фиг. 2В). В других примерах в дополнение или вместо проплавления продольных дорожек внутреннего транспирационного элемента 332 защитная структура 224 (то есть металлическая или керамическая конструкция) может быть размещена/вставлена во внутренний транспирационный элемент 332, как показано, например, на фиг. 2Г, так чтобы перекрыть отдельные части поверхности пористой стенки для предотвращения радиального потока через них, оставляя при этом открытыми другие части поверхности и способствуя прохождению транспирационной текучей среды 210 в основном по касательной или иным образом вдоль периметра 221 камеры 222 сгорания (см., например, фиг. 2В и 2Г). Хотя конструкция 224 или процесс проплавления могут быть выполнены так, чтобы направлять транспирационную текучую среду 210 в основном по касательной или иным образом вдоль периметра 221 камеры 222 сгорания, при взаимодействии этого потока с продольным потоком продуктов горения результирующий поток, представляющий собой их векторную сумму, станет в основном спиральным. Однако специалисту в данной области понятно, что может существовать много других конфигураций внутреннего транспирационного элемента 332, обеспечивающих прохождение транспирационной текучей среды 210 в основном по касательной или иным образом вдоль периметра 221 камеры 222 сгорания.

В еще одном примере перфорации/поры могут быть выполнены так, чтобы вызывать эффект Коанда в транспирационной текучей среде 210 (см., например, фиг. 2Е), направленной так, чтобы понуждать транспирационную текучую среду 210 распространяться в основном по касательной или иным образом вдоль периметра 221 камеры 222 сгорания. В таких случаях поток топлива/топливной смеси и(или) продуктов горения от входной части 222А к выходной части 222В может аналогично вызывать направление потока транспирационной текучей среды 210 в продольном направлении к выходной части 222В, создавая тем самым винтообразный или спиральный поток этой среды вдоль камеры 222 сгорания. В таких примерах поры/перфорации 335, сформированные внутренним транспирационным элементом 332, могут проходить через него в основном перпендикулярно продольной оси камеры 222 сгорания, как показано, например, на фиг. 2. Однако в других примерах поры/перфорации 335 могут быть наклонены в сторону выходной части 222В (см., например, фиг. 2Б), что приведет к продвижению винтообразного/спирального потока транспирационной текучей среды 210 и(или) его смешиванию с топливной смесью/продуктами горения, или поры/перфорации 335 могут быть наклонены в сторону входной части 222А (не показано), что по другому повлияет на взаимодействие между транспирационной текучей средой 210 и топливной смесью и(или) продуктами горения (то есть способствует смешиванию или регули-

рованию скорости горения). Соответственно в некоторых случаях такое действие на поток топливной смеси/продуктов горения по длине камеры 222 сгорания может обеспечить желательные результаты и регулирование параметров и(или) кинетики процесса горения без физических устройств, иначе воздействующих на в основном прямолинейный и однородный поток топлива/топливной смеси в камере 222 сгорания. Такая компоновка, а именно отсутствие физических устройств для воздействия на поток топливной смеси/продуктов горения, может иным способом обеспечивать преимущества, например, в устранении локализаций накопления частиц, содержащихся в топливной смеси и(или) продуктах горения, что должно быть понятно специалисту в данной области.

При таком воздействии на поток топливной смеси/продуктов горения, сообщающем или другим образом вызывающем ее завихривание в камере 222 сгорания, узел 300 форсунки и(или) транспирационный элемент 230 могут иметь другую конфигурацию. Например, в одном из частных вариантов выполнения изобретения узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью приема топлива/топливной смеси из смесительного устройства 250 и подачи топлива/топливной смеси во входную часть 222А камеры 222 сгорания при направлении потока, в основном противоположном спиральному потоку транспирационной текучей среды 210. В другом частном варианте выполнения изобретения узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью приема топлива/топливной смеси из смесительного устройства 250 и подачи топлива/топливной смеси во входную часть 222А камеры 222 сгорания в направлении, совпадающем (то есть в том же направлении) со спиральным потоком транспирационной текучей среды 210. Еще в одном частном варианте выполнения узел 300 форсунки может быть выполнен с возможностью приема топлива/топливной смеси из смесительного устройства 250 и направления в основном однородного прямолинейного потока топлива/топливной смеси во входную часть 222А камеры 222 сгорания, при этом спиральный поток транспирационной текучей среды 210 сконфигурирован таким образом, чтобы вызывать завихривание топлива/топливной смеси и(или) продуктов горения в камере 222 сгорания.

Каждая такая компоновка может иметь свою цель и(или) эффект. Например, направление потока топлива/топливной смеси в направлении, противоположном спиральному потоку транспирационной текучей среды 210, может замедлить или прекратить наведенное завихривание в топливе/топливной смеси из-за трения между противонаправленными потоками. По существу, горение топлива/топливной смеси также может быть замедлено. Напротив, если топливо/топливная смесь направляется в том же направлении, что и спиральный поток транспирационной текучей среды 210, то завихривание топлива/топливной смеси и(или) продуктов горения может быть усилено, возможно снижая при этом время, требуемое для завершения в основном горения топлива/топливной смеси, или другим образом увеличивая часть топлива/топливной смеси, сгорающую в процессе (например, увеличивая коэффициент выгорания топлива). Направление топлива/топливной смеси в основном однородным прямолинейным потоком может иметь преимущество, например, когда топливо/топливная смесь содержит твердые включения или другие частицы, как было рассмотрено ранее, так как поток не искажается механическими устройствами, и при этом необходимое завихривание его может быть вызвано спиральным потоком транспирационной текучей среды 210 с целью усиления процесса горения.

Соответственно в некоторых вариантах выполнения такие воздействия могут объединяться с целью увеличения эффективности установки 220 камеры сгорания. Например, как показано на фиг. 2Ж, камера 222 сгорания может включать секцию 244А горения, расположенную со стороны (ближе к) входной части 222А, и секцию 244В дожигания, расположенную ближе к выходной части 222В, причем транспирационный элемент 230 может быть сконфигурирован таким образом, чтобы спиральный поток транспирационной текучей среды 210 в секции 244В дожигания был противоположен спиральному потоку транспирационной текучей среды 210 в секции 244А горения, то есть происходило реверсирование наведенного завихривания продуктов горения в секции 244В дожигания по сравнению с наведенным завихриванием топлива/топливной смеси в секции 244А горения. В таких случаях топливо/топливная смесь может направляться в секцию 244А горения камеры 222 сгорания в том же направлении, что спиральный поток транспирационной текучей среды 210, что усиливает горения топлива/топливной смеси, как рассмотрено выше. Изменение на противоположное направления спирального потока транспирационной текучей среды 210 в секции 244В дожигания может, например, привести к образованию "противозавихривания" продуктов горения за счет действия локального касательного усилия и тем самым улучшить смешивание продуктов горения. При этом продукты горения могут быстрее и полнее перемешиваться в выходном потоке, поступающем из выходной части 222В, так чтобы обеспечить более однородный выходной поток из установки 220 камеры сгорания.

В других частных вариантах выполнения изобретения транспирационный элемент 230 может быть сконфигурирован таким образом, чтобы спиральный поток транспирационной текучей среды 210 попеременно менял свое направление на обратное вдоль по меньшей мере части транспирационного элемента, так чтобы попеременно менять направление наведенного завихривания топлива/топливной смеси и(или) продуктов горения между входной частью 222А и выходной частью 222В. Такие чередующиеся секции противонаправленных спиральных потоков транспирационной текучей среды 210 могут, например, увеличить локальную турбулентность и таким образом улучшить перемешивание топлива/топливной смеси и(или) продуктов горения. Например, в некоторых частных вариантах выполнения

для дополнительного усиления локальной турбулентности с целью внесения других изменений в динамику и кинетику горения и(или) траекторию прохождения потока в камере 222 сгорания или через нее транспирационный элемент 230 может содержать по меньшей мере один проходящий сквозь него транспирационный канал 246 (см., например, фиг. 2Д), причем этот по меньшей мере один транспирационный канал 246 может быть выполнен с возможностью направления дополнительного прямолинейного потока транспирационной текучей среды 210 в топливо/топливную смесь и(или) продукты горения, так чтобы по возможности воздействовать на параметры их потока, а также на динамику и кинетику горения. В некоторых частных вариантах выполнения изобретения соответствующим образом сформированная струя транспирационной текучей среды, направленная через по меньшей мере один выступающий поперек транспирационный канал 246, может быть достаточной для разветвления потока в камере 222 сгорания или для того, чтобы иным образом вызвать "загиб" потока вокруг струи транспирационной текучей среды, создавая тем самым возможность изменения формы потока вдоль длины камеры 222 сгорания. При использовании более чем одного таких транспирационных каналов 246 они могут быть разнесены друг от друга, направлены под углом или продольно относительно камеры 222 сгорания, так чтобы, например, сдвинуть более высокотемпературные области горения к другим секторам камеры 222 сгорания (то есть чтобы предотвратить локальный нагрев или перегрев некоторых секторов камеры 222 сгорания) или вызвать перемешивание разных областей горения, имеющих разные температуры.

В некоторых случаях наружный транспирационный элемент 331, элемент 338 защитной оболочки высокого давления, теплопередающий кожух 336 и(или) изоляционный слой 339 могут быть выполнены или индивидуально, или в сочетании, так чтобы обеспечивать "магистральный" эффект (то есть обеспечивать в основном равномерно распределенную подачу) в отношении доставки транспирационной субстанции/текучей среды 210 к внутреннему транспирационному элементу и сквозь него в камеру 222 сгорания. То есть в основном равномерная подача транспирационной субстанции 210 (в отношении скорости потока, давления или других подходящих и соответствующих величин) в камеру 222 сгорания может быть обеспечена за счет конфигурации наружного транспирационного элемента 331, элемента 338 защитной оболочки высокого давления, теплопередающего кожуха 336 и(или) изоляционного слоя 339, обеспечивающей равномерную подачу транспирационной текучей среды 210 к внутреннему транспирационному элементу 332, или подача транспирационной субстанции 210 по наружной поверхности внутреннего транспирационного элемента 332 может быть особым образом сформирована и сконфигурирована, так чтобы обеспечивалось в основном равномерное распределение транспирационной субстанции 210 внутри камеры 222 сгорания, вдоль нее или по всей камере 222 сгорания. Такое в основном равномерное распределение и подача транспирационной субстанции 210 в камеру 222 сгорания могут свести к минимуму или предотвратить образование вихрей разогретой горючей текучей среды, так как в противном случае такие вихри разогретой горючей текучей среды могут сформироваться за счет взаимодействия между неравномерным потоком транспирационной текучей среды и потоком горючей текучей среды, и эти вихри могут, в свою очередь, сталкиваться с внутренним транспирационным элементом 332 и, возможно, повреждать его. В некоторых частных вариантах выполнения однородность распределения транспирационной субстанции 210 в камере 222 сгорания желательна, по меньшей мере, в локальном смысле или в рамках рассматриваемой проблемы. То есть на относительно большой протяженности вдоль камеры 222 сгорания однородность потока транспирационной субстанции/текучей среды 210 может не соблюдаться, но может быть желательным или необходимым, чтобы поток изменялся постепенно для предотвращения разрывов профиля потока, которые могут привести к образованию потенциально разрушительных вихрей.

Поверхность внутреннего транспирационного элемента 332 нагревается также продуктами горения. По существу, пористый внутренний транспирационный элемент 332 может быть выполнен так, чтобы иметь соответствующую теплопроводность, достаточную для того, чтобы проходящая через него транспирационная текучая среда 210 нагревалась, в то время как пористый внутренний транспирационный элемент 332 одновременно охлаждался, приводя к тому, чтобы температура поверхности внутреннего транспирационного элемента 332, ограничивающего камеру 222 сгорания, составляла, например, приблизительно от 200 до 700°C (и в некоторых случаях вплоть до 1000°C) в области наивысшей температуры горения. Таким образом защитная стенка из текучей среды или буферный слой 231, сформированный транспирационной текучей средой 210 вместе с внутренним транспирационным элементом 332, препятствует взаимодействию между этим элементом 332 и высокотемпературными продуктами горения, шлаком и другими частицами загрязняющих примесей, и, по существу, ограждает внутренний транспирационный элемент 332 от контакта, загрязнения или другого повреждения. Кроме того, транспирационная текучая среда 210 вводится в камеру 222 сгорания через внутренний транспирационный элемент 332 таким образом, чтобы регулировать температуру выходной смеси транспирационной текучей среды 210 и продуктов горения у выходной части 222В камеры 222 сгорания в диапазоне приблизительно от 400 до 3500°C.

Специалисту в данной области должно быть понятно, что указание на то, что выходная смесь транспирационной текучей среды 210 и продуктов горения у выходной части 222В камеры 222 сгорания

находится при температуре приблизительно от 400 до 3500°C, не обязательно означает, что температура выходной смеси достигает максимума у выпуска выходной части 222В камеры 222 сгорания. Практически температура горения всегда достигает намного более высоких значений где-то по длине камеры 222 сгорания, между ее входной частью 222А и выходной частью 222В, что схематически показано на фиг. 1А (на которой температура в относительных единицах отложена по оси у, и положение в относительных единицах отложено по оси х). В общем может быть желательным достижение достаточно высоких температур с целью достаточно быстрого осуществления процесса горения в камере 222 сгорания, так чтобы реакция завершалась до выхода смеси из камеры 222 сгорания. После достижения пикового значения в камере 222 сгорания температура выходной смеси может в некоторых случаях падать из-за разбавления транспирационной субстанции/текучей средой 210.

Согласно некоторым частным вариантам выполнения изобретения транспирационная текучая среда 210, пригодная для использования в описанной установке 220 камеры сгорания, может включать любую подходящую текучую среду, которую можно обеспечить через внутренний транспирационный элемент 332 потоком достаточной величины и под достаточным давлением для образования защитной стенки из текучей среды/буферного слоя 231, и которая способна разбавить продукты горения, так чтобы получить соответствующую конечную температуру выходного потока рабочего тела/продуктов горения. В некоторых частных вариантах выполнения CO_2 может быть подходящей транспирационной текучей средой 210, так как защитная стенка из текучей среды/барьерный слой, сформированный из диоксида углерода, может проявлять хорошие термоизоляционные свойства, а также требуемые свойства поглощения видимого света и ультрафиолета. В случае применения CO_2 используется как сверхкритическая текучая среда. В других вариантах подходящая транспирационная текучая среда может содержать, например, воду или охлажденные газообразные продукты горения, возвращенные из выполняемого ниже по потоку процесса. При запуске установки камеры сгорания в качестве транспирационной текучей среды могут быть использованы некоторые топлива для достижения, например, соответствующих рабочих температур и давлений в камере 222 сгорания перед впрыскиванием от источника топлива, используемого при работе. Некоторые виды топлив также могут быть использованы в качестве транспирационной текучей среды для регулирования или поддержания рабочих температур и давлений в установке 220 камеры сгорания во время переключения между источниками топлива, например переключения с угля на биомассу в качестве топлива. В некоторых частных вариантах выполнения могут быть использованы две или несколько транспирационных текучих сред. Транспирационная текучая среда 210 может быть оптимизирована под режимы температуры и давления в камере 222 сгорания, в которой эта среда 210 образует защитную стенку из текучей среды/буферный слой 231.

Таким образом в частных вариантах выполнения настоящего изобретения предложены установки и способы выработки энергии, например электроэнергии, путем использования работающей на высокоэффективном топливе установки 220 камеры сгорания и соответствующего рабочего тела 236. Рабочее тело 236 вводится в установку 220 камеры сгорания вместе с соответствующим топливом 254 и окислителем 242, а также с любыми другими соответствующими материалами, способствующими эффективному горению. В частных вариантах выполнения, в которых предлагается установка 220 камеры сгорания, выполненная с возможностью работы при относительно высоких температурах (например, в диапазоне приблизительно от 1300 до 3500°C), рабочее тело 236 может способствовать регулированию температуры потока текучей среды, выходящего из установки 220 камеры сгорания, так что этот поток может быть использован для извлечения из него энергии с целью ее производства.

В некоторых частных вариантах выполнения изобретения установка 220 камеры сгорания с транспирационным охлаждением может быть введена в систему выработки энергии с использованием рабочего тела 236, содержащего, например, преимущественно CO_2 и(или) H_2O . В первом частном варианте выполнения рабочее тело 236, поступающее в установку 220 камеры сгорания, предпочтительно содержит в основном только CO_2 . В установке 220 камеры сгорания, работающей в окислительных режимах, рабочее тело 236 на основе CO_2 может вступать во взаимодействие с одной или несколькими компонентами топлива 254, окислителя 242 и любыми продуктами процесса горения топлива. Поэтому рабочее тело, направляемое в выходную часть 222В установки 220 камеры сгорания и покидающее ее, и которое в данном описании может также называться выходящим потоком текучей среды, может содержать, как показано на фиг. 1, преимущественно CO_2 (в вариантах, в которых рабочее тело представляет собой преимущественно CO_2) наряду с более малыми количествами других веществ, таких как H_2O , O_2 , N_2 , Ar , SO_2 , SO_3 , NO , NO_2 , HCl , Hg , и следы других компонент, которые могут образоваться в процессе горения (например, твердые частицы или загрязняющие примеси, такие как шлак или расплавленный шлак) (см. элемент 150 на фиг. 1). Работа установки 220 камеры сгорания в восстановительных режимах может приводить к образованию выходного потока текучей среды, содержащего целый список возможных компонент, включая CO_2 , H_2O , H_2 , CO , NH_3 , H_2S , COS , HCl , N_2 и Ar , что показано элементом 175 на фиг. 1. Как рассмотрено более подробно в данном описании, процесс горения, связанный с установкой 220 камеры сгорания, может быть отрегулирован так, что он по основным свойствам выходного потока текучей среды станет или восстановительным, или окислительным, причем оба варианта могут обеспечить кон-

кретные преимущества.

В частных вариантах выполнения изобретения установка 220 камеры сгорания может быть выполнена как высокоэффективное устройство с транспирационным охлаждением, приспособленное для относительно полного сжигания топлива 254 при относительно высокой температуре, лежащей, например, в диапазоне приблизительно от 1300 до 5000°. В такой установке 220 камеры сгорания в некоторых вариантах выполнения могут использоваться одна или несколько охлаждающих текучих сред и(или) одна или несколько транспирационных текучих сред 210. В установку 220 камеры сгорания могут быть также введены дополнительные компоненты. Например, может быть обеспечен блок разделения воздуха, предназначенный для выделения N_2 и O_2 , и может быть обеспечен узел впрыскивания топлива, предназначенный для приема O_2 из блока разделения воздуха, смешивания O_2 с CO_2 и(или) H_2O и затем с потоком топлива, содержащим газ, жидкость, сверхкритическую текучую среду или твердое сыпучее топливо, взвешенное в высокоплотной текучей среде на основе CO_2 .

В другом частном варианте выполнения изобретения установка 220 камеры сгорания с транспирационным охлаждением может включать топливный инжектор для впрыскивания потока топлива под давлением в камеру 222 сгорания устройства 222 камеры сгорания, причем поток топлива может содержать обработанное углеродное топливо 254, сжиженную среду 255 (которая может содержать рабочее тело 236, как было рассмотрено) и кислород 242. Кислород 242 (обогащенный) и рабочее тело 236 на основе CO_2 могут быть соединены в виде гомогенной сверхкритической смеси. Количество присутствующего кислорода может быть достаточным для горения топлива и образования продуктов горения, имеющих требуемый состав. Установка 220 камеры сгорания может также содержать камеру 222 сгорания, выполненную как работающий при высокой температуре и высоком давлении объем камеры сгорания, приспособленный для приема потока топлива, а также транспирационной текучей среды 210, поступающей в объем камеры сгорания через стенки пористого транспирационного элемента 230, ограничивающего камеру 222 сгорания. Скорость подачи транспирационной текучей среды может быть использована для установки на требуемом уровне температуры в выходной части устройства камеры сгорания/температуры во входной части турбины и(или) для охлаждения транспирационного элемента 230 до температуры, совместимой с материалом, из которого выполнен транспирационный элемент 230. Транспирационная текучая среда 210, направляемая через транспирационный элемент 230, обеспечивает текучую среду/буферный слой у поверхности транспирационного элемента 230, ограничивающего камеру 222 сгорания, причем текучая среда/буферный слой могут предотвращать взаимодействие зольных включений или жидкого шлака, образующихся при определенном горении топлива, с незащищенными стенками транспирационного элемента 230.

Некоторые варианты выполнения высокоэффективной установки камеры сгорания могут быть также выполнены с возможностью работы с множеством источников топлива, включая, например, различные марки и типы угля, дерево, масло, топливную нефть, природный газ, получаемый из угля горючий газ, вязкие нефтепродукты из нефтяных песков, битум, биотопливо, водоросли и сортированные горючие твердые отходы. В частности, могут быть использованы угольная пыль или сыпучий твердый материал. Хотя в данном описании в качестве примера рассмотрена установка 220 камеры сгорания, работающая на сжигании угля, специалисту в данной области техники понятно, что используемое в ней топливо не ограничено конкретным сортом угля. Кроме того, так как в описанной установке камеры сгорания, работающей на окислении топлива, поддерживаются высокие давление и температура, то может использоваться широкая номенклатура топлив, включая уголь, битум (включая битум, извлекаемый из нефтеносных песков), гудрон, асфальт, изношенные шины, топливная нефть, дизельное топливо, бензин, авиационный керосин (JP-5, JP-4), природный газ, газы, полученные при газификации или пиролизе углеводородных материалов, этанол, твердое и жидкое биотопливо, биомасса, водоросли и обработанные твердые отходы. Все такие топлива соответствующим образом обрабатываются перед впрыскиванием в камеру 222 сгорания до достаточных кондиций и доводятся до давления, превышающего давление в камере 222 сгорания. Такие топлива могут быть в виде жидкости, суспензии, геля или пасты с соответствующей текучестью и вязкостью при температурах окружающей среды или при повышенных температурах (например, лежащих приблизительно между 38 и 425°C). Все твердые топливные материалы размолоты, или раздроблены, или другим образом обработаны, чтобы уменьшить размер частиц до допустимого. При необходимости может быть добавлена псевдоожигающая или превращающая в суспензию среда для достижения должных кондиций и удовлетворения требований к потоку при его прокачке под высоким давлением. Конечно, псевдоожигающая среда может не понадобиться в зависимости от вида топлива (то есть если это жидкость или газ). Аналогично в некоторых вариантах выполнения в качестве псевдоожигающей среды может быть использовано рабочее тело.

В некоторых частных вариантах выполнения камера 222 сгорания выполнена с возможностью поддержания температуры в диапазоне приблизительно от 1300 до 5000°C. Кроме того, камера 222 сгорания может быть выполнена так, чтобы поток топлива (и рабочего тела 236) можно было впрыскивать или иным образом вводить в нее под давлением большим, чем давление, при котором происходит горение. Если углеродным топливом служит измельченный уголь, то он может быть переведен в состояние сус-

пензии в сверхкритической текучей среде на основе CO_2 , получаемой смешиванием CO_2 или воды с размолотым твердым топливом для образования подвижной суспензии. В таких вариантах жидкий CO_2 может иметь плотность, например, в диапазоне приблизительно от 450 до 1100 кг/м³, и массовая доля твердого топлива может составлять приблизительно от 25 до 95% (например, приблизительно от 25 до 55 мас.%). Опционно, со состоящей из угля/ CO_2 суспензией может быть смешено некоторое количество O_2 , достаточное для горения угля с получением должного состава продуктов горения. При желании O_2 может быть отдельно инжектирован в камеру 222 сгорания. Установка 220 камеры сгорания может содержать элемент 338 защитной оболочки высокого давления, по меньшей мере, частично охватывающий транспирационный элемент 230, и между ним и транспирационным элементом 230 может быть размещен изолирующий элемент 339. В некоторых вариантах выполнения с элементом 338 защитной оболочки высокого давления может контактировать средство 350 теплоотвода, такое как снабженная кожухом водоохлаждаемая система, в которой сформированы водяные рубашки 337 (то есть средство, наружное по отношению к элементу 338 защитной оболочки высокого давления, образующему "капсулу" установки 220 камеры сгорания). Транспирационная текучая среда 210, вводимая во взаимодействие с транспирационным элементом 230 установки 220 камеры сгорания, может быть, например, CO_2 , смешанным с небольшим количеством H_2O и(или) инертным газом, таким как N_2 или аргон. Транспирационный элемент 230 может содержать, например, пористый металл, керамику, композитную матрицу, слоистую трубчатую конструкцию или любую другую подходящую конструкцию или их комбинации. В некоторых частных вариантах выполнения в процессе горения в камере 222 сгорания могут создаваться высокое давление и высокотемпературный выходной поток текучей среды, который может быть направлен в устройство выработки энергии, такое как турбина, для последующего расширения в нем.

Что касается частных вариантов выполнения, иллюстрируемых фиг. 1, то установка 220 камеры сгорания может быть выполнена с возможностью введения в нее кислорода 242 под давлением приблизительно 355 бар. Кроме того, сыпучее твердое топливо 254 (например, порошковый уголь) и псевдоожижающая текучая среда 255 (например, жидкий CO_2) также могут вводиться под давлением приблизительно 355 бар. Аналогично, рабочее тело 236 (например, нагретая, находящаяся под высоким давлением, возможно рециклированная текучая среда на основе CO_2) может обеспечиваться под давлением приблизительно 355 бар и с температурой приблизительно 835°C. Однако согласно частным вариантам выполнения настоящего изобретения топливная смесь (топливо, псевдоожижающая текучая среда, кислород и рабочее тело) могут подаваться во входную часть 222А камеры 222 сгорания под давлением, составляющим приблизительно от 40 до 500 бар. Относительно высокие значения давления, используемые в рассмотренных частных вариантах выполнения установки 220 камеры сгорания, могут предназначаться для концентрации энергии, производимой тем самым с относительно высокой интенсивностью в минимальном объеме, то есть, по существу, с относительно высокой плотностью энергии. Относительно высокая плотность энергии дает возможность выполнять процессы, происходящие ниже по направлению потока, более эффективным образом, чем при низких давлениях, и, следовательно, обеспечивать большую эффективность способа. Поэтому в частных вариантах выполнения изобретения могут обеспечиваться плотности энергии, на порядки превосходящие величины, присущие существующим энергетическим установкам (то есть в 10-100 раз). Повышенная плотность энергии увеличивает эффективность процесса, а также снижает стоимость оборудования, необходимого для преобразования энергии из тепловой в электрическую, за счет уменьшения его размеров и массы, влияющих на стоимость.

В случае использования псевдоожижающая текучая среда 255 на основе CO_2 , представляющая собой жидкость при любом давлении между давлением в тройной точке фазовой диаграммы и критическим давлением для CO_2 , смешивается с порошковым угольным топливом 254, образуя смесь в пропорции приблизительно 55 мас.% CO_2 и приблизительно 45 мас.% порошкового угля или в других массовых долях, так что образующаяся суспензия может быть прокачана соответствующим насосом (как суспензия текучей среды) в камеру 222 сгорания под указанным давлением, составляющим приблизительно 355 бар. В некоторых частных вариантах выполнения CO_2 и порошковый уголь могут быть до прокачки смешаны при давлении приблизительно 13 бар. Поток 242 кислорода смешивается с потоком 236 рециклированной текучей среды на основе CO_2 , и это сочетание затем смешивается с суспензией порошковый уголь/ CO_2 , образуя однородную смесь текучей среды. Соотношение O_2 и угля может быть выбрано достаточным для полного сгорания угля при содержании избыточного O_2 , составляющем 1%. В другом частном варианте выполнения количество O_2 может быть выбрано таким, чтобы обеспечивалось в основном полное окисление части угля, в то время как другая часть остается только частично окисленной, что приводит к образованию смеси текучей среды, обладающей восстановительными свойствами и содержащей некоторое количество $\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4$. Таким образом при необходимости или при желании могут быть введены две стадии расширения продуктов горения с впрыскиванием некоторого количества O_2 и повторным нагревом между первой и второй стадиями. Кроме того, так как топливо (уголь) окислено на первой стадии только частично (то есть в первой камере сгорания при температуре приблизительно от 400 до 1000°C), негорючие элементы, содержащиеся в углеродном топливе и выходящие с первой стадии, имеют вид твердых частиц в продуктах горения. После отделения твердых частиц, например, с по-

мощью вихревых и(или) свечных фильтров углеродное топливо может быть затем в основном полностью окислено на второй стадии (то есть во второй камере сгорания), так чтобы получить выходную температуру продуктов горения, лежащую в диапазоне приблизительно от 1300 до 3500°C.

В дополнительных вариантах выполнения изобретения количество CO_2 , доставляемое в камеру 222 сгорания топливной смесью, выбирается достаточным для обеспечения температуры горения (адиабатического или другого), составляющей приблизительно 2400°C, хотя температура горения может лежать в диапазоне приблизительно от 1300 до 5000°C. В одном из частных вариантов выполнения обеспечивается топливная смесь из O_2 +угольная суспензия+нагретый рециклированный CO_2 при конечной температуре, лежащей ниже температуры самовоспламенения этой топливной смеси. Для обеспечения указанных условий предпочтительно обеспечивается твердое углеродное топливо (например, уголь) со средним размером частиц приблизительно от 50 до 200 мкм, например, за счет размола твердого угля в углеразмольной мельнице. Такой процесс измельчения может быть выполнен в мельнице, приспособленной для обеспечения минимальной массовой доли частиц размером ниже приблизительно 50 мкм. Таким образом любые негорючие компоненты, перешедшие в процессе горения в состояние вкраплений жидкого шлака, могут быть в диаметре больше приблизительно 10 мкм. В некоторых частных вариантах выполнения топливная смесь с температурой приблизительно 400°C, содержащая CO_2 + O_2 +суспензию порошкового угля, может быть направлена в камеру 222 сгорания под давлением приблизительно 355 бар, в то время как фактическое давление при горении в камере 222 сгорания может составлять приблизительно 354 бар. Температура в камере 222 сгорания может лежать в диапазоне приблизительно от 1300 до 5000°C, и в некоторых предпочтительных вариантах выполняется только одна стадия горения.

В одном из вариантов рассматриваемая установка 220 камеры сгорания может входить в систему с общей электрической мощностью 500 МВт, которая может быть выполнена с возможностью работы с топливом на основе CH_4 при КПД (на основе сниженной теплоты сгорания топлива), составляющем приблизительно 58%, при следующих режимах:

давление горения 350 атм,
расход топлива 862 МВт;
поток топлива 17,2 кг/с;
поток кислорода 69,5 кг/с;

CH_4 и O_2 смешиваются с поступающим с расходом 155 кг/с рабочим телом на основе CO_2 и сжигаются с получением выходного потока текучей среды, содержащего CO_2 , H_2O и некоторое количество избыточного O_2 и имеющего адиабатическую температуру 2400°C. Камера сгорания может иметь внутренний диаметр приблизительно 1 м и длину приблизительно 5 м. Поток CO_2 при расходе 395 кг/с и с температурой приблизительно 600°C направляется к транспирационному элементу, который может иметь толщину приблизительно 2,5 см, и далее сквозь транспирационный элемент. CO_2 подвергается конвективному нагреву за счет тепла, передаваемого через транспирационный элемент и образованного излучением от пламени в камере сгорания, направленным на транспирационный элемент.

Вблизи его внутренней поверхности, ограничивающей камеру сгорания, температура поверхности транспирационного элемента может составлять приблизительно 1000°C, в то время как выходной поток текучей среды с расходом 636,7 кг/с может иметь температуру приблизительно 1350°C. В некоторых случаях средняя продолжительность сгорания и разбавления продуктов горения составляет приблизительно 1,25 с. Кроме того, средняя скорость движения по радиусу вовнутрь транспирационной текучей среды, поступающей в камеру сгорания через транспирационный элемент, приблизительно равна 0,15 м/с.

Усовершенствование вариантов установки камеры сгорания, работающей на угольном топливе, приводит к конфигурации со средней продолжительностью сгорания и разбавления продуктов горения в камере сгорания, составляющей приблизительно 2,0 с при длине камеры сгорания приблизительно 8 м и внутреннем диаметре приблизительно 1 м. Общий КПД системы с CO_2 как разбавляющей (транспирационной) текучей средой составляет таким образом приблизительно 54% (на основе сниженной теплоты сгорания топлива). В таких вариантах скорость поступления транспирационной текучей среды по радиусу вовнутрь может составлять приблизительно 0,07 м/с. Для такого режима на фиг. 5 схематически изображена траектория частицы жидкого шлака диаметром 50 мкм, движущейся по радиусу наружу со скоростью приблизительно 50 м/с в направлении транспирационного элемента с расстояния 1 мм от него. Можно видеть, что частица должна достичь минимального расстояния в 0,19 мм от транспирационного элемента до того, как будет повернута обратно в выходной поток текучей среды потоком транспирационной текучей среды, поступающим сквозь транспирационный элемент. В таких случаях поток транспирационной текучей среды сквозь транспирационный элемент эффективно предотвращает взаимодействие между транспирационным элементом и частицами жидкого шлака, образующимися в процессе горения.

Как должно быть понятно специалисту в данной области техники, представленные варианты выполнения установки камеры сгорания могут быть использованы в соответствующих системах выработки энергии, в которых применяются близкие способы. Например, такая система выработки энергии может содержать один или несколько инжекторов для обеспечения топлива (и опционно псевдоожижающей

среды), окислителя и рабочего тела на основе CO_2 , а также раскрытую в данном описании установку камеры сгорания с транспирационным охлаждением, имеющую по меньшей мере одну стадию горения при сжигании топливной смеси и обеспечивающую выходной поток текучей среды. Устройство преобразования (см., например, элемент 500 на фиг. 6) может быть выполнено с возможностью получения выходного потока текучей среды (продуктов горения и рабочего тела) и осуществления функции преобразования заключенной в нем энергии в кинетическую энергию, причем устройство преобразования может быть, например, энергетической турбиной, имеющей вход и выход, в которой вырабатывается энергия при расширении выходного потока текучей среды. В частности, турбина может быть выполнена с возможностью поддержания выходного потока текучей среды с необходимым соотношением давления на входе и на выходе. Может быть также обеспечен блок генератора (см., например, элемент 550 на фиг. 6), предназначенный для преобразования кинетической энергии турбины в электричество. То есть выходной поток текучей среды может расширяться с изменением давления с высокого на низкое, производя энергию вала, которая затем может быть преобразована в электрическую энергию. Может быть обеспечен теплообменник, предназначенный для охлаждения выходного потока текучей среды, поступающего с выхода турбины и используемого для нагрева рабочего тела на основе CO_2 , подаваемого в устройство камеры сгорания. Могут быть также обеспечены одно или несколько устройств разделения выходного потока текучей среды, выходящего из теплообменника, на чистый CO_2 и одну или несколько других компонент, идущих на повторное использование или на сброс. Такая система может также содержать одно или несколько устройств сжатия очищенного CO_2 и подачи по меньшей мере части CO_2 , выделенного из выходного потока текучей среды, в трубопровод высокого давления, в то время как оставшаяся часть возвращается в процесс в качестве рабочего тела, подогретого в теплообменнике. Однако специалисту в данной области должно быть понятно, что хотя в данном описании речь идет о непосредственном использовании выходного потока текучей среды, в некоторых вариантах этот выходной поток с относительно высокой температурой может быть употреблен не по прямому назначению. То есть выходной поток текучей среды может быть направлен в теплообменник, в котором заключенная в нем тепловая энергия может быть использована для подогрева второго потока текучей среды, и нагретый второй поток текучей среды затем может быть направлен в устройство преобразования, например в турбину, для выработки энергии. Кроме того, специалисту в данной области должно быть понятно, что могут быть предложены много других таких устройств без выхода за объем настоящего изобретения.

В частных вариантах выполнения изобретения состав углеродного топлива может быть таким, что в него могут входить негорючие компоненты (то есть загрязняющие примеси), сопровождающие процесс горения и сохраняющиеся в продуктах горения/выходном потоке текучей среды. Это относится к случаям, когда углеродное топливо представляет собой твердое вещество, например уголь. В этих вариантах непосредственное использование выходного потока текучей среды может привести к накоплению таких негорючих компонент в последующем устройстве преобразования (турбине) или к его повреждению, если выходной поток текучей среды пропускается непосредственно через него. Для специалиста в данной области ясно, что такие негорючие компоненты могут не обязательно присутствовать при использовании других видов углеродного топлива, таких как жидкие или газообразные (то есть природный газ). Соответственно в вариантах выполнения, в которых используется источник твердого углеродного топлива и непосредственное взаимодействие между выходным потоком текучей среды и устройством преобразования, система выработки энергии (установка камеры сгорания и устройство преобразования) может дополнительно включать разделительное устройство, установленное между устройством камеры сгорания и устройством преобразования. В таких случаях разделительное устройство может быть приспособлено для существенного удаления сжиженных негорючих компонент из продуктов горения/выходного потока текучей среды, поступающих в него, прежде чем продукты горения/выходной поток текучей среды будут направлены в устройство преобразования. Кроме того, в вариантах, в которых используется разделительное устройство, рассмотренная транспирационная субстанция может вводиться как выше по потоку, так и ниже по потоку разделительного устройства. В частности, транспирационная субстанция может быть сначала введена через транспирационный элемент в камеру сгорания выше по потоку разделительного устройства, так чтобы можно было регулировать состав смеси транспирационной субстанции и продуктов горения, поступающей в разделительное устройство при температуре выше температуры сжижения негорючих элементов. Установленное последовательно с разделительным устройством устройство подачи транспирационной субстанции (см., например, элемент 475 на фиг. 6) может быть выполнено с возможностью введения транспирационной субстанции в продукты горения, выходящие из разделительного устройства, из которых в значительной мере удалены сжиженные негорючие компоненты, так чтобы регулировать состав смеси транспирационной субстанции и продуктов горения, поступающей в устройство преобразования при температуре, составляющей приблизительно от 400 до 3500°C.

Как было рассмотрено ранее, варианты выполнения установки камеры сгорания могут предусматривать возможность достижения температуры горения, приводящей в процессе горения к переводу в жидкое состояние негорючих компонент, содержащихся в твердом углеродном топливе. В подобных случаях могут быть использованы средства удаления сжиженных негорючих компонент, такие как, например, разделительное устройство 340, представляющее собой циклонный сепаратор, изображенный на

фиг. 4. В общем варианты выполнения такого циклонного сепаратора, задействованного в настоящем изобретении, могут содержать группу последовательно расположенных устройств 100 центробежного сепаратора, включающую входное устройство 100А центробежного сепаратора, выполненное с возможностью приема продуктов горения/выходного потока текучей среды и сопутствующих им сжиженных негорючих компонент, и выходное устройство 100В центробежного сепаратора, выполненное с возможностью выпуска продуктов горения/выходного потока текучей среды, из которых в значительной мере удалены сжиженные негорючие компоненты. Каждое устройство 100 центробежного сепаратора включает группу элементов центробежного разделения или циклонов 1, в рабочем состоянии расположенных параллельно у центрального сборного трубопровода 2, причем каждый элемент центробежного разделения/циклон 1 выполнен так, чтобы удалять по меньшей мере часть сжиженных негорючих компонент из продуктов горения/выходного потока текучей среды и направлять эту удаленную часть сжиженных негорючих компонент в сборник 20. Такое разделительное устройство 340 может быть выполнено с возможностью работы при повышенном давлении и, как таковое, может также содержать корпус 125 высокого давления, приспособленный для размещения в нем устройств центробежного сепаратора и сборника. В соответствии с такими вариантами выполнения корпус 125 высокого давления может быть продолжением элемента 338 защитной оболочки высокого давления, также охватывающим установку 220 камеры сгорания, или он может быть отдельным элементом, контактирующим с элементом 338 защитой оболочки высокого давления, связанным с установкой 220 камеры сгорания. В обоих случаях из-за повышенной температуры, воздействующей на разделительное устройство 340 со стороны выходного потока текучей среды, корпус 125 высокого давления может также содержать систему рассеяния тепла, такую как теплообменная рубашка с циркулирующей в ней жидкостью (не показана), в процессе работы взаимодействующая с ним, отводя тепло. В некоторых вариантах выполнения в рабочем состоянии с теплообменной рубашкой может взаимодействовать устройство рекуперации тепла (не показано), выполненное с возможностью приема циркулирующей в теплообменной рубашке жидкости и извлечения из нее тепловой энергии.

В частности, представленное на фиг. 4 разделительное устройство 340, предназначенное для удаления шлака, выполнено с возможностью последовательного подключения к установке 220 камеры сгорания у выходной части 222В последней с целью приема поступающего из нее выходного потока текучей среды/продуктов горения. Выходной поток текучей среды транспирационного охлаждения из установки 220 камеры сгорания вместе с вкраплениями в него жидкого шлака (негорючими компонентами) направляется через конический переходник 10 на вход центрального сборного питателя 2А входного устройства 100А центробежного сепаратора. В одном из частных вариантов выполнения разделительное устройство 340 может содержать три устройства 100А, 100В, 100С центробежного сепаратора (хотя специалисту в данной области должно быть понятно, что такое разделительное устройство может включать одно, два, три или несколько устройств центробежного сепаратора в зависимости от желания или необходимости). В данном примере в рабочем положении три устройства 100А, 100В, 100С центробежного сепаратора установлены последовательно, образуя трехступенчатый блок циклонного разделения. Каждое устройство центробежного сепаратора содержит, например, группу элементов циклонного разделения (циклоны 1), установленных по окружности соответствующего центрального сборного трубопровода 2. Центральный сборный питатель 2А и центральный сборный трубопровод 2 входного устройства 100А центробежного сепаратора, а также среднее устройство 100С центробежного сепаратора имеют уплотнения у своих выходных краев. В таких вариантах выходной поток текучей среды направляется в боковые каналы 11, соответствующие каждому из элементов центробежного разделения (циклонов 1) соответствующего устройства 100 центробежного сепаратора. Боковые каналы 11 выполнены с возможностью соединения с входным краем соответствующего циклона 1, образуя направленный по касательной входной поток в нем (в результате, например, входной поток текучей среды, поступающий в циклон 1, взаимодействует со стенкой циклона 1 в виде спиральной струи). Затем выходной канал 3 каждого из циклонов 1 направляется во входную часть центрального сборного трубопровода 2 соответствующего устройства 100 центробежного сепаратора. У выхода устройства 100В центробежного сепаратора выходной поток текучей среды (из которого существенного удаления негорючие компоненты) направляется от центрального сборного трубопровода выходного устройства 100В центробежного сепаратора, через сборный трубопровод 12 и выходное сопло 5, так что "чистый" выходной поток текучей среды может быть затем направлен в последующий процесс, например, связанный с устройством преобразования. Таким образом приведенное в качестве примера трехступенчатое устройство циклонного разделения дает возможность снижения содержания шлака в выходном потоке текучей среды до уровня 5 ppm по массе (частей на миллион).

На каждой ступени разделительного устройства 340 отделенный жидкий шлак отводится от каждого циклона 1 через выходные трубопроводы 4, проложенные к отстойнику 20. Затем отделенный жидкий шлак направляется в выходное сопло или трубопровод 14, проходящий от отстойника 20 и корпуса 125 высокого давления, для дальнейшего удаления и(или) повторного использования содержащихся в нем компонент. В процессе удаления жидкий шлак может быть направлен через водоохлаждаемый участок 6 или иным образом через участок, соединенный с источником холодной воды под давлением, на котором

взаимодействие с этой водой приводит к затвердеванию и(или) гранулированию жидкого шлака. Смесь затвердевшего шлака и воды затем может быть разделена в емкости 7 (сборнике) на текучую смесь шлака/воды, которая может быть удалена через соответствующий клапан 9, в то время как остаточный газ может быть удален через отдельную магистраль 8.

Так как разделительное устройство 340 используется во взаимодействии с относительно высокотемпературным выходным потоком текучей среды (то есть с температурой, достаточной для поддержания нахождения негорючих компонент в жидком состоянии с относительно низкой вязкостью), может быть желательным в некоторых случаях, чтобы поверхности разделительного устройства 340, испытывающие воздействие продуктов горения/выходного потока текучей среды или сжиженных негорючих компонент, содержащихся в них, включали материалы, выполненные по меньшей мере с одним из свойств из группы, охватывающей высокую термостойкость, высокую коррозионную стойкость и низкую теплопроводность. Примерами таких материалов могут служить оксиды циркония и алюминия, хотя эти примеры ни в коей мере не предназначены для ограничения объема изобретения. По существу, в некоторых частных вариантах выполнения изобретения разделительное устройство 340 выполнено с возможностью удаления в значительной степени сжиженных негорючих компонент из продуктов горения/выходного потока текучей среды и поддержания нахождения негорючих компонент в жидком состоянии с низкой вязкостью, по меньшей мере, до удаления их из отстойника.

По существу, в соответствии с приведенным в данном описании сепаратор шлака для вариантов использования твердого углеродного топлива может быть выполнен в виде отдельного блока (разделительного устройства 340), который может быть в некоторых вариантах легко извлечен из системы для ремонта и проверки. Однако такой вариант выполнения может обеспечить дополнительные преимущества, как показано на фиг. 6, за счет того, что система легко может быть выполнена с реализацией "многоотопливного" подхода по отношению к пригодным для использования источникам конкретного вида топлива. Например, выполненное в виде отдельного блока разделительное устройство 340 может быть установлено в системе между установкой 220 камеры сгорания и устройством 500 преобразования (турбиной), если в качестве топливного источника в установке 220 камеры сгорания используется твердое углеродное топливо. При необходимости перехода на источник жидкого или газообразного углеродного топлива разделительный блок 340 может быть выведен из системы (то есть, как было ранее рассмотрено, необходимость в нем отпадает), так что выходной поток текучей среды из установки 220 камеры сгорания может быть направлен непосредственно в устройство 500 преобразования. При этом система легко может быть перестроена обратно на использование разделительного блока 340, если позже возникнет необходимость, диктующая применение источника твердого углеродного топлива.

Многие модификации и другие частные варианты выполнения изобретения по сравнению с приведенными в данном описании могут быть придуманы специалистом в данной области, которому данное описание предоставляет преимущества, заключающиеся в изложенных в нем идеях и сопровождающих чертежах. Например, в некоторых частных вариантах выполнения только часть общего потока транспирационной текучей среды/топлива 210, направляемого к внутреннему транспирационному элементу 332 и сквозь него в камеру 222 сгорания, может оказаться необходимой для обеспечения спирального потока транспирационной текучей среды в камере 222 сгорания. Например, в одном из вариантов приблизительно до 90% общего массового потока транспирационной текучей среды 210, поступающей в камеру 222 сгорания, могут использоваться для обеспечения или наведения спирального потока, в то же время поддерживая достаточный радиальный поток транспирационной текучей среды 210 в камеру 222 сгорания, предотвращающий столкновение твердых или жидких частиц, а также загрязняющих примесей со стенками внутреннего транспирационного элемента 332, ограничивающего камеру 222 сгорания.

Кроме того, в некоторых частных вариантах установка 220 камеры сгорания может быть выполнена и скомпонована как устройство частичного окисления, например, при использовании суспензии твердого топлива (то есть угля). В таких случаях установка 220 камеры сгорания с частичным окислением может быть выполнена с возможностью работы при температуре, например, приблизительно до 1600°C или в других случаях при температуре, лежащей в диапазоне приблизительно от 1400 до 1500°C, причем выгорание углерода в топливе должно быть ниже приблизительно 2% и предпочтительно ниже 1%. В этих примерах относительно низкая рабочая температура способствует получению H_2 и CO за счет сведения к минимуму их сжигания, способствуя в то же время относительно высокой скорости преобразования и выделению пригодного для использования тепла.

В других частных вариантах установка 220 камеры сгорания может быть выполнена с возможностью действия при относительно высокой выходной температуре, составляющей приблизительно 5000°C или более, что может быть связано, например, с температурой адиабатического пламени или другой температурой, достаточной для того, чтобы содействовать диссоциации получаемых газов. Например, CO_2 диссоциирует при температуре, значительно превышающей приблизительно 1600°C.

В других частных вариантах выполнения узел 300 форсунки может быть выполнен и скомпонован так, чтобы не было предварительного смешивания углеродного топлива и диффузных компонент CO_2 выше форсунки по потоку. Кроме того, O_2 может также вводиться у головки форсунки, например, через

отдельную группу сопел или через кольцеобразный паз, охватывающий распылительное сопло(а). В таких случаях может быть создано диффузное пламя от углеродного топлива с высоким содержанием H_2 . Для достижения высоких температур вблизи узла 300 форсунки может также потребоваться предварительный нагрев топлива, кислорода и(или) разбавителей.

Поэтому должно быть понятно, что изобретение не ограничено конкретными приведенными частными вариантами выполнения и модификациями, и в объем изобретения, определяемый приложенной формулой изобретения, должны быть включены другие частные варианты выполнения. Хотя в данном описании использованы специфические термины, они используются исключительно в общепринятом и описательном смысле, а не в целях внесения ограничений.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка для сжигания углеродсодержащего топлива, содержащая устройство камеры сгорания, формирующее камеру сгорания, имеющую входную часть, разнесенную в продольном направлении от противолежащей выходной части и выполненную с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела для формирования топливной смеси для сжигания ее в камере сгорания при температуре горения с образованием продуктов горения, причем камера сгорания выполнена также с возможностью направления продуктов горения в продольном направлении к выходной части, и при этом устройство камеры сгорания содержит

элемент защитной оболочки высокого давления;

пористый расположенный по периметру транспирационный элемент, по меньшей мере, частично ограничивающий камеру сгорания и, по меньшей мере, частично охваченный элементом защитной оболочки высокого давления, причем вокруг периметра и вдоль длины пористого транспирационного элемента выполнено множество пор, проходящих через пористый транспирационный элемент изогнутыми или наклонными с возможностью направления сквозь него потока транспирационной субстанции к камере сгорания и внутрь нее, в основном равномерно по его периметру, так чтобы поток транспирационной субстанции направлялся в основном по касательной к периметру пористого транспирационного элемента и по винтовой линии вокруг его периметра и в продольном направлении между входной частью и выходной частью, препятствуя взаимодействию между продуктами горения и пористым транспирационным элементом;

узел форсунки, выполненный с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела и подачи топливной смеси в камеру сгорания по направлению к выходной части в винтовом потоке, направление которого противоположно винтовому потоку транспирационной субстанции; и

источник текучей среды, непосредственно сообщающийся с входной частью камеры сгорания и с транспирационным элементом и выполненный с возможностью подачи сверхкритического диоксида углерода к входной части камеры сгорания в качестве рабочего тела и к транспирационному элементу в качестве транспирационной субстанции.

2. Установка по п.1, в которой входная часть выполнена с возможностью приема одного из группы, включающей твердое углеродсодержащее топливо, жидкое углеродсодержащее топливо и газообразное углеродсодержащее топливо, с кислородом, имеющим молярную долю больше приблизительно 85%, и рабочим телом.

3. Установка по п.1, в которой входная часть выполнена с возможностью приема суспензии, содержащей приблизительно от 25 до 95 мас.% сыпучего твердого углеродсодержащего топлива, имеющего средний размер частиц приблизительно между 50 и 200 мкм, и псевдоожижающую субстанцию, содержащую воду или жидкий CO_2 с плотностью приблизительно от 450 до 1100 кг/м³.

4. Установка по п.1, в которой камера сгорания выполнена с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела в области ее входной части под давлением приблизительно от 40 до 500 бар.

5. Установка по п.4, в которой камера сгорания выполнена с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела в области ее входной части под давлением по меньшей мере приблизительно 80 бар.

6. Установка по п.1, в которой камера сгорания выполнена с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела в области ее входной части при температуре горения приблизительно от 1300 до 5000°C, так чтобы негорючие загрязняющие примеси, содержащиеся в углеродсодержащем топливе, переходили в жидкое состояние в продуктах горения.

7. Установка по п.1, в которой пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью направления потока транспирационной субстанции через множество пор в камеру сгорания, так чтобы поток транспирационной субстанции поддерживал выходную смесь, включающую транспирационную субстанцию и продукты горения, вблизи выходной части камеры сгорания при температуре от приблизительно 400 до приблизительно 3500°C.

8. Установка по п.7, в которой пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью направления потока транспирационной субстанции через множество пор в камеру сгорания, так чтобы по-

ток транспирационной субстанции через множество пор создавал в камере сгорания непосредственно вблизи пористого транспирационного элемента буферный слой для предотвращения взаимодействия между пористым транспирационным элементом и сжиженными негорючими загрязняющими примесями, а также теплом, сопутствующим продуктам горения.

9. Установка по п.1, в которой множество пор пористого транспирационного элемента выполнены изогнутыми или наклонными относительно внутренней поверхности пористого транспирационного элемента с возможностью создания эффекта Коанда в потоке транспирационной субстанции, направляемой сквозь него в камеру сгорания, так чтобы поток транспирационной субстанции направлялся в основном по касательной к внутренней поверхности пористого транспирационного элемента.

10. Установка по п.1, в которой пористый транспирационный элемент включает по меньшей мере один проходящий сквозь него транспирационный канал, выполненный с возможностью направления добавочного прямолинейного потока транспирационной субстанции в топливную смесь, или продукты горения, так чтобы воздействовать на параметры их потоков.

11. Установка по п.1, содержащая средство теплоотвода, связанное с элементом защитной оболочки высокого давления и выполненное с возможностью регулирования его температуры, причем средство теплоотвода содержит теплообменную рубашку с циркулирующей в ней жидкостью.

12. Установка по п.1, в которой совокупная площадь пор, сформированная пористым транспирационным элементом, по существу, равна площади его поверхности.

13. Установка по п.12, в которой поры разнесены друг от друга и распределены в основном равномерно по пористому транспирационному элементу между его входной и выходной частями.

14. Установка по п.1, содержащая устройство преобразования, выполненное с возможностью приема продуктов горения из выходной части камеры сгорания и обеспечивающее преобразование энергии, заключенной в продуктах горения, в кинетическую энергию.

15. Установка по п.13, в которой углеродсодержащее топливо представляет собой твердое топливо и которая содержит разделительное устройство, расположенное между устройством камеры сгорания и устройством преобразования и выполненное с возможностью существенного удаления сжиженных негорючих загрязняющих примесей из принимаемых им продуктов горения до их направления в устройство преобразования.

16. Установка по п.15, в которой пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью направления потока транспирационной субстанции через множество пор, им образуемых, так что поток транспирационной субстанции поддерживает смесь транспирационной субстанции и продуктов горения, поступающих в устройство преобразования, при температуре выше температуры перехода в жидкое состояние негорючих загрязняющих примесей.

17. Установка по п.16, содержащая средство подачи транспирационной субстанции, размещенное за разделительным устройством и выполненное с возможностью введения транспирационной субстанции в продукты горения, из которых в основном удалены негорючие загрязняющие примеси, так чтобы поддерживать смесь транспирационной субстанции и продуктов горения, поступающей в устройство преобразования, при температуре от приблизительно 400 до приблизительно 3500°C.

18. Установка по п.1, в которой разделительное устройство содержит группу последовательно установленных устройств центробежного сепаратора, каждое из которых включает группу элементов центробежного разделения, при работе установленных параллельно, так что сжиженные негорючие загрязняющие примеси, удаленные из продуктов горения разделительным устройством, с возможностью извлечения собираются в отстойнике, соединенном с разделительным устройством.

19. Установка по п.14, в которой устройство преобразования содержит блок турбины, обеспечивающий преобразование энергии поступающих в него продуктов горения в кинетическую энергию, или генераторный блок, выполненный с возможностью преобразования кинетической энергии в электричество.

20. Установка для сжигания углеродсодержащего топлива, содержащая устройство камеры сгорания, формирующее камеру сгорания, имеющую входную часть, разнесенную в продольном направлении от противоположащей выходной части и выполненную с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела для формирования топливной смеси для сжигания ее в камере сгорания при температуре горения с образованием продуктов горения, причем камера сгорания выполнена также с возможностью направления продуктов горения в продольном направлении к выходной части, и при этом устройство камеры сгорания содержит

элемент защитной оболочки высокого давления;

пористый расположенный по периметру транспирационный элемент, по меньшей мере, частично ограничивающий камеру сгорания и, по меньшей мере, частично охваченный элементом защитной оболочки высокого давления, причем вокруг периметра и вдоль длины пористого транспирационного элемента выполнено множество пор, проходящих через пористый транспирационный элемент изогнутыми или наклонными с возможностью направления сквозь него потока транспирационной субстанции к камере сгорания и внутрь нее, в основном равномерно по его периметру, так чтобы поток транспирационной субстанции направлялся в основном по касательной к периметру пористого транспирационного эле-

мента и по винтовой линии вокруг его периметра и в продольном направлении между входной частью и выходной частью, препятствуя взаимодействию между продуктами горения и пористым транспирационным элементом;

узел форсунки, выполненный с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела и подачи в основном равномерного прямолинейного потока топливной смеси в камеру сгорания по направлению к выходной части, так что винтовой поток транспирационной субстанции вызывает завихрение топливной смеси в камере сгорания; и

источник текучей среды, непосредственно сообщающийся с входной частью камеры сгорания и с транспирационным элементом и выполненный с возможностью подачи сверхкритического диоксида углерода к входной части камеры сгорания в качестве рабочего тела и к транспирационному элементу в качестве транспирационной субстанции.

21. Установка по п.20, в которой камера сгорания содержит секцию горения, расположенную со стороны входной части, и секцию дожигания, расположенную со стороны выходной части, и при этом пористый транспирационный элемент выполнен так, чтобы винтовой поток транспирационной субстанции в секции дожигания был противоположен винтовому потоку транспирационной субстанции в секции горения, так чтобы направление наведенного завихрения продуктов горения в секции дожигания менялось на обратное по сравнению с направлением наведенного завихрения топливной смеси в секции горения.

22. Установка по п.20, в которой пористый транспирационный элемент выполнен так, чтобы винтовой поток транспирационной субстанции попеременно менял направление на обратное вдоль по меньшей мере части пористого транспирационного элемента, так чтобы между входной частью и выходной частью попеременно менялось направление наведенного завихрения топливной смеси или продуктов горения.

23. Установка по п.20, в которой входная часть выполнена с возможностью приема одного из группы, включающей твердое углеродсодержащее топливо, жидкое углеродсодержащее топливо и газообразное углеродсодержащее топливо, с кислородом, имеющим молярную долю больше приблизительно 85%, и рабочим телом.

24. Установка по п.20, в которой входная часть выполнена с возможностью приема суспензии, содержащей приблизительно от 25 до 95 мас.% сыпучего твердого углеродсодержащего топлива, имеющего средний размер частиц приблизительно между 50 и 200 мкм, и псевдоожигающей субстанции, содержащей воду или жидкий CO_2 с плотностью приблизительно от 450 до 1100 кг/м³.

25. Установка по п.20, в которой камера сгорания выполнена с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела в области ее входной части под давлением приблизительно от 40 до 500 бар.

26. Установка по п.25, в которой камера сгорания выполнена с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела в области ее входной части под давлением по меньшей мере приблизительно 80 бар.

27. Установка по п.25, в которой камера сгорания выполнена с возможностью приема углеродсодержащего топлива, кислорода и рабочего тела в области ее входной части при температуре горения приблизительно от 1300 до 5000°C, так чтобы негорючие загрязняющие примеси, содержащиеся в углеродсодержащем топливе, переходили в жидкое состояние в продуктах горения.

28. Установка по п.20, в которой пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью направления потока транспирационной субстанции через множество пор в камеру, так чтобы поток транспирационной субстанции поддерживал выходную смесь, включающую транспирационную субстанцию и продукты горения, вблизи выходной части камеры сгорания при температуре от приблизительно 400 до приблизительно 3500°C.

29. Установка по п.28, в которой пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью направления потока транспирационной субстанции через множество пор, так чтобы поток транспирационной субстанции через множество пор создавал в камере сгорания непосредственно вблизи пористого транспирационного элемента буферный слой для предотвращения взаимодействия между пористым транспирационным элементом и сжиженными негорючими загрязняющими примесями, а также теплом, сопутствующим продуктам горения.

30. Установка по п.20, в которой множество пор пористого транспирационного элемента выполнены изогнутыми или наклонными относительно внутренней поверхности пористого транспирационного элемента с возможностью создания эффекта Коанда в потоке транспирационной субстанции, направляемом сквозь него в камеру сгорания, так чтобы поток транспирационной субстанции направлялся в основном по касательной к внутренней поверхности пористого транспирационного элемента.

31. Установка по п.20, в которой пористый транспирационный элемент включает по меньшей мере один проходящий сквозь него транспирационный канал, выполненный с возможностью направления добавочного прямолинейного потока транспирационной субстанции в топливную смесь или продукты горения, так чтобы воздействовать на параметры их потоков.

32. Установка по п.20, содержащая средство теплоотвода, связанное с элементом защитной оболочки высокого давления и выполненное с возможностью регулирования его температуры, причем средство теплоотвода содержит теплообменную рубашку с циркулирующей в ней жидкостью.

33. Установка по п.20, в которой совокупная площадь пор, сформированная пористым транспирационным элементом, по существу, равна площади его поверхности.

34. Установка по п.33, в которой поры разнесены друг от друга и распределены в основном равномерно по пористому транспирационному элементу между его входной и выходной частями.

35. Установка по п.20, содержащая устройство преобразования, выполненное с возможностью приема продуктов горения из выходной части камеры сгорания и обеспечивающее преобразование энергии, заключенной в продуктах горения, в кинетическую энергию.

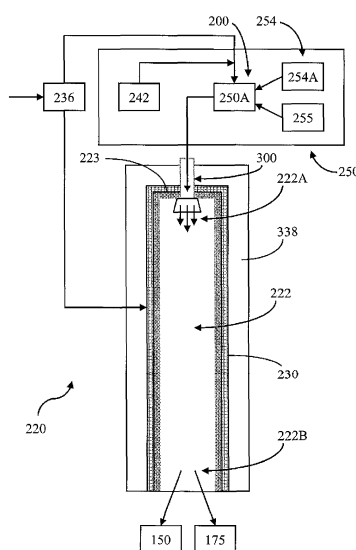
36. Установка по п.35, в которой углеродсодержащее топливо представляет собой твердое топливо и которая содержит разделительное устройство, расположенное между устройством камеры сгорания и устройством преобразования и выполненное с возможностью существенного удаления сжиженных негорючих загрязняющих примесей из принимаемых им продуктов горения до их направления в устройство преобразования.

37. Установка по п.36, в которой пористый транспирационный элемент выполнен с возможностью направления потока транспирационной субстанции через множество пор им образуемых, так чтобы поток транспирационной субстанции поддерживал смесь транспирационной субстанции и продуктов горения, поступающих в устройство преобразования, при температуре выше температуры перехода в жидкое состояние негорючих загрязняющих примесей.

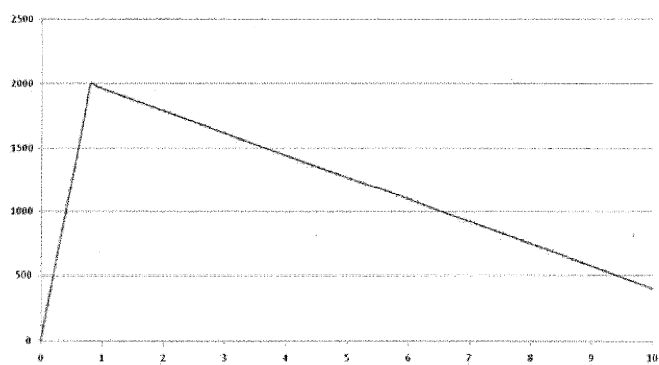
38. Установка по п.37, содержащая средство подачи транспирационной субстанции, размещенное за разделительным устройством и выполненное с возможностью введения транспирационной субстанции в продукты горения, из которых в основном удалены негорючие загрязняющие примеси, так чтобы поддерживать смесь транспирационной субстанции и продуктов горения, поступающей в устройство преобразования, при температуре от приблизительно 400 до приблизительно 3500°C.

39. Установка по п.36, в которой разделительное устройство содержит группу последовательно установленных устройств центробежного сепаратора, каждое из которых включает группу элементов центробежного разделения, при работе установленных параллельно, так что сжиженные негорючие загрязняющие примеси, удаленные из продуктов горения разделительным устройством, с возможностью извлечения собираются в отстойнике, соединенном с разделительным устройством.

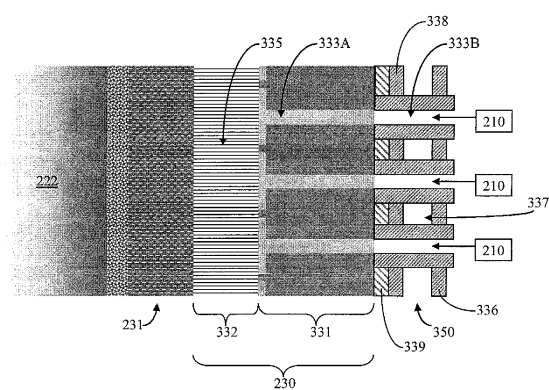
40. Установка по п.36, в которой устройство преобразования содержит блок турбины, обеспечивающий преобразование энергии поступающих в него продуктов горения в кинетическую энергию, или генераторный блок, выполненный с возможностью преобразования кинетической энергии в электричество.



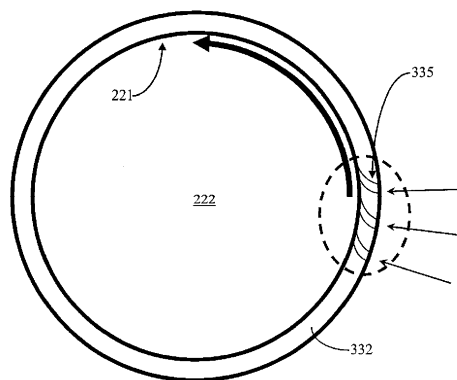
Фиг. 1



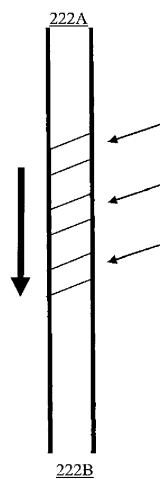
Фиг. 1А



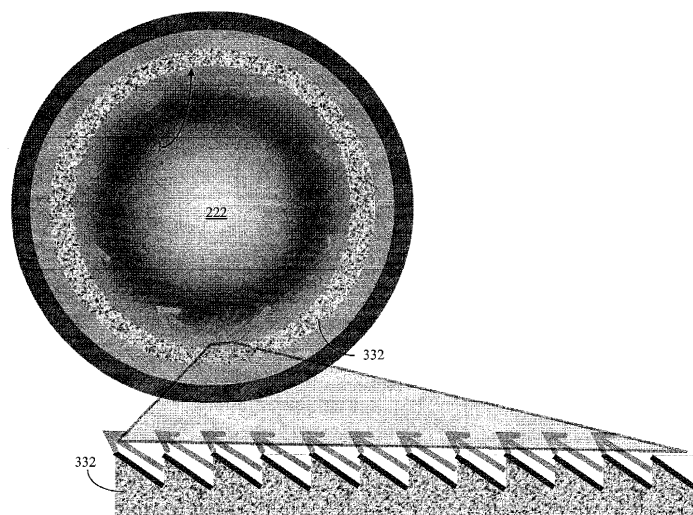
Фиг. 2



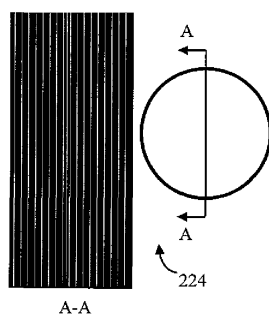
Фиг. 2А



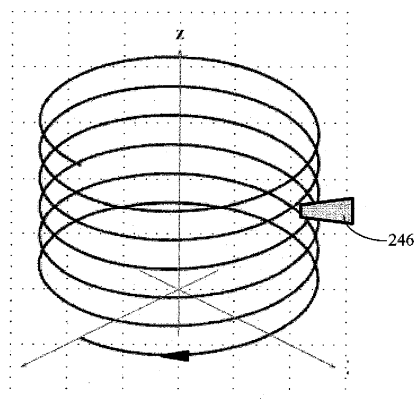
Фиг. 2Б



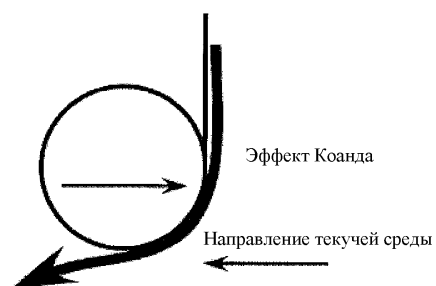
Фиг. 2В



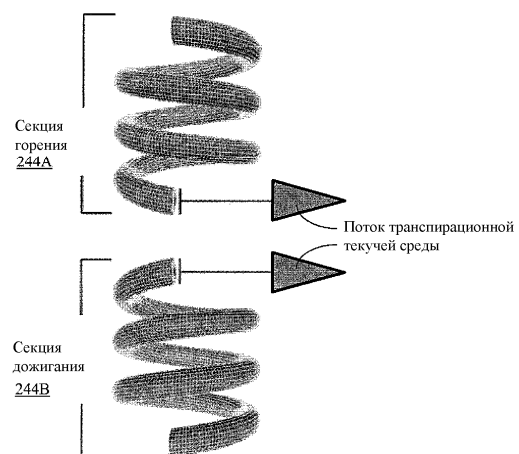
Фиг. 2Г



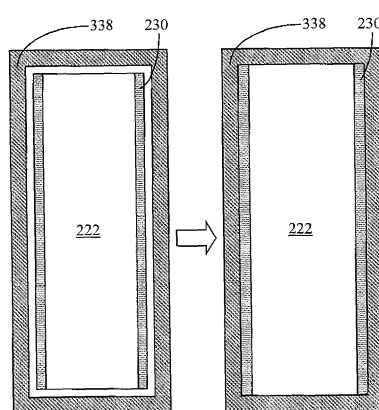
Фиг. 2Д



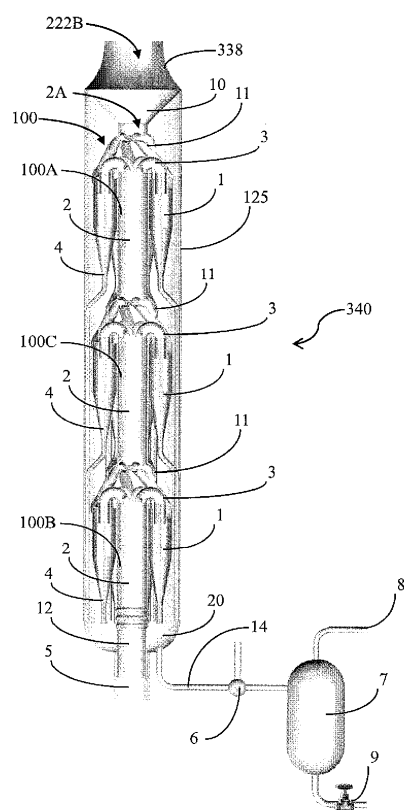
Фиг. 2Е



Фиг. 2Ж

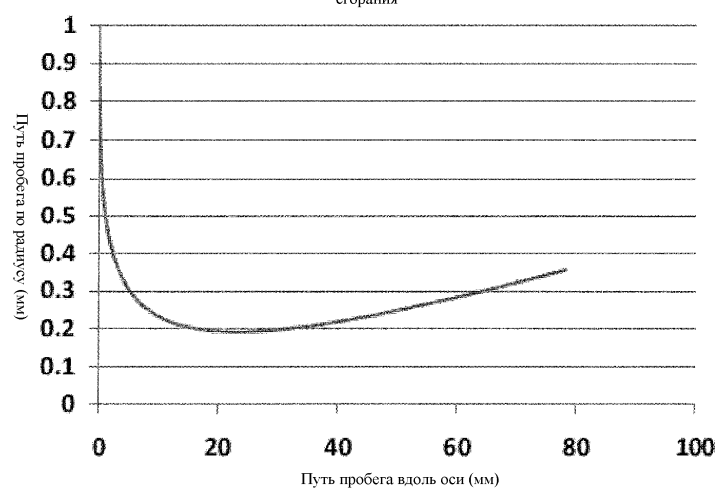


Фиг. 3А, Фиг. 3Б

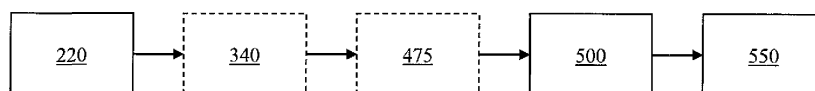


Фиг. 4

Траектория шлакового включения размером 50 мкм при 100% транспирационном потоке; начальная скорость включения 50 м/с перпендикулярна стенке камеры сгорания



Фиг. 5



Фиг. 6



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2