

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045250**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.11.07**

(51) Int. Cl. **F01K 25/10** (2006.01)  
**F02C 3/34** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202291211**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.10.22**

---

(54) **СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ СИСТЕМ И СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ**

---

(31) **62/924,525**

(56) US-A1-2012036860  
US-A1-2002043064  
US-A1-2019271266

(32) **2019.10.22**

(33) **US**

(43) **2022.08.29**

(86) **PCT/IB2020/059956**

(87) **WO 2021/079324 2021.04.29**

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

(72) Изобретатель:  
**Форрест Брок Алан, Лу Сицзя,  
Фетведт Джереми Эрон, Рафати  
Навид (US)**

(74) Представитель:  
**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)**

---

(57) В настоящем изобретении описаны системы и способы управления энергетической установкой и опционально обеспечения одного или нескольких потоков продуктов для их конечного использования. Управление энергетической установкой, в частности, может включать осуществление одной или нескольких функций для регулирования теплового профиля теплообменника, работающего с группой проходящих через него потоков. Это может включать осуществление функции управления, которая изменяет расход одного или нескольких потоков из группы потоков путем добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или для отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков при температуре, величина которой находится в интервале промежуточных температур внутри ТОА в точке, расположенной между первым концом ТОА и вторым концом ТОА.

---

**045250**  
**B1**

**045250**  
**B1**

### **Область техники**

Настоящее изобретение относится к системам и способам управления и более конкретно к системам и способам управления, которые могут быть интегрированы в системы и способы производства энергии. Системы и способы управления могут быть реализованы в частности для регулирования тепловых потоков, входящих в систему производства энергии и выходящих из нее.

### **Уровень техники**

Существует множество систем и способов сжигания ископаемых топлив с целью производства электрической энергии. Хотя постоянно ведутся работы в области альтернативных средств производства энергии, однако факторы стоимости и доступности ископаемых топлив, особенно угля и природного газа, а также отходов переработки углеводородов, таких как остаточные продукты переработки нефти, обуславливают постоянную потребность в системах, сконфигурированных для сжигания таких топлив. Соответственно, существует растущая потребность в системах и способах, которые обеспечивают возможность высокоэффективного производства энергии с улавливанием всего выделяющегося углерода.

Способность обеспечивать производство энергии в результате сгорания ископаемых топлив с улавливанием всего выделяющегося углерода открывает возможность получения больших количеств углекислого газа в качестве ценного товарного продукта. Это соединение используется, например, в металлургической промышленности (например, для повышения твердости литейных форм), в производстве и строительстве (например, в качестве защитного газа при сварке порошковыми проволоками), в химической промышленности (например, в качестве исходного материала при производстве метанола и мочевины), в добыче нефти (например, в технологиях повышения нефтеотдачи), а также в пищевой промышленности (например, для насыщения углекислым газом, для использования в качестве охлаждающей среды, для извлечения кофеина из кофе, для отделения и очистки летучих ароматических веществ и концентратов душистых веществ и для холодной стерилизации в смеси с окисью этилена), причем перечислены лишь немногие области применения. В зависимости от применения в промышленности часто необходимо повышать давление углекислого газа и и/или нагревать его выше давления и температуры окружающей среды.

Обеспечение чистого CO<sub>2</sub> для вышеуказанных применений, а также и для других применений, обычно включает выделение CO<sub>2</sub> из смеси заводского газа, которая часто содержит другие соединения, такие как CO, H<sub>2</sub>, сера и им подобные. Конечно, в этом случае требуется выполнить ряд процессов очистки. Требования к процессам очистки, а также необходимость обеспечения CO<sub>2</sub> с требуемым давлением и/или с требуемой температурой может потребовать приобретения специализированного нагревательного, компрессорного и очистного оборудования, что приводит к высоким капитальным расходам и к большому потреблению энергии.

Кроме вышеизложенного, процессы производства энергии обычно проектируются и реализуются для утилизации и получения больших количеств тепловой энергии. Эта тепловая энергия может использоваться непосредственно в производстве энергии или может обеспечиваться для других применений. Таким образом, существует потребность в средствах управления процессами производства энергии, так чтобы могли быть обеспечены режимы теплопередачи и получены потоки различных продуктов, таких как углекислый газ, которые могут быть выведены для дальнейшего использования.

### **Сущность изобретения**

В одном или в нескольких вариантах осуществления изобретения могут обеспечиваться системы и способы, которые могут быть использованы для управления одним или несколькими аспектами работы системы производства энергии. В частности, системы управления могут обеспечивать управление одним или несколькими параметрами из давления, температуры, расхода и состава одного или нескольких потоков в системе производства энергии. Системы управления могут обеспечивать оптимальную эффективность работы системы производства энергии. Системы управления могут также обеспечивать управление аспектами работы системы производства энергии, такими как запуск системы, выключение системы, изменение потоков на входе системы, изменение потоков на выходе системы, обработка чрезвычайных ситуаций в работе системы и любыми аналогичными аспектами, относящимися к работе системы производства энергии. В некоторых вариантах системы управления могут быть в особенности адаптированы или сконфигурированы для обеспечения регулирования тепловых потоков, входящих в системы производства энергии и выходящих из них. Например, тепловые потоки могут быть материализованы в теплообменных текучих средах и/или путем прохождения отдельного потока в системе производства энергии через теплообменник для теплообмена с выделенным потоком в другой системе.

Настоящее изобретение более конкретно относится к выводу CO<sub>2</sub> из цикла производства энергии для отправки потребителям, так что CO<sub>2</sub> может быть использован в различных применениях без необходимости его нагрева и/или повышения давления на месте его применения. В патенте US 8596075, выданном Allam и др., содержание которого вводится ссылкой в настоящую заявку, описывается высокоэффективный цикл производства энергии, в котором сжигание топлива в присутствии кислорода осуществляют с использованием потока рециркулируемого CO<sub>2</sub>, причем по меньшей мере часть CO<sub>2</sub> может быть отобрана в форме сравнительно чистого потока. В связи с характером цикла, в котором газообразные продукты сгорания и рециркулируемый CO<sub>2</sub> могут обеспечиваться с разными давлениями и температу-

рами, такие системы и способы могут быть сконфигурированы в соответствии с настоящим изобретением для вывода по существу чистого  $\text{CO}_2$  в широком диапазоне давлений и/или температур для отправки потребителям.

Таким образом, в одном или в нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения обеспечиваются системы и способы, в которых  $\text{CO}_2$ , возникающий в цикле производства энергии, используемом  $\text{CO}_2$  в качестве рабочей текучей среды, может быть отобран в качестве конечного продукта и отправлен непосредственно для дальнейшего использования материала ниже по потоку. Например, системы и способы по настоящему изобретению могут обеспечивать возможность отправки  $\text{CO}_2$  в качестве химического сырья и/или теплообменной текучей среды с различными температурами и давлениями для использования в эндотермических производственных процессах ниже по потоку.

Системы и способы, раскрытые здесь в некоторых вариантах, выгодны тем, что для передачи во внешний процесс может обеспечиваться низкотемпературное тепло. Это может быть осуществлено в одном из иллюстративных вариантов путем эффективного использования  $\text{CO}_2$ , полученного в результате сжигания топлива, в качестве теплоносителя. Более того, в настоящем изобретении обеспечивается управление динамическим диапазоном установкой (а именно, стабильностью работы и работоспособностью турбины) путем передачи низкотемпературного тепла вместе с изменениями расхода потока через компрессор горячего газа системы производства энергии, из которой получают  $\text{CO}_2$ . В этом случае на основе цикла производства энергии, использующего  $\text{CO}_2$  в качестве рабочей текучей среды, можно частично или полностью исключить необходимость сжигания топлива независимо от самого цикла производства энергии. В этом случае максимальная температура может быть ограничена качеством и количеством всего тепла, которое может быть отобрано из группы рекуперативного теплообменника, используемого в цикле производства энергии, прежде чем компрессор горячего газа не сможет более компенсировать потери (то есть, поддерживать профиль теплообменника). Таким образом, системы и способы по настоящему изобретению могут обеспечивать реальные преимущества по сравнению с другими возможными промышленными источниками  $\text{CO}_2$ , такими как системы, в которых тепло сжатия  $\text{CO}_2$  утилизируется для содействия в генерации пара, который используется для извлечения  $\text{CO}_2$  из регенерационных колонн. В таких менее желательных альтернативных вариантах процесс утилизации тепла представляет собой дополнение, независимое от непосредственных операций по производству энергии, и поэтому не может обеспечить многие из достоинств раскрытых здесь систем и способов. В этом случае известные системы и способы не предусматривают использование  $\text{CO}_2$ , возникающего в результате сжигания топлива и отбираемого из цикла производства энергии со сверхкритическим  $\text{CO}_2$ , а также не предполагают обеспечение внешней тепловой энергии для химических процессов путем использования  $\text{CO}_2$  в качестве транспортноразносителя.

В одном или в нескольких вариантах осуществления изобретения может обеспечиваться способ обеспечения потока  $\text{CO}_2$  для конечного пользователя.

Например, такой способ может включать: сжигание топлива для формирования потока продуктов сгорания, содержащих  $\text{CO}_2$ ; генерацию энергии; удаление одного или нескольких загрязняющих веществ из потока продуктов сгорания для обеспечения по существу чистого потока  $\text{CO}_2$ ; и отправки по существу чистого потока  $\text{CO}_2$ , давление и/или температура которого превышают характеристики окружающей среды. В частности, величина давления отправляемого  $\text{CO}_2$  может быть примерно 2 бара или выше, примерно 5 бар или выше, примерно 10 бар или выше, примерно 25 бара или выше, примерно 50 бар или выше, или примерно 100 бар или выше (указанные величины имеют верхний предел в соответствии с предельными давлениями, указанными для оборудования, необходимого для сжатия  $\text{CO}_2$ , и оборудования, используемого для транспортировки  $\text{CO}_2$ ). В некоторых вариантах величина давления может быть от примерно 2 бар до примерно 500 бар, от примерно 10 бар до примерно 490 бар, от примерно 25 бар до примерно 480 бар, от примерно 50 бар до примерно 475 бар, от примерно 75 бар до примерно 450 бар или от примерно 100 бар до примерно 400 бар. Температура отправляемого  $\text{CO}_2$  может быть примерно  $35^\circ\text{C}$  или выше, примерно  $40^\circ\text{C}$  или выше, примерно  $50^\circ\text{C}$  или выше, примерно  $75^\circ\text{C}$  или выше, или примерно  $100^\circ\text{C}$  или выше (указанные величины имеют верхний предел в соответствии с ограничениями по температуре оборудования, необходимого для обработки  $\text{CO}_2$ ). В некоторых вариантах температура может быть от примерно  $35^\circ\text{C}$  до примерно  $500^\circ\text{C}$ , от примерно  $40^\circ\text{C}$  до примерно  $450^\circ\text{C}$ , от примерно  $50^\circ\text{C}$  до примерно  $400^\circ\text{C}$  или от примерно  $60^\circ\text{C}$  до примерно  $350^\circ\text{C}$ .

В одном или в нескольких вариантах настоящее изобретение может относиться к системе управления, подходящей для использования в энергетической установке. Например, энергетическая установка может быть установкой, в которой осуществляется сжигание топлива по существу в чистом кислороде в камере сгорания при давлении примерно 12 МПа или выше с дополнительным циркулирующим потоком  $\text{CO}_2$  для получения потока смеси продуктов сгорания и циркулирующего  $\text{CO}_2$ . В других вариантах производство энергии может быть также охарактеризовано в отношении одного или нескольких следующих положений, которые могут быть объединены в любом количестве и в любом порядке.

Объединенный поток может быть пропущен через турбину, производящую энергию, с давлением на выходе по меньшей мере 10 бар. Выхлопной поток турбины может быть охлажден в теплообменнике, использующем тепло отходящих газов для предварительного нагрева потока циркулирующего  $\text{CO}_2$ . Вы-

хлопной поток турбины может быть охлажден почти до температуры окружающей среды, и при этом может быть отделена сконденсированная вода. Давление потока газообразного  $\text{CO}_2$  может быть повышено до давления на входе турбины или почти до этого давления с помощью газового компрессора, после чего с помощью насоса плотного  $\text{CO}_2$  формируется поток циркулирующего  $\text{CO}_2$ . Суммарный  $\text{CO}_2$ , произведенный в камере сгорания, может быть выведен с любым давлением, величина которого находится между величинами давления на входе и выходе турбины. Может вводиться тепло внешнего источника для предварительного нагрева части потока циркулирующего  $\text{CO}_2$  до температуры в диапазоне от 200 до 400°C, чтобы уменьшить разницу температур выхлопного потока турбины и потока циркулирующего  $\text{CO}_2$ , выходящего из теплообменника, использующего тепло отходящих газов, до примерно 50°C или менее. Может осуществляться управление расходом топлива для обеспечения турбиной требуемой выходной мощности. Управление температурой на выходе турбины может обеспечиваться скоростью работы насоса  $\text{CO}_2$ . Управление давлением на выходе компрессора  $\text{CO}_2$  может осуществляться путем рециркуляции потока сжатого  $\text{CO}_2$  на вход компрессора. Расход суммарного  $\text{CO}_2$ , получаемого в результате сгорания топливного газа и выводимого из системы, может использоваться для управления давлением на входе компрессора  $\text{CO}_2$ . Управление разницей между температурой выхлопного потока турбины, поступающего в теплообменник, использующий тепло отходящих газов, и температурой потока циркулирующего  $\text{CO}_2$ , выходящего из этого теплообменника, может осуществляться таким образом, чтобы она была равна 50°C или менее, путем управления расходом части потока циркулирующего  $\text{CO}_2$ , который нагревается дополнительным источником тепла. Управление расходом суммарной жидкой воды и загрязнениями, возникшими в результате сгорания топлива и удаленными из системы, может осуществляться с использованием уровня в устройстве отделения жидкой воды. Управление расходом кислорода может осуществляться для поддержания отношения расхода кислорода к расходу топливного газа, что может обеспечивать в результате заданный избыток кислорода во входном потоке турбины для полного сгорания топливного газа и окисления его компонентов. Поток кислорода с давлением на уровне давления на входе компрессора  $\text{CO}_2$  может быть смешан с некоторым количеством  $\text{CO}_2$  со входа компрессора  $\text{CO}_2$  для получения потока окислителя с содержанием кислорода от примерно 15% до примерно 40% (молярн. %), что может понизить адиабатическую температуру пламени в камере сгорания. Управление расходом окислителя, необходимым для обеспечения требуемого отношения кислорода к топливному газу, может обеспечиваться скоростью работы насоса окислителя. Управление давлением на выходе компрессора окислителя может осуществляться путем рециркуляции потока сжатого окислителя на вход компрессора. Управление давлением на входе компрессора окислителя может осуществляться расходом разбавляющего  $\text{CO}_2$ , смешанного с кислородом, в результате чего формируется поток окислителя. Управление отношением кислорода к  $\text{CO}_2$  в потоке окислителя может осуществляться расходом кислорода. Кислород может быть подан в систему производства энергии под давлением, которое по меньшей мере равно давлению на входе турбины, причем желательно, чтобы при этом поток окислителя содержал кислород в концентрации от примерно 15% до примерно 40% (молярн.%). Управление отношением кислорода к топливному газу может осуществляться расходом кислорода. Управление отношением кислорода к  $\text{CO}_2$  в потоке окислителя может осуществляться расходом разбавляющего  $\text{CO}_2$ , отобранного с выхода компрессора  $\text{CO}_2$ .

В одном или в нескольких вариантах настоящее изобретение может обеспечить системы производства энергии, включающие интегрированную систему управления, которая может быть сконфигурирована для автоматизированного управления по меньшей мере одним компонентом системы производства энергии. В частности, система управления может включать по меньшей мере один контроллер, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к измеренному параметру системы производства энергии, и сконфигурированный для передачи выходного сигнала по меньшей мере в один компонент системы производства энергии, в отношении которого должно осуществляться автоматизированное управление.

Система производства энергии и интегрированная система управления могут быть также определены в отношении одного или нескольких следующих положений, которые могут быть объединены в любом количестве и в любом порядке. Интегрированная система управления может включать контроллер мощности, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к энергии, производимой одним или несколькими компонентами, производящими энергию, системы производств энергии. Контроллер мощности может быть сконфигурирован для (выполнен с возможностью) выполнения одного или обоих из следующих требований: обеспечивать выходной сигнал, передаваемый в нагреватель системы производства энергии для увеличения или уменьшения выработки тепла нагревателем; обеспечивать выходной сигнал, передаваемый в трубопроводную арматуру топлива, для увеличения или уменьшения подачи топлива в систему производства энергии. Интегрированная система управления может включать контроллер отношения топливо/окислитель, сконфигурированный для приема одного или обоих из входного сигнала, относящегося к расходу топлива, и входного сигнала, относящегося к расходу окислителя. Контроллер отношения топливо/окислитель может быть сконфигурирован для выполнения одного или обоих из следующих требований: обеспечивать выходной сигнал, передаваемый в трубопроводную арматуру топлива, для увеличения или уменьшения подачи топлива в систему производства

энергии; обеспечивать выходной сигнал, передаваемый в трубопроводную арматуру окислителя, для увеличения или уменьшения подачи окислителя в систему производства энергии. Интегрированная система управления может включать контроллер насоса, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока турбины в системе производства энергии и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в насос, расположенный выше турбины по потоку, для увеличения или уменьшения расхода потока, выходящего из насоса. Интегрированная система управления может включать контроллер давления на стороне всасывания насоса, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к давлению текучей среды выше насоса по потоку в системе производства энергии, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру рециркуляции, которая расположена выше насоса по потоку. Контроллер давления на стороне всасывания насоса может быть сконфигурирован для выполнения одного или обоих из следующих требований: обеспечивать рециркуляцию большего или меньшего количества текучей среды в точку, которая расположена выше по потоку трубопроводной арматуры рециркуляции; обеспечивать вывод из системы производства энергии большего или меньшего количества текучей среды выше насоса по потоку. Интегрированная система управления может включать контроллер регулирования давления, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к давлению выхлопного потока турбины в системе производства энергии, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в выходную трубопроводную арматуру текучей среды, для обеспечения возможности выхода текучей среды из выхлопного потока и опционально для обеспечения выходного сигнала, передаваемого во входную трубопроводную арматуру текучей среды, для обеспечения возможности поступления текучей среды в выхлопной поток. Интегрированная система управления может включать контроллер водоотделителя, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к количеству воды в водоотделителе системы производства энергии, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру удаления воды, для обеспечения или прекращения возможности удаления воды из водоотделителя и поддержания заданного количества воды в водоотделителе. Интегрированная система управления может включать контроллер насоса окислителя, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к одному или к обоим из массового расхода топлива и массового расхода окислителя в системе производства энергии и вычисления отношения массовых расходов топлива и окислителя. Контроллер насоса окислителя может быть сконфигурирован для обеспечения выходного сигнала, передаваемого в насос окислителя, для изменения потребляемой мощности насоса таким образом, чтобы воздействовать на отношение массовых расходов топлива и окислителя в системе производства энергии. Интегрированная система управления может включать контроллер давления окислителя, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к давлению потока окислителя ниже компрессора окислителя по потоку, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в перепускную трубопроводную арматуру окислителя, для обеспечения обхода компрессора большим или меньшим количеством окислителя. Интегрированная система управления может включать контроллер давления окислителя, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к давлению потока окислителя выше компрессора окислителя по потоку, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру рециркулируемой текучей среды, для обеспечения добавления большего или меньшего количества рециркулируемой текучей среды из системы производства энергии к потоку окислителя выше компрессора окислителя по потоку. В частности, рециркулируемой текучей средой может быть поток по существу чистого  $\text{CO}_2$ . Интегрированная система управления может включать контроллер разбавления, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к одному или к обоим из массового расхода окислителя и массового расхода потока разбавителя окислителя и вычисления отношения массовых расходов окислителя и разбавителя окислителя. Контроллер разбавления может быть сконфигурирован для обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру ввода окислителя для обеспечения подачи большего или меньшего количества окислителя в систему производства энергии таким образом, чтобы отношение массовых расходов окислителя и разбавителя окислителя находилось в заданном диапазоне.

Интегрированная система управления может включать контроллер давления на стороне всасывания компрессора, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к давлению текучей среды выше компрессора по потоку в системе производства энергии, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру рециркуляции, которая расположена ниже компрессора по потоку и которая обеспечивает рециркуляцию большего или меньшего количества текучей среды в точку, которая находится выше компрессора по потоку. Интегрированная система управления может включать контроллер скорости работы насоса, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к давлению на стороне всасывания насоса выше насоса по потоку, и для обеспечения выходного сигнала, передаваемого в насос для увеличения или уменьшения скорости работы насоса. Интегрированная система управления может включать контроллер тепла бокового потока, сконфигурированный для приема входного сигнала, относящегося к вычисленному необходимому расходу для бокового потока рециркулируемого потока высокого давления в системе производства энергии, и для обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру бокового потока для увеличения или уменьшения количества рециркулируемого потока высокого давления в боковом потоке.

Система производства энергии может содержать: турбину; компрессор, расположенный ниже турбины по потоку и сообщающийся с турбиной по текучей среде; насос, расположенный ниже компрессора по потоку и сообщающийся с компрессором по текучей среде; и нагреватель, расположенный ниже насоса по потоку, сообщающийся с насосом по текучей среде, а также расположенный выше турбины по потоку и сообщающийся с турбиной по текучей среде. Система производства энергии может опционально включать рекуперативный теплообменник.

В одном или в нескольких вариантах осуществления изобретения могут обеспечиваться способы автоматизированного управления системой производства энергии. В частности, способ может включать осуществление работы системы производства энергии, содержащей группу компонентов, которая включает: турбину; компрессор, расположенный ниже турбины по потоку и сообщающийся с турбиной по текучей среде; насос, расположенный ниже компрессора по потоку и сообщающийся с компрессором по текучей среде; и нагреватель, расположенный ниже насоса по потоку, сообщающийся с насосом по текучей среде, а также расположенный выше турбины по потоку и сообщающийся с турбиной по текучей среде. Кроме того, осуществление работы системы производства энергии может включать использование одного или нескольких контроллеров, интегрированных в систему производства энергии для приема входного сигнала, относящегося к измеренному параметру системы производства энергии, и обеспечения выходного сигнала, который обеспечивает управление в автоматическом режиме по меньшей мере одним из группы компонентов системы производства энергии.

В других вариантах способы могут быть определены в отношении одного или нескольких следующих шагов, которые могут быть объединены в любом количестве и любом порядке. Выходной сигнал может формироваться на основе запрограммированного алгоритма управления, реализованного на вычислительных средствах. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к мощности, вырабатываемой системой производства энергии, и указания на выполнение одного или обоих из следующих действий: обеспечение выходного сигнала, передаваемого в нагреватель для увеличения или уменьшения выработки тепла нагревателем; обеспечение выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру топлива системы производства энергии для обеспечения возможности увеличения или уменьшения подачи топлива в систему производства энергии. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема одного или обоих из входного сигнала, относящегося к расходу топлива, и входного сигнала, относящегося к расходу окислителя, и указания на выполнение одного или обоих из следующих действий: обеспечение выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру топлива системы производства энергии для обеспечения возможности увеличения или уменьшения подачи топлива в систему производства энергии; обеспечение выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру окислителя системы производства энергии для обеспечения возможности увеличения или уменьшения подачи окислителя в систему производства энергии. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока турбины, и обеспечение выходного сигнала, передаваемого в насос, расположенный выше турбины по потоку, для увеличения или уменьшения расхода потока, выходящего из насоса. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению текучей среды на стороне всасывания насоса выше насоса по потоку и обеспечение выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру рециркуляции, которая расположена выше насоса по потоку. В частности, может выполняться одно или оба из следующих требований: контроллер обеспечивает рециркуляцию большего или меньшего количества текучей среды в точку, которая расположена выше трубопроводной арматуры рециркуляции по потоку; контроллер обеспечивает вывод из системы производства энергии большего или меньшего количества текучей среды выше насоса по потоку. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению выхлопного потока турбины, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в выходную трубопроводную арматуру текучей среды, для обеспечения возможности выхода текучей среды из выхлопного потока и опционально для обеспечения выходного сигнала, передаваемого во входную трубопроводную арматуру текучей среды, для обеспечения возможности поступления текучей среды в выхлопной поток. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к количеству воды в водоотделителе системы производства энергии, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру удаления воды, для обеспечения или прекращения возможности удаления воды из водоотделителя и поддержания заданного количества воды в водоотделителе. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к одному или к обоим из массового расхода топлива и массового расхода окислителя в системе производства энергии и вычисления отношения массовых расходов топлива и окислителя. В частности, контроллер может обеспечивать выходной сигнал, передаваемый в насос окислителя, для изменения мощности, потребляемой насосом, таким образом, чтобы воздействовать на отношение массовых расходов топлива и окислителя в системе производства энергии. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению потока окислителя ниже компрессора окислителя по потоку, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в перепускную трубопро-

водную арматуру окислителя, для обеспечения обхода компрессора большим или меньшим количеством окислителя. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению потока окислителя выше компрессора окислителя по потоку, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру рециркулируемой текучей среды, для обеспечения добавления большего или меньшего количества рециркулируемой среды к потоку окислителя выше компрессора окислителя по потоку. В частности, рециркулируемой текучей средой может быть поток по существу чистого  $\text{CO}_2$ . Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к одному или к обоим из массового расхода окислителя и массового расхода потока разбавителя окислителя и вычисления отношения массовых расходов окислителя и разбавителя окислителя. В частности, контроллер может быть сконфигурирован для обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру ввода окислителя для обеспечения подачи большего или меньшего количества окислителя в систему производства энергии таким образом, чтобы отношение массовых расходов окислителя и разбавителя окислителя находилось в заданном диапазоне. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению на стороне всасывания компрессора текучей среды выше компрессора по потоку, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру рециркуляции, которая расположена ниже компрессора по потоку и которая обеспечивает рециркуляцию большего или меньшего количества текучей среды в точку, которая находится выше компрессора по потоку. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению на стороне всасывания насоса выше насоса по потоку, и для обеспечения выходного сигнала, передаваемого в насос для увеличения или уменьшения скорости работы насоса. Осуществление работы может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к вычисленному необходимому расходу для бокового потока рециркуляционного потока высокого давления, и обеспечения выходного сигнала, передаваемого в трубопроводную арматуру бокового потока, для увеличения или уменьшения количества рециркулируемого потока высокого давления в боковом потоке. В некоторых вариантах способы управления для энергетической установки могут включать: регулирование теплового профиля теплообменного аппарата (ТОА), работающего с группой (несколькими) потоков, проходящих между первым концом ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом ТОА со второй, более низкой, рабочей температурой; причем регулирование включает осуществление функции управления, которая изменяет массовый расход одного или нескольких потоков из группы потоков путем добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков при температуре, величина которой находится в интервале промежуточных температур внутри ТОА в точке, которая находится между первым концом ТОА и вторым концом ТОА. Такие способы могут быть определены в отношении одного или нескольких следующих положений, которые могут быть объединены в любом количестве и в любом порядке.

Регулирование может включать обеспечение обхода частью нагретого потока, проходящего через ТОА, секции ТОА по перепускной линии, так что регулирование эффективно уменьшает массовый расход нагретого потока, проходящего через секцию ТОА, которая обходится.

Нагретый поток, проходящий через ТОА, может представлять собой нагретый выхлопной поток, выходящий из турбины, причем нагретый выхлопной поток турбины проходит от первого конца ТОА ко второму концу ТОА для обеспечения охлажденного выхлопного потока турбины, и затем охлажденный выхлопной поток турбины пропускают для обработки через один или через несколько устройств из разделительного устройства, компрессора и насоса.

Функция управления может включать обеспечение обхода частью нагретого потока, проходящего через ТОА, секции ТОА по перепускной линии, в ответ на один или оба из следующих сигналов, принятых контроллером: сигнал, указывающий на изменение потребляемой мощности, вызывающее изменение режима работы турбины, в результате чего изменяется генерация мощности энергетической установкой; и сигнал, указывающий на то, что температура внутри ТОА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОА.

Функция управления может включать открытие трубопроводной арматуры, расположенной в перепускной линии.

Часть нагретого потока, проходящего по перепускной линии, может быть объединена с охлажденным выхлопным потоком турбины ниже по потоку второго конца ТОА и выше по потоку одного или нескольких устройств из разделительного устройства, компрессора и насоса.

Способ может включать также обеспечение обработки части нагретого потока, проходящего по перепускной линии, в перепускном теплообменнике для передачи тепла от части нагретого потока в перепускной линии одному или нескольким другим потокам.

Регулирование может включать одно или оба из следующих действий: обеспечение прохождения части рециркулируемого потока, нагреваемого в ТОА, в выхлопной поток, охлаждаемый в ТОА, так что регулирование приводит к увеличению массового расхода выхлопного потока, проходящего через секцию ТОА; и обеспечение прохождения части потока окислителя, нагреваемого в ТОА, в выхлопной по-

ток, охлаждаемый в ТОА, так что регулирование приводит к увеличению массового расхода выхлопного потока, проходящего через секцию ТОА.

Функция управления может включать обеспечение прохождения соответствующей части рециркулируемого потока и потока окислителя в выхлопной поток в ответ на один или оба из следующих сигналов: сигнал, указывающий на изменение потребляемой мощности, вызывающее изменение режима работы турбины, в результате чего изменяется генерация мощности энергетической установкой; сигнал, указывающий на то, что температура внутри ТОА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОА. Энергетическая установка может содержать рециркуляционный компрессор, сконфигурированный для отбора части нагретого выхлопного потока турбины, проходящего через ТОА, повышения давления части отбираемого нагретого выхлопного потока турбины и соединения части нагретого выхлопного потока турбины, после повышения ее давления, в секции ТОА ниже по потоку.

Функция управления может включать закрытие направляющей заслонки на входе (IGV) рециркуляционного компрессора в ответ на сигнал о том, что температура внутри ТОА находится в пределах заданной пороговой величины относительно максимальной рабочей температуры ТОА.

Способ может включать также добавление тепла к одному или к нескольким потокам из группы потоков, проходящих между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, причем добавляют тепло, температура которого находится в диапазоне промежуточных температур внутри ТОА, в точке, находящейся между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, и тепло добавляют с использованием нагревателя, работающего независимо от ТОА.

Нагреватель может быть нагревателем, использующим тепло от сгорания топлива.

Тепло может быть добавлено в выхлопной поток турбины, проходящий через ТОА, и выхлопной поток нагревателя, использующего тепло от сгорания топлива, добавляют непосредственно в выхлопной поток турбины.

В других вариантах изобретение может в частности относиться к энергетическим установкам. Например, энергетическая установка может содержать: турбину; генератор энергии; теплообменный аппарат (ТОА); один или несколько компрессоров или насосов; и блок управления; причем ТОА сконфигурирован для теплообмена между группой потоков, проходящих между первым концом ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом ТОА со второй, более низкой, температурой; ТОА может содержать один или несколько компонентов, сконфигурированных для добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или для отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков в точке, которая расположена между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, так что часть текучей среды, проходящей в одном или в нескольких потоках из группы потоков, отводится от прохождения через остальную часть ТОА; и блок управления сконфигурирован для приема сигнала, определяющего рабочий режим энергетической установки, и на основе этого сигнала блок управления вырабатывает выходной сигнал, обеспечивающий управление одним или несколькими компонентами, сконфигурированными для добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или для отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков. Такие энергетические установки могут быть определены в отношении одного или нескольких следующих положений, которые могут быть объединены в любом количестве и в любом порядке.

ТОА может быть сконфигурирован для теплообмена по меньшей мере между выхлопным потоком турбины, выходящим из турбины, и одним или обоими из рециркулируемого потока и потока окислителя.

Один или несколько компонентов, сконфигурированных для добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или для отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков, может включать перепускную линию и перепускную трубопроводную арматуру, сконфигурированные для отвода части выхлопного потока турбины, так что эта часть обходит секцию ТОА.

Энергетическая установка может содержать также перепускной теплообменник, работающий с перепускной линией и сконфигурированный для передачи тепла от отведенной части выхлопного потока турбины одному или нескольким другим потокам.

Один или несколько компонентов, сконфигурированных для добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или для отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков, может включать рециркуляционную линию и рециркуляционную трубопроводную арматуру, расположенную между выхлопным потоком турбины и рециркуляционным потоком.

Один или несколько компонентов, сконфигурированных для добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или для отбора массового расхода из одного или нескольких потоков из группы потоков, может включать рециркуляционную линию и рециркуляционную трубопроводную арматуру, расположенную между выхлопным потоком турбины и потоком окислителя.

Энергетическая установка может содержать также нагреватель, который сконфигурирован для работы независимо от ТОА, причем нагреватель сконфигурирован для добавления тепла к выхлопному потоку в точке, которая находится между первым концом ТОА и вторым концом ТОА.

Нагреватель может быть нагревателем, использующим тепло от сжигания топлива.

В других вариантах настоящее изобретение может обеспечивать системы для когенерации (совместного производства) энергии и одного или нескольких товарных продуктов. Такие системы могут содержать: установку производства энергии, содержащую по меньшей мере камеру сгорания, турбину, теплообменник и разделительное устройство, причем установка производства энергии сконфигурирована для приема потока топлива и окислителя, а также для получения на выходе энергии и по существу чистого углекислого газа; установку производства синтез-газа, сконфигурированную для приема исходных материалов и получения товарного синтез-газа, по меньшей мере часть которого может использоваться по меньшей мере как часть потока топлива в установке производства энергии; установку разделения воздуха, сконфигурированную для обеспечения кислорода для использования в качестве окислителя в установке производства энергии и сконфигурированную для обеспечения азота; и одну или обе из установки синтеза аммиака и установки синтеза мочевины. В других вариантах такие системы могут быть определены в отношении одного или нескольких следующих положений, которые могут быть объединены в любом количестве и любом порядке.

В состав системы может входить установка синтеза аммиака, сконфигурированная для приема азота из установки разделения воздуха, сконфигурированная для приема водорода из источника водорода и сконфигурированная для получения аммиака на выходе.

Источник водорода может быть установкой выделения водорода, сконфигурированной для приема по меньшей мере части товарного синтез-газа из установки производства синтез-газа и обеспечения потока водорода и потока синтез-газа с пониженным содержанием водорода, который может эффективно использоваться в качестве по меньшей мере части потока топлива в установке производства энергии.

В состав системы может входить установка синтеза мочевины, сконфигурированная для приема азота из источника азота, сконфигурированная для приема углекислого газа из цикла производства энергии и сконфигурированная для получения на выходе потока мочевины.

Источником азота может быть установка синтеза аммиака.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 - блок-схема системы и способа производства энергии в соответствии с иллюстративным вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 2 - блок-схема системы и способа производства энергии в соответствии с другим иллюстративным вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 3 - блок-схема системы и способа производства энергии в соответствии еще с одним иллюстративным вариантом осуществления настоящего изобретения;

На фиг. 4 - блок-схема системы и способа производства энергии в соответствии с дополнительным иллюстративным вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 5 - блок-схема системы и способа производства энергии в соответствии еще с одним иллюстративным вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 6 - блок-схема процесса, в котором энергия может быть получена в связи с формированием одного или более продуктов, подходящих для отправки потребителям, в соответствии с иллюстративными вариантами осуществления настоящего изобретения.

#### **Подробное описание осуществления изобретения**

Различные аспекты настоящего изобретения будут описаны ниже более полно со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых показаны некоторые (не все) варианты осуществления изобретения. Однако различные варианты осуществления изобретения могут быть осуществлены во многих других формах, и изобретение не должно рассматриваться ограниченными нижеописанными вариантами, которые приводятся прежде всего для обеспечения полноты и наглядности описания и представления в полной мере сущности и объема изобретения для специалистов в данной области техники. Формы единственного числа, указываемые в описании и в прилагаемой формуле изобретения, не исключают множественного числа, если только в явной форме не указано иное.

В одном или в нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения обеспечиваются системы и способы для управления производством энергии. Системы и способы управления могут использоваться в отношении самых разных систем производства энергии. Например, системы и способы управления могут использоваться в системах и способах производства энергии, в которых используется турбина для расширения текучей среды высокого давления, в частности, когда температура на выходе турбины поддерживается по существу постоянной или в заданном узком диапазоне температур (например,  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  или  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ). В некоторых вариантах предлагаемые системы и способы могут быть определены таким образом, что механизм, осуществляющий регулирование давления на входе турбины может быть по существу отделен от самой турбины. В иллюстративных вариантах это может быть осуществлено в форме компрессора или насоса, расположенного ниже по потоку от основного устройства, обеспечивающего повышение давления, которое может находиться или нет на одном валу с турбиной. В других иллюстративных вариантах турбина может быть присоединена к генератору, и отдельное устройство повышения давления с независимым приводом может повышать давление рабочей среды. В таких вариантах точка управления между компрессором и насосом может быть по существу исключена, как это

указывается в описании.

Примеры систем и способов производства энергии, в которых может быть реализована предлагаемая система управления, раскрыты в следующих патентах: US 9068743, выдан Palmer и др., US 9062608, выдан Allam и др., US 8986002, выдан Palmer и др., US 8959887, выдан Allam и др., US 8869889, выдан Palmer и др., US 8776532, выдан Allam и др., и US 8596075, выдан Allam и др., содержание которых вводится ссылкой в настоящую заявку. В качестве неограничивающего примера может быть указана система производства энергии, с которой может использоваться система управления, рассмотренная в настоящем описании и которая может быть выполнена для сжигания топлива с  $O_2$  в присутствии циркулирующей рабочей текучей среды  $CO_2$  в камере сгорания, причем предпочтительно  $CO_2$  вводят под давлением по меньшей мере примерно 12 МПа и при температуре по меньшей мере примерно  $400^\circ C$ , для обеспечения потока продуктов сгорания, содержащего  $CO_2$ , и поток продуктов сгорания предпочтительно имеет температуру по меньшей мере примерно  $800^\circ C$ . Такая система производства энергии может характеризоваться также одним или несколькими нижеуказанными признаками, которые могут быть объединены в любом порядке и/или в любом количестве:

поток продуктов сгорания может расширяться в турбине с давлением выхлопного потока примерно 1 МПа или выше для производства энергии и обеспечения выхлопного потока турбины, содержащего  $CO_2$ ;

выхлопной поток турбины может быть пропущен через теплообменник для обеспечения охлажденного выхлопного потока;

охлажденный выхлопной поток турбины может быть обработан для удаления одного или нескольких вторичных компонентов, кроме  $CO_2$ , для обеспечения очищенного выхлопного потока;

давление очищенного выхлопного потока может быть повышено для обеспечения потока циркулирующей текучей среды, содержащей  $CO_2$ , находящийся в сверхкритическом состоянии;

поток циркулирующей текучей среды, содержащей  $CO_2$ , находящийся в сверхкритическом состоянии, может быть охлажден для обеспечения циркулирующей текучей среды, содержащей  $CO_2$  высокой плотности (предпочтительно, по меньшей мере примерно  $200 \text{ кг/м}^3$ );

давление циркулирующей текучей среды, содержащей  $CO_2$  высокой плотности, может быть повышено до величины, подходящей для подачи в камеру сгорания;

циркулирующая текучая среда с  $CO_2$  повышенного давления может быть пропущена через теплообменник, использующий тепло, извлекаемое из выхлопного потока турбины;

вся циркулирующая текучая среда с  $CO_2$  повышенного давления, или ее часть, может быть дополнительно нагрета теплом, которое не отобрано из выхлопного потока турбины (предпочтительно этот дополнительный нагрев осуществляют до, во время и/или после прохождения через теплообменник); и/или нагретый поток циркулирующей текучей среды с  $CO_2$  повышенного давления может быть возвращен в камеру сгорания (предпочтительно, когда температура нагретого потока циркулирующей текучей среды с  $CO_2$  повышенного давления, поступающей в камеру сгорания, ниже температуры выхлопного потока турбины не более чем примерно на  $50^\circ C$ ).

Системы управления, раскрытые в настоящей заявке, могут быть особенно полезны в отношении вышеописанных способов производства энергии ввиду необходимости обеспечения точного регулирования многих параметров многих потоков, причем такие параметры должны точно регулироваться для обеспечения требуемой производительности и безопасности работы. Например, в одном или в нескольких вариантах предлагаемые системы управления могут быть полезны в отношении любой одной или нескольких функций, описанных далее в настоящей заявке. В некоторых вариантах способ и система управления, описанные в настоящей заявке, могут включать в частности любой один или несколько элементов и/или признаков, описанных в патенте US 10103737, выданном Fetvedt и др., описание которого включается ссылкой в настоящую заявку.

В одном или в нескольких вариантах системы и способы, раскрытые в настоящей заявке, могут относиться к регулированию теплового профиля, например, в отношении систем, схемы которых показаны на фиг. 1-5. Такие системы в общем случае могут включать по меньшей мере один блок 100 управления, сконфигурированный для приема одного или нескольких входных управляющих сигналов 101, указывающих блоку 100 управления на выполнение одной или нескольких функций, которые могут реализовываться с помощью одного или нескольких выходных управляющих сигналов 102. Входные управляющие сигналы 101 могут относиться к измеряемым характеристикам, таким как, например, температура, давление, расход, выходная мощность и т.п., и системы, описанные в настоящей заявке, могут содержать один или несколько датчиков или других измерительных компонентов, сконфигурированных для обеспечения требуемого выходного сигнала. Выходные управляющие сигналы 102 могут обеспечивать изменение работы системы, такое как открытие или закрытие одной или нескольких трубопроводных арматур, изменение давления или скорости работы насоса для изменения расхода одного или нескольких потоков, или же других рабочих переменных. Для этой цели эффективные системы управления могут быть приспособлены или сконфигурированы для регулирования выходной мощности и/или температуры выходных газов турбины в различных конфигурациях энергетического цикла. Хотя поддержание по существу постоянной температуры выходных газов турбины на входе теплообменника 50 может снизить на-

пряжения, связанные с циклическим воздействием тепловых нагрузок, эти напряжения не устраняются полностью. Поэтому в настоящем изобретении могут обеспечиваться дополнительные функции управления для устранения этих недостатков. Например, по мере того, как снижается потребление мощности турбины 10, может происходить соответствующее снижение выходного давления и массового расхода. Это может приводить к изменению теплового профиля теплообменника. В иллюстративных вариантах осуществления изобретения может обеспечиваться одна или несколько функций управления, обеспечивающих поддержание эффективности работы независимо от флуктуаций потребляемой мощности в системе и, вместо этого или дополнительно к этому, обеспечивающих предотвращение превышения температурой внутри одной или нескольких секций теплообменного аппарата заданного порогового значения (которое может быть указано относительно максимальной рабочей температуры). Например, основной рекуперативный теплообменник, который спроектирован и оптимизирован для условий, совместимых с полной выходной мощностью на турбине, может все больше "перерабатывать" по мере снижения потребляемой мощности. Это происходит, потому что площадь поверхности теплообменника рассчитана на сравнительно большие массовые расходы выхлопных газов турбины и на рециркулируемые потоки рабочей среды с высоким давлением (такой как диоксид углерода в сверхкритическом состоянии). Это также может относиться и к потоку окислителя. Уменьшение давления на стороне рециркуляции рабочей среды с высоким давлением может также влечь за собой уменьшение теплоемкости рециркулируемой среды (это относится также и к потоку окислителя, если он включен). Эти изменения могут проявляться кумулятивно по мере повышения средней температуры теплообменника. Чтобы по меньшей мере частично решить эти проблемы, в некоторых вариантах теплообменник 50 может быть сконфигурирован как группа теплообменников, соединенных последовательно, и температуры поверхностей между блоками могут возрастать, когда потребляемая мощность турбины снижается. Такие колебания температуры могут создавать тепловые напряжения, однако более важно то, что они могут приводить к режимам отказов.

В некоторых вариантах конструкция теплообменника 50 должна быть такой, чтобы он был экономически эффективным, насколько это возможно. Такой подход может приводить к использованию различных материалов для всего диапазона температур в теплообменнике 50. Хотя все материалы предпочтительно определяются для максимального давления на выходе насоса 20 при полной выходной мощности турбины (минимум потерь для оптимального режима), необходимо будет выбирать материалы для различных температур, что обеспечивает наиболее экономичные решения (самые дешевые материалы и минимальные суммарные массы). Соответственно, для средств управления энергетической установкой будет предпочтительно реализовать одну или несколько функций, обеспечивающих эффективное воздействие на промежуточные температуры теплообменника 50 для предотвращения выходов за расчетные пределы изменений средней температуры теплообменника, которые могут возникать. Этого можно достичь разными способами, как это описано в настоящей заявке. Более конкретно, функции управления могут действовать для предотвращения превышения максимальной рабочей температуры в одной или в нескольких секциях теплообменного аппарата (ТОА). В этом случае одно или несколько средств управления могут быть реализованы таким образом, чтобы они выдавали выходной сигнал, указывающий, что температура внутри ТОА (или внутри одной или нескольких его секций) находится в заданном диапазоне относительно максимальной рабочей температуры. Такой диапазон может быть, например, менее 20%, менее 10% или менее 5% ниже максимальной рабочей температуры, что определяется производителем. Конкретно, условием для выдачи сигнала высокой температуры может быть нахождение температуры в интервале 20-1%, 15-1%, 10-1%, 20-2%, 15-2%, 15-5%, 10-2% или 10-5% относительно максимальной рабочей температуры.

Поэтому настоящее изобретение может относиться к способам управления энергетической установкой. В частности, на фиг. 1-5 приведены блок-схемы энергетической установки в соответствии с различными вариантами, и предлагаемые способы могут быть реализованы для введения любой комбинации элементов и/или функций, описанных в отношении указанных фигур и/или явно показанных на этих фигурах. В некоторых вариантах способ управления может включать регулирование теплового профиля теплообменного аппарата (ТОА) 50, работающего с группой потоков, проходящих между первым концом 50' ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом 50" ТОА со второй, более низкой, рабочей температурой. Более конкретно, шаг (стадия) регулирования может включать реализацию функции управления, которая изменяет массовый или объемный расход одного или нескольких потоков из группы потоков, проходящих между первым концом 50' ТОА и вторым концом 50" ТОА, путем добавления текучей среды (например, массового расхода или объемного расхода) к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора текучей среды от них. Добавление текучей среды к одному или к нескольким потокам или отбор этой среды от них могут быть осуществлены при температуре, находящейся в диапазоне промежуточных температур, внутри ТОА. Это означает, что добавление или отбор могут быть конкретно осуществлены в точке, которая находится между первым концом 50' ТОА и вторым концом 50" ТОА. Иначе говоря, это может происходить выше по потоку второго конца ТОА и ниже по потоку первого конца ТОА. Она может находиться, например, примерно в средней точке ТОА 50 или в точке, которая находится в пределах 5-45%, 10-40% или 20-35% от расстояния от первого конца ТОА или в

точке, которая находится в пределах 5-45%, 10-40% или 20-35% от расстояния от второго конца ТОА, Таким образом, прибавление или отбор текучей среды может происходить в части ТОА, которая находится ближе к первому концу (то есть, к "горячему" концу) или в части ТОА, которая находится ближе ко второму концу (то есть, к "холодному" концу). Любые из указанных положений могут указываться в настоящей заявке как "промежуточное" положение в ТОА. В некоторых вариантах ТОА может быть отдельным блоком, составляющим одно целое. В других вариантах ТОА может представлять собой комбинацию группы секций ТОА, которые объединены потоками текучей среды. Таким образом, промежуточное положение в ТОА может быть положением между двумя отдельными секциями ТОА.

В одном или в нескольких вариантах, как показано на фиг. 1, для защиты теплообменника 50 может использоваться одна или несколько перепускных линий выхлопного потока турбины. В общем случае, как показано на фиг. 1, топливо проходит по линии 13 из источника 12 топлива для сжигания в камере 15 сгорания, причем давление топлива может быть повышено компрессором 14. Окислитель проходит по линии 22 из источника 25 окислителя, который может быть, например, установкой разделения воздуха, кислородной мембраной или другим источником окислителя. Окислитель может подаваться непосредственно в камеру сгорания 15, однако, как показано на фиг. 1, окислитель может быть смешан с рециркулируемым  $\text{CO}_2$  в смесителе 27 перед повышением его давления в насосе 40 и подачей в линию 29, проходящую через теплообменник 50 в направлении камеры сгорания 15. Топливо сжигают в камере сгорания с окислителем в присутствии рециркулируемого  $\text{CO}_2$  для формирования выхлопного потока в линии 16, который затем расширяется в турбине 10 для генерации энергии (например, электрической энергии) генератором 17. Затем выхлопной поток турбины 10 поступает в линию 18.

Для обеспечения обхода, как это указывалось, выхлопной поток турбины, выходящий в линию 18, пропускают через теплообменник 50, и часть выхлопного потока турбины выходит из теплообменника 50 в линию 1 с промежуточной температурой. Как показано на фиг. 1, теплообменник состоит из двух отдельных теплообменных секций 50a и 50b, однако пунктирные линии показывают, что отдельные теплообменные секции могут быть соединены в единый ТОА, работающий с группой секций (например, 2 или более, 3 или более или даже более частей) при разных условиях. Контроллер может открывать трубопроводную арматуру 5, как это необходимо, чтобы часть выхлопного потока турбины могла выйти из ТОА для последующего присоединения к основному выхлопному потоку турбины в точке, находящейся выше по потоку теплообменника 70, и/или выше по потоку разделительного устройства 35, и/или выше по потоку компрессора 30, и/или выше по потоку насоса 20. Таким образом, может осуществляться эффективное регулирование теплового профиля ТОА путем вывода части выхлопного потока турбины (то есть, нагретого потока) для обхода секции ТОА по перепускной линии. Вывод части отработавшего газа турбины из линии 18 в промежуточной точке теплообменника 50 создает результирующий эффект снижения общей тепловой энергии, передаваемой в теплообменнике ниже температуры, при которой выхлопной поток турбины отбирается в линию 1. В результате снижается средняя температура для остальной части теплообменника (например, располагаемое тепло в теплообменной секции 50b) за счет увеличения нагрузки, сбрасываемой на теплообменник 70.

При необходимости тепло выхлопного потока турбины, выведенного через перепускную линию 1, может быть также использовано для нагрева текучих сред, кроме рециркулируемого  $\text{CO}_2$ , который обеспечивается по линии 39, и окислителя, который подается по линии 29 в теплообменник 50. Для этой цели перепускаемый поток в линии 1 может использоваться перепускным теплообменником 60 в качестве источника тепла для подачи тепловой энергии в любой процесс за пределами рассматриваемого энергетического цикла. Следует отметить, что перепускной теплообменник 60 может быть просто специализированной секцией теплообменника 50 (например, перепускной теплообменник 60 может быть объединен с теплообменником 50 и может работать таким образом, что только поток в линии 1 проходит через него для отбора тепла).

Поэтому функция управления, осуществляемая указанным образом, может обеспечивать обход секции ТОА частью нагретого потока, проходящего через ТОА, по перепускной линии 1 в соответствии с одним или несколькими сигналами, получаемыми из контроллера 100. Например, входной сигнал, полученный контроллером 100, может быть сигналом, указывающим, что температура внутри ТОА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОА. Например, выходной сигнал 101 температуры может выдаваться одним или несколькими датчиками температуры в одной или в нескольких точках измерения внутри ТОА. Точки измерения температуры внутри теплообменника 50 могут быть расположены таким образом, чтобы обеспечивалась обратная связь с трубопроводной арматурой 5, управляемой контроллером. В таком случае контроллер 100 может передать выходной сигнал 102a в трубопроводную арматуру 5 или в другой компонент энергетической установки для обеспечения прохождения большего или меньшего количества текучей среды по перепускной линии 1, как это может быть необходимо для заданных условий. По мере того как промежуточные температуры внутри теплообменника 50 достигают максимальных расчетных пределов, контроллер, обеспечивающий управление трубопроводной арматурой 5, будет передавать в нее сигнал на открытие. В этом случае по линии 1 будет обеспечиваться поток через перепускной теплообменник 60 перед его подачей в теплообменник 70. Если рабочие условия (например, потребляемая мощность) таковы, что промежуточные тем-

температуры в теплообменнике 50 ниже расчетных пределов, то трубопроводная арматура 5 может оставаться закрытой (или закрывается, если она была открыта), чтобы весь поток направлялся в остальную часть теплообменника 50 (например, через теплообменную секцию 50b). Достоинством такой схемы является повышение возврата тепла энергетического цикла. В теплообменник 50 может быть встроено параллельно любое количество перепускных линий в качестве средств обеспечения более точного управления температурой в различных частях теплообменного аппарата. Контроллер для трубопроводной арматуры 5 и/или других арматур для управления температурой фактически может работать таким образом, чтобы работа энергетического цикла осуществлялась в частично оптимальном режиме, в котором возврат тепла энергетического цикла минимизируется. Этот сценарий может иметь место, когда тепловая энергия, не приводящая к выделению углерода, больше используется в теплообменнике 60, чем для производства энергии в турбине 10.

В других вариантах управление перепускной линией 1 может осуществляться в соответствии с выходной мощностью турбины 10 и генератора 17. Например, контроллером 100 может быть получен сигнал 101b, указывающий на изменение потребления мощности, вызывающее изменение режима работы турбины 10, в результате чего изменяется генерация энергии генератором 17 энергетической установки. В ответ на этот сигнал контроллер 100 может обеспечить выходной сигнал 102b, который вызывает прохождение по линии 1 большего или меньшего количества текучей среды.

В других случаях цикл производства энергии может продолжаться таким образом, что выхлопной поток турбины в линии 18 может соединяться с перепускаемым потоком в линии 1, например, в смесителе 21 перед прохождением по линии 19 в теплообменник 70, в котором выхлопной поток охлаждается почти до температуры окружающей среды. Затем выхлопной поток проходит по линии 34 в разделительное устройство 35, которое обеспечивает поток по существу чистого  $\text{CO}_2$  в линии 36. Затем давление  $\text{CO}_2$  повышают в компрессоре 30, опционально охлаждают в теплообменнике 80, после чего повышают его давление насосом 20 до требуемого диапазона давлений для рециркуляции в камеру 15 сгорания по линии 39. Опционально часть  $\text{CO}_2$  может быть отведена из линии 39 в линию 38 и подана в смеситель 27, как это уже указывалось, для смешивания с окислителем. Аналогично, часть  $\text{CO}_2$  в линии 39 может быть отделена и подана по линии 37 для отправки потребителям или для другого конечного использования, такого как повышение нефтеотдачи пласта. Вода из разделительного устройства 35 может выводиться из системы по дренажной линии 33.

Дополнительные средства регулирования температуры теплообменника могут также включать одну или несколько функций управления в дополнение к вышеописанной перепускной схеме. На фиг. 2 иллюстрируется другой вариант, в котором элементы, уже описанные в связи с фиг. 1, по существу не изменились. Как показано на фиг. 2, система производства энергии может быть сконфигурирована для рециркуляции по меньшей мере части одного или обоих потоков, проходящих через теплообменник 50 из насоса 20 и насоса 40. Например, для рециркуляции по меньшей мере части рециркулируемого потока  $\text{CO}_2$ , проходящего через теплообменник 50 по линии 39, может использоваться трубопроводная арматура 6, так что эта часть рециркулируемого потока  $\text{CO}_2$  подается в выхлопной поток турбины в линии 18. Аналогично, для рециркуляции по меньшей мере части потока окислителя, проходящего через теплообменник 50 по линии 29 может использоваться трубопроводная арматура 7, так что эта часть потока окислителя подается в выхлопной поток турбины в линии 18.

Таким образом, регулирование теплового профиля ТОВА может включать одно или оба из следующих действий: обеспечение прохождения части рециркулируемого потока, нагреваемого в ТОВА, в выхлопной поток, охлаждаемый в ТОВА, так что регулирование приводит к увеличению массового расхода выхлопного потока, проходящего через секцию ТОВА; и обеспечение прохождения части потока окислителя, нагреваемого в ТОВА, в выхлопной поток, охлаждаемый в ТОВА, так что регулирование приводит к увеличению массового расхода выхлопного потока, проходящего через секцию ТОВА. Более конкретно, по мере повышения требуемого выхода турбины 10, расходы потоков, подаваемых насосом 20 и/или насосом 40 в камеру 15 сгорания, могут регулироваться для аналогичного повышения, по мере необходимости. Если насосы должны работать в качестве устройств с фиксированными оборотами, то соответствующая трубопроводная арматура в соответствующей рециркуляционной линии (например, арматура 6 в линии 39а или арматура 7 в линии 29а) теплообменника 50 начнет закрываться. В этом случае не только будет обеспечиваться увеличенный массовый расход в камеру 15 сгорания (и, в конечном счете, в турбину 10), но также будет увеличиваться количество тепловой энергии, подаваемой теплообменником в камеру 15 сгорания. В ином случае, когда выходная мощность турбины 15 снижается, трубопроводная арматура 6 и трубопроводная арматура 7 могут быть открыты, насколько это будет необходимо. В этом случае принудительно увеличивается расход через нижнюю половину теплообменника 50 (то есть, через теплообменную секцию 50b) и снижается температура выхлопного потока турбины для дальнейшего содействия управлению профилем температур теплообменника.

Таким образом, функция управления может включать обеспечение подачи одной или обеих из части рециркулируемого потока и части потока окислителя в выхлопной поток в соответствии с одним или с обоими из следующих входных сигналов: сигнал, указывающий на изменение потребляемой мощности, вызывающее изменение режима работы турбины, в результате чего изменяется генерация мощности

энергетической установкой (см. сигнал 101b на фиг. 1); и сигнал, указывающий на то, что температура внутри ТОВА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОВА (см. сигнал 101a на фиг. 1). Таким образом, для управления прохождением текучей среды через трубопроводные арматуры 6 и 7 могут вырабатываться выходные сигналы 102c и 102d, соответственно. Сигналы 101a и 101b указаны как иллюстративные варианты, однако следует понимать, что аналогичные сигналы могут быть приняты из самых разных компонентов рассматриваемых систем. Например, входные сигналы могут быть приняты контроллером из насоса 20, насоса 40, компрессора 30, компрессора 31, направляющей заслонки 32 на входе, разделительного устройства 35, компрессора 14 и из любой линии, указанной в настоящем описании. В этом случае сигналы могут относиться к информации о давлении в определенной точке системы, расходе в определенной точке системы, температуре в определенной точке системы, молярной концентрации некоторого соединения в определенной точке системы или любого аналогичного параметра, который может быть полезен для реализации функции управления, как это указывается в других местах настоящего описания. Например, подходящие входные сигналы могут включать любой один или любые несколько из следующих сигналов: сигнал потребляемой мощности; выходной сигнал газогенератора (например, указывающий на то, что расход синтез-газа превышает заданную пороговую величину); сигнал потребления водорода (например, указывающий на то, что расход водорода превышает заданную пороговую величину); сигнал химического состава синтез-газа, поступающего из газогенератора (например, сигнал, который может указывать на то, что расчетная или фактическая молярная концентрация одного или нескольких компонентов производимого синтез-газа превышает заданную пороговую величину); сигнал, определяющий химический состав синтез-газа для потока синтез-газа, подаваемого в энергетический цикл (смешанный поток из перепускной линии и поток синтез-газа с пониженным содержанием водорода); сигнал модификации исходного материала; сигнал работы установки разделения воздуха; сигнал наличия азота; сигнал числа Воббе смешанного топлива; и т.п. Аналогично, выходные сигналы могут быть направлены для управления одним или несколькими из вышеперечисленных компонентов системы для реализации функций управления, указанных в настоящей заявке.

В тех вариантах, в которых может быть желательно осуществлять работу турбины 10 таким образом, чтобы получать максимальный выход (например, работа с полной нагрузкой), перепускная линия 1 теплообменника может использоваться для ограничения скорости изменения температуры в теплообменнике 50 в связи с максимальными расходами насоса 20 и/или насоса 40/, обеспечиваемыми через теплообменник 50 почти одновременно с минимальным использованием линий (29a, 39a) рециркуляции.

В одном или в нескольких вариантах энергетический цикл по настоящему изобретению может осуществляться для использования одной или нескольких систем повторного сжатия, и управление такими системами может осуществляться таким образом, чтобы регулировать поток в цикле повторного сжатия для обеспечения регулирования промежуточной температуры в теплообменнике 50. Системы повторного сжатия не только повышают давление рециркулируемой текучей среды, но также обеспечивают передачу низкотемпературного тепла в основной рекуперативный теплообменник энергетического цикла (например, теплообменник 50) в качестве средства оптимизации температуры рециркуляции. На фиг. 3 приведена схема цикла со сверхкритическим CO<sub>2</sub> с непосредственным нагревом, в котором используется система повторного сжатия, начинающаяся изнутри теплообменника 50. Таким образом, рециркуляционный компрессор 31 может быть сконфигурирован для отбора части нагретого выхлопного потока турбины, проходящего через ТОВА 50, повышения давления части отбираемого нагретого выхлопного потока турбины и соединения этой части, после повышения ее давления, в секции ТОВА ниже по потоку. Как показано на схеме, часть выхлопного потока турбины отбирается между секцией 50a и секцией 50b ТОВА и соединяется снова в секции 50b ТОВА.

Как уже указывалось, снижение потребления мощности из такой системы будет приводить к повышению средней температуры теплообменника. В результате будет повышаться температура на стороне всасывания компрессора 31 в линии 3 повторного сжатия (и, соответственно, будет повышаться температура на выходе), поскольку поддерживается постоянное выходное давление. В таких вариантах можно ожидать также повышения потребления мощности компрессором 31. В некоторых вариантах эта тенденция может быть эффективно повернута в обратную сторону путем активного снижения расхода потока, проходящего через компрессор 31, в то время как температура на выходе для выхлопного потока в линии 3 поддерживается по существу постоянной. Контроллер, осуществляющий управление компрессором 31, может осуществлять активный мониторинг одной или нескольких точек в линии 3 для предотвращения превышения температурой потока в линии 3 оптимизированной требуемой температуры путем осуществления обратной связи с направляющей заслонкой (IGV, от англ. Inlet Guide Vane) 32 компрессора 31. Таким образом, функция управления может включать закрытие IGV 32 рециркуляционного компрессора 31 в ответ на сигнал, указывающий на то, что температура внутри ТОВА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОВА (см., например, сигнал 101a на фиг. 1). Такой выходной сигнал показан на фиг. 3 ссыльным обозначением 102e.

При традиционном управлении заслонки IGV используются для ограничения потребляемой мощности с поддержанием в то же время безопасного запаса на случай резких изменений. Заслонки IGV могут

использоваться для управления давлением на выходе с помощью различных контроллеров. Однако в некоторых ситуациях заслонки IGV могут быть установлены в режим ручного управления для принудительного открытия с целью увеличения потока в рециркуляционных линиях. В таком случае увеличится состав оборудования системы. Это может быть сделано, чтобы обеспечить заблаговременное изменение нагрузки или включение насоса ниже по потоку. В более специфическом отношении к оптимизации температуры, как это раскрыто в настоящем описании, при достижении оптимизированной температуры заслонки IGV компрессора 31 могут быть закрыты для уменьшения выхлопного потока, проходящего через устройство. Уменьшение потока и последующее добавление низкотемпературного тепла в теплообменник 50 может создавать кумулятивный эффект, при котором средняя температура теплообменника понизится. В конечном счете, обратная связь уменьшения потока и понижения температуры на стороне всасывания компрессора 31 будет приводить к режиму работы, в котором удовлетворяется требование в точке измерения. Это также будет приводить к самому низкому потреблению мощности компрессором 31, необходимому для максимизации уровня температуры рециркуляции, который может быть получен с теплообменником 50. Когда заслонки IGV компрессора 31 закрыты, может быть необходимо открыть заслонки IGV компрессора 30, чтобы обеспечить возможность повышения давления увеличенного потока. В другом варианте, если происходит утилизация тепла в теплообменнике 60, температура на стороне всасывания компрессора 31 может падать, и то же самое может происходить в точке измерения температуры в линии 3. Это приведет к открытию заслонок IGV компрессора 31 для генерации большего количества тепла. Напротив, заслонки IGV компрессора 30 необходимо будет закрыть для учета увеличения потока через компрессор 31. Во всех сценариях заслонки IGV могут быть заменены рециркуляционными линиями и охлаждающими устройствами.

В других вариантах может быть осуществлен другой способ передачи тепла в теплообменную сеть 50, как это показано на фиг. 4. В частности, в теплообменнике 50 может обеспечиваться другой источник тепла (нагреватель 90) с промежуточной температурой. Нагреватель 90 может обеспечивать тепло непосредственно или косвенно. Источник тепла может быть разным: электрическим, солнечным, атомным или получающим тепло от сжигания топлива. Нагреватель 90 может быть также расположен на любом из потоков внутри теплообменной сети 50. В одном из вариантов нагреватель 90 представляет собой канальную горелку на кислородном топливе, обеспечивающую нагрев выхлопного потока турбины 10. Продукты сгорания топлива свободно смешиваются с выхлопным потоком турбины и содействуют повышению температуры. Это добавление тепловой энергии может обеспечивать достижение нескольких целей. Например, как показано на фиг. 4, нагреватель 90 расположен ниже по потоку перепускной линии 1, рециркуляционных линий 29а и 39а и линии 3 повторного сжатия. В этом случае установка может быть практически предварительно нагрета, в то время как баланс цикла, охватывающего турбину 10, обеспечивается по существу с использованием контура обратной связи. Перепускные линии, связанные с трубопроводной арматурой 6 и/или трубопроводной арматурой 7, могут отводить частично или полностью потоки их источников. Расчетные расходы могут быть сконфигурированы для обеспечения защиты от превышения скорости турбиной 10 в случае аварийного режима. В других вариантах нагреватель 90 может использоваться для обеспечения дополнительной тепловой энергии для теплообменника 60 в такой степени, чтобы воздействие на профиль температур теплообменной сети 50 было минимальным. В таких вариантах линия 1 может быть переконфигурирована таким образом, чтобы она отходила от линии 18 выхлопного потока турбины ниже по потоку нагревателя 90 внутри теплообменной сети 50. Еще в одном варианте тепло, обеспечиваемое нагревателем 90, может использоваться для стимулирования закрытия заслонок IGV компрессора 31. Без изменения выходной мощности турбины 10 или изменения профиля температур теплообменника 50 можно ожидать, что полезная мощность установки повысится благодаря повышению давления рециркулируемой рабочей текучей среды, предпочтительно отводимой в компрессор 30, который обычно конфигурируют для работы со сравнительно более высокой эффективностью.

Кроме того что температура выхлопного потока турбины влияет на профиль температур теплообменника 50, температуры потоков, поступающих в теплообменник 50 по линиям 29 и/или 39, аналогичным образом влияют на профиль температур теплообменника, поскольку он служит в качестве приемника низкотемпературной энергии. В тех вариантах, в которых теплообменник 50 оптимизируют для работы на полной выходной мощности, имеется расчетная температура, которую имеет рециркулируемая текучая среда, когда она выходит из насоса 20 и поступает в теплообменник 50. Когда в цикле происходит снижение выходной мощности, температура рециркулируемой текучей среды, поступающей в теплообменник 50, упадет, поскольку уменьшается мощность, потребляемая насосом 20 для обеспечения меньшего давления. Это приводит к снижению средней температуры теплообменника. Хотя такой эффект может не вызывать превышение расчетных предельных величин промежуточных температур в точках измерений теплообменника, однако он повышает циклическое воздействие тепловых нагрузок при изменениях выходной мощности турбины. Этот эффект можно ослабить путем увеличения мощности, потребляемой насосом 20, для поддержания почти постоянной температуры на выходе. Для обеспечения обратной связи для контроллера, работающего вместе с насосом 20, может использоваться точка измерения температуры потока рециркулируемого CO<sub>2</sub> в линии 39 на выходе насоса 20. Контроллер может ис-

пользоваться для смещения величины заданного давления на выходе компрессора 30. Если требуемая нагрузка на турбине должна быть уменьшена, или температура охлаждения в теплообменнике 80 должна быть снижена, то величина заданного давления для компрессора 30 также понизится (для обратных действий то же самое). Хотя желательно поддерживать почти постоянную температуру на выходе насоса 20, однако это может быть невозможно для всех сценариев. Предпочтительно не допускать падения давления на стороне всасывания насоса 20 ниже корреляционной кривой температура-давление, относящейся к рабочей текучей среде. Эта кривая отображает соответствующие температуры и давления, необходимые в теплообменнике 80, которые обеспечивают однофазную рабочую текучую среду с минимальной удельной плотностью, допустимой для использования в насосе 20. Если дальнейшее снижение давления на выходе компрессора 30 невозможно, то может быть уменьшена холодопроизводительность теплообменника 80, пока не будет достигнута требуемая заданная температура на выходе насоса 20. Изменение холодопроизводительности может приводить к повторяющемуся процессу уравнивания холодопроизводительности и давления на выходе компрессора 30, пока не будут удовлетворены минимальные требования корреляционной кривой температура-давление. Необходимо отметить, что вышеописанная схема совместима с любым количеством компрессоров и насосов, соединенных последовательно. Кроме того, изменения температуры охлаждающей воды могут обеспечивать эффект, сравнимый с изменениями нагрузки, и их можно использовать аналогичным образом.

В дополнение к вышеописанным схемам регулирования температуры может также регулироваться температура теплообменника 50, когда насос 20 и/или насос 40 выключены. Это может обеспечиваться, например, посредством регулирования охлаждающей воды, проходящей через охлаждающее устройство 80 и/или охлаждающее устройство 70 или через промежуточные охлаждающие теплообменники внутри компрессора 30 (например, когда компрессор 80 сконфигурирован как многоступенчатый компрессор с промежуточным охлаждением). Может быть необходимо обеспечивать подачу избыточного низкотемпературного тепла в холодный конец теплообменника 50, чтобы обеспечить такое же регулирование температуры, которое было описано выше. Кроме того, регулирование температуры указанных теплообменников может также использоваться для воздействия на температуры на входе насоса 20 и/или насоса 40, расположенных ниже по потоку, в той степени, в какой работа этих насосов создает условия нагнетания, которые могут также обеспечивать работу основного рекуперативного теплообменника. Это может быть осуществлено в качестве альтернативы уменьшению давления на входе, которое реально может создать сравнимые условия. Давление на входе различных насосов может поддерживаться на постоянном уровне, в то время как температура может регулироваться для обеспечения подходящей температуры на выходе, необходимой для уравнивания теплообменников при соответствующем давлении на выходе.

Различные схемы регулирования температуры, рассмотренные в настоящем описании, могут использоваться независимо или в любой комбинации с одной или с несколькими другими описанными здесь схемами регулирования. Если несколько схем регулирования температуры должны использоваться одновременно, то для их работы могут быть назначены приоритеты, как это указано в настоящем описании. В частности, может быть предпочтительной минимизация расхода выхлопного потока в перепускной линии 1 при всех уровнях выходной мощности турбины. Это связано с тем, что тепловая энергия, содержащаяся в потоке, проходящем по перепускной линии 1, может быть получена из источника тепла, приводящего в действие энергетический цикл. Поддержание максимального количества тепла, передаваемого между выхлопным потоком турбины и рециркулируемой текучей средой, обеспечивает наибольшую эффективность энергетического цикла. С другой стороны, использование нагревателя 90 может снизить эту эффективность и обеспечить возможность утилизации тепла в теплообменнике 60 лишь с целью распределения ресурсов установки в энергетическом цикле. После этого температура на выходе насоса 20 может регулироваться для обеспечения ее оптимальной величины. И наконец, расход через систему повторного сжатия (например, через линию 3 и компрессор 31) может минимизироваться или максимизироваться в той степени, в которой температура в точке измерения в линии 3 достигает ее оптимальной требуемой величины.

В других вариантах регулирование теплообмена может обеспечиваться посредством одной или нескольких функций управления, связанных с компоновкой турбины энергетического цикла. Как можно видеть на фиг. 5, группа турбин или турбинных секций, работающих последовательно, может быть сконфигурирована с одним или несколькими промежуточными источниками тепла, в дополнение к основной камере 15 сгорания. На фиг. 5 показаны две турбины 10a и 10b с одним промежуточным источником 90 тепла, однако две или более, три или более, или даже большее количество турбин или турбинных секций могут использоваться вместе с одним или более, двумя или более, или даже с большим количеством промежуточных источников тепла. В частности, как показано на фиг. 5, выхлопной поток камеры сгорания, выходящий в линию 16, проходит в первую турбину 10a, соединенную с генератором 17a энергии, и выхлопной поток первой турбины поступает в линию 18a и затем пропускается через промежуточный нагреватель 90. Нагретый поток, выходящий из промежуточного нагревателя 90 в линию 18b, проходит во вторую турбину (или в последнюю турбину), соединенную с генератором 17b энергии, и выхлопной поток второй турбины (или последней турбины) поступает в линию 18c и далее в теплооб-

менник 50, уже рассмотренный в настоящем описании.

Тепло, обеспечиваемое промежуточным нагревателем 90, может быть получено из любого источника (например, пар, солнечное тепло, тепло сжигаемого топлива). В конкретных вариантах, как показано на фиг. 5, нагреватель 90 может быть устройством, использующим тепло сжигаемого топлива. Таким образом, топливо из источника 12 топлива может подаваться в нагреватель 90 по линии 130, и окислитель из источника 25 окислителя может подаваться в нагреватель 90 по линии 220.

Как и в случае основной схемы управления, рассмотренной в настоящем описании, регулирование расхода насоса 20 может использоваться для регулирования температуры на входе теплообменника 50 в условиях по существу установившегося режима и во время переходных режимов. Изменения выходной нагрузки турбинной группы (например, в работе остается любая турбина из группы, или, более конкретно, в работе остается последняя турбина из группы) могут быть обеспечены путем отвода большей или меньшей части потока из камеры 15 сгорания в промежуточный нагреватель 90. Трубопроводная арматура 8 в линии 37 может использоваться для поддержания постоянного давления на выходе турбины 10b, и подача топлива между камерой 15 сгорания и промежуточным нагревателем 90 может изменять получаемые температуры на входах соответствующих блоков и поэтому также может изменять давления потоков, поступающих в турбину 10a и в турбину 10b. Следовательно, относительная работа, производимая соответственно турбиной 10a и турбиной 10b, может также изменяться для заданной подачи топлива в системе. Точно выдерживаемые режимы работы для турбины 10a и турбины 10b могут оказывать значительное влияние на эффективность работы блоков. В такой конфигурации системы фиксированный расход топлива может приводить к различным изменениям полезной выходной мощности в результате изменения рабочих характеристик детандеров, принимая во внимание присущие им кривые производительности. С этим эффектом будут связаны также изменения суммарного расхода системы, обеспечиваемого насосом 20, в соответствии с поддержанием постоянной температуры в теплообменнике 50. В то время как расход топлива в энергетическом цикле может поддерживаться на постоянном уровне, когда необходимо снижение выходной мощности, расход выхлопного потока, проходящего через теплообменник 50, может принудительно изменяться для продолжения отбора тепла в нагревателе 60.

Как это очевидно из фиг. 1-5, настоящее изобретение может относиться не только к способам управления энергетическими установками, но также и к самим конфигурациям энергетических установок. Энергетическая установка может включать любую комбинацию компонентов, описанных со ссылками на указанные фигуры, или как они описаны в других местах описания. Например, энергетическая установка может содержать по меньшей мере турбину 10, генератор 17 энергии, теплообменный аппарат (ТОА) 50, один или несколько компрессоров 30 или насосов 20 и блок 100 управления. При этом ТОА 50 может быть сконфигурирован для теплообмена между группой потоков, проходящих между первым концом 50' ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом 50" ТОА со второй, более низкой, температурой. Эти потоки могут включать, например, выхлопной поток 18 турбины, рециркулируемый поток 39 (который может содержать по существу чистый углекислый газ) и поток 29 окислителя (который может содержать по существу чистый кислород, может содержать воздух или может содержать смесь кислорода и углекислого газа).

Кроме того, ТОА может содержать один или несколько компонентов, сконфигурированных для увеличения (добавления) или уменьшения (отбора) массового расхода одного или нескольких потоков из группы потоков в точке, которая расположена между первым концом 50' ТОА и вторым концом 50" ТОА, так что часть текучей среды, проходящей в одном или в нескольких потоках из группы потоков, отводится от прохождения через остальную часть ТОА. Например, как показано на фиг. 1, часть выхлопного потока 18 турбины отводится через перепускную линию 1, и, таким образом, эта часть не будет проходить через секцию 50b ТОА. В дополнение к вышесказанному, блок управления может быть сконфигурирован для приема сигнала 101, определяющего рабочий режим энергетической установки, и на основе этого сигнала блок управления вырабатывает выходной сигнал 102, обеспечивающий управление одним или несколькими компонентами, сконфигурированными для увеличения или уменьшения расхода (например, массового расхода или объемного расхода) одного или нескольких потоков из группы потоков. В некоторых вариантах ТОА 50 может быть сконфигурирован для теплообмена по меньшей мере между выхлопным потоком турбины, выходящим из турбины, и одним или обоими из рециркулируемого потока и потока окислителя. Кроме того, один или несколько компонентов, сконфигурированных для увеличения или уменьшения расхода одного или нескольких потоков из группы потоков, может включать перепускную линию 1 и перепускную трубопроводную арматуру 5, сконфигурированные для отвода части выхлопного потока турбины, так что эта часть обходит секцию ТОА. В таких конфигурациях установка может также содержать перепускной теплообменник 60, работающий с перепускной линией 1 и сконфигурированный для передачи тепла от отведенной части выхлопного потока турбины одному или нескольким другим потокам 2.

В некоторых вариантах один или несколько компонентов, сконфигурированных для увеличения или уменьшения расхода одного или нескольких потоков из группы потоков, может включать рециркуляционную линию 39a и рециркуляционную трубопроводную арматуру 6, расположенную между выхлопным потоком 18 турбины и рециркулируемым потоком 39. Аналогично, один или несколько компо-

ентов, сконфигурированных для увеличения или уменьшения расхода одного или нескольких потоков из группы потоков, может включать рециркуляционную линию 29а и рециркуляционную трубопроводную арматуру 7, расположенную между выхлопным потоком 18 турбины и потоком 29 окислителя.

В других вариантах энергетическая установка может содержать нагреватель 90, сконфигурированный для работы независимо от ТОА 50. Такая независимая работа может означать просто, что тепло, обеспечиваемое нагревателем 90, получено не из какого-то нагретого потока, который используется для обеспечения теплообмена в ТОА 50, а из другого источника. Например, нагреватель 90 может быть сконфигурирован для добавления тепла в выхлопной поток 18 турбины в точке, которая находится между первым концом 50' ТОА и вторым концом 50" ТОА. Как уже отмечалось, нагреватель 90, например, может быть устройством, использующим тепло сгорающего топлива. Другие конфигурации и компоненты могут быть определены на основе других компонентов, показанных на фиг. 1-5 и уже раскрытых в описании.

В некоторых вариантах управление энергетическим циклом, раскрытое в настоящем описании, может использоваться с терминалом регазификации сжиженного природного газа. Смотри, например, патент US 9523312, выданный Allam и др., содержание которого вводится ссылкой в настоящее описание. В таких вариантах расход топлива и соответствующий нагнетатель для изменения температуры могут быть модифицированы для адаптации к требованию регазификации в дополнение к потреблению мощности.

В некоторых вариантах предлагаемые системы и способы могут быть адаптированы или сконфигурированы для управления в тех случаях, в которых может происходить утечка через уплотнения турбины. В таком случае может быть добавлен компрессор для компенсации утечки через уплотнения и установлен в цикл между потоком и компрессором. В таких случаях этот же компрессор может также использоваться при запуске для заполнения системы из внешнего резервуара или трубопровода. В таком случае управление нагнетанием компрессора может осуществляться контроллером для регулирования низкого давления системы. Управление всасыванием компрессора может осуществляться для создания положительного или отрицательного давления на уплотнительных сальниках турбины. Изменение положительного давления на отрицательное давление может изменить процесс для адаптации к химическому составу загрязненного атмосферного воздуха.

При работе в установившемся режиме цикла сгорания, как это описывалось выше, продукты сгорания должны непрерывно выводиться из цикла (например, удаление  $\text{CO}_2$  по линии 37 и/или удаление воды по линии 33), чтобы поддерживать баланс масс с поступающим топливом и окислителем. Полученные в результате  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  должны быть выведены и/или выпущены, однако, если в процессе, осуществляемом ниже по потоку, используется парофазный  $\text{CO}_2$ , то он может выпускаться с давлением, которое достигает давления на входе турбины. Прежде всего его необходимо подвергнуть обезвоживанию. Любые остаточные  $\text{SO}_x/\text{NO}_x$  могут быть удалены на месте (например, в разделительном устройстве 35). Затем может осуществляться повышение давления  $\text{CO}_2$  с помощью компрессоров, и/или оно может быть повышено до необходимой величины с использованием турбин рабочей среды, имеющихся в цикле производства энергии. Поток  $\text{CO}_2$  может быть дополнительно подвергнут очистке, в процессе которой также удаляются незначительные загрязнения, такие как  $\text{O}_2$  и  $\text{Ar}$ . После этого поток может отправляться для использования ниже по потоку.

Если для использования  $\text{CO}_2$  в процессе ниже по потоку его температура должна быть повышена, то может потребоваться нагреть  $\text{CO}_2$  в группе основного рекуперативного теплообменника в цикле производства энергии в противотоке с выхлопным потоком турбины. В то время как отправляемый поток нагревается в группе теплообменника, температура рециркулируемого  $\text{CO}_2$ , поступающего в турбину, будет падать. Чтобы предотвратить это изменение, расход через компрессор горячего газа может быть увеличен путем открытия направляющих заслонок на входе (IGV) на устройстве. Это будет служить цели обеспечения увеличения низкотемпературного тепла в группе теплообменника. В этом случае также будет снижен общий расход  $\text{CO}_2$ , проходящего через основной компрессор  $\text{CO}_2$ . Это приведет к закрытию заслонок IGV на этом устройстве для адаптации к новым условиям работы. Полная выходная мощность на турбине не изменится, поскольку параметры потока на входе останутся такими же, что и прежде. Также не изменится подача топлива в установку при условии поддержания температуры рециркулируемого  $\text{CO}_2$ . Скорее полезная выходная мощность установки понизится, поскольку компрессор горячего газа работает с меньшей эффективностью как устройство повышения давления по сравнению с основным компрессором  $\text{CO}_2$ . Основной эффект заключается в том, что топливо преобразовано в электричество для последующей отправки в форме тепловой энергии в потоке выпускаемого  $\text{CO}_2$ . Управление всеми действиями по сжиганию топлива и повышению давления по определению осуществляется оборудованием и средствами управления энергетического цикла. Качество и количество тепла, передаваемого в процесс ниже по потоку, может варьироваться количеством отправляемого  $\text{CO}_2$ , нагретого группой рекуперативного теплообменника, а также суммарным расходом  $\text{CO}_2$ , обработанного компрессором горячего газа.

В некоторых вариантах системы и способы, раскрытые в настоящем описании, позволяют компрессору горячего газа в цикле производства энергии обеспечивать низкотемпературное тепло для оптимизации рекуперативного теплообменника и в то же время служить источником тепла для внешних произ-

водственных процессов, использующих отправляемый из цикла  $\text{CO}_2$  в качестве исходного сырья и/или теплообменной среды. Управление компрессором горячего газа осуществляют таким образом, чтобы характеристики потока на входе турбины (и, соответственно, суммарная производительность) не изменялись, в то время как тепло обеспечивается производственному процессу ниже по потоку. В этом случае не происходит циклическое воздействие тепловых нагрузок на турбину. Однако полезная выходная мощность цикла производства энергии снижается, в связи с тем что тепло, генерируемое для внешнего производственного процесса, увеличивает паразитную нагрузку компрессора горячего газа (то есть, эффективное преобразование электричества обратно в тепловую энергию). Это приводит к изменению  $\text{CO}_2$ , производимого на один мегаватт-час, вырабатываемый в цикле производства энергии (обеспечивается гибкость в разрешении диспропорций между потреблением  $\text{CO}_2$  и потреблением энергии). Выгода для производственного процесса ниже по потоку заключается в том, что исключается необходимость в специализированном производстве тепла (например, горелки, работающие на природном газе) и оборудовании для утилизации тепла (паровые котлы, кожухотрубные теплообменные аппараты, насосы питательной воды и т.п.). Кроме того, процесс ниже по потоку способен работать без выбросов вредных газов, поскольку генерация тепловой энергии путем сжигания топлива происходит в турбине цикла производства энергии. Кроме того, в отличие от других химических процессов  $\text{CO}_2$ , генерируемый в цикле производства энергии, очищается в процессе сжигания и процессов  $\text{DeSNO}_x$  ниже по потоку без необходимости в каком-либо дополнительном оборудовании и в растворителях. Любое остаточное газообразное топливо, такое как  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , удаляется из  $\text{CO}_2$  при сжигании и любой пар,  $\text{NO}_x$  и/или  $\text{SO}_x$  удаляются ниже по потоку охладителем с непосредственным контактом. Функции управления, предлагаемые в настоящем изобретении, могут обеспечивать возможность использования раскрытых систем и способов производства энергии для получения различных конечных продуктов в дополнение к энергии. Процессы производства, повышения давления и нагрева  $\text{CO}_2$  могут быть полностью выполнены в цикле производства энергии, и поэтому можно с выгодой использовать оборудование, которое уже необходимо для осуществления энергетического цикла, даже если нет производственного процесса ниже по потоку. Сжигание природного газа для подачи тепла в процесс ниже по потоку может обеспечивать использование с выгодой расценок на электроэнергию вне пиков нагрузки. Это может обеспечивать возможность функционирования цикла производства энергии в качестве многофункционального средства, обеспечивающего электроэнергию,  $\text{CO}_2$  и тепло.

В некоторых вариантах синтез мочевины может быть в частности объединен с энергетическим циклом, и в этом случае необходим источник аммиака. Необходимый аммиак ( $\text{NH}_3$ ) может быть побочным продуктом основного цикла производства энергии или же он может быть приобретен как промышленный товар (например, на заводе по производству аммиака). В тех вариантах, в которых  $\text{NH}_3$  приобретает товарный продукт, для обеспечения способа совместного производства энергии и мочевины может выполняться цикл производства энергии по настоящему изобретению, отправляющий  $\text{CO}_2$  для синтеза мочевины. В частности,  $\text{CO}_2$  может быть получен в процессе сжигания топлива, как это описано в другом месте описания (например, отобран в качестве продукта из линии 37, отобран при повышенной температуре из некоторой точки линии 39 или отобран при более низком давлении из насоса 20 выше по потоку). Высокотемпературное тепло от сжигания топлива может быть с выгодой извлечено из выхлопного потока камеры сгорания или из выхлопного потока турбины (например, в некоторой точке теплообменника 50) путем нагрева в противотоке холодного рециркулируемого  $\text{CO}_2$  до требуемой температуры на входе камеры сгорания. Это может быть поток, давление которого повышают определенным образом с помощью насоса 20. Направляющая заслонка 32 на входе компрессора (например, компрессора 31) может быть открыта для увеличения расхода  $\text{CO}_2$  на входе компрессора, в результате чего увеличивается количество низкотемпературного тепла (например, с температурой 150-300°C), подаваемого из компрессора в процесс синтеза мочевины ниже по потоку. Расход  $\text{CO}_2$  на входе компрессора может определяться количеством дополнительного низкотемпературного тепла, необходимого для синтеза мочевины ниже по потоку. Тем временем заслонка IGV на входе основного компрессора 30 может быть закрыта для соответствующего регулирования поступающего в него  $\text{CO}_2$ . Весь поток  $\text{CO}_2$  на выходе основного теплообменника 50 может быть направлен в разделительное устройство 35 для удаления воды и удаления  $\text{SO}_x/\text{NO}_x$  (если они имеются). Давление  $\text{CO}_2$  может быть повышено до требуемой величины (например, компрессором 30 и насосом 20), и часть  $\text{CO}_2$  может быть отделена от основного потока с давлением 140-175 бар. Эта часть  $\text{CO}_2$  может быть направлена в основной теплообменник 50 для нагрева до температуры примерно 190°C, после чего эта часть  $\text{CO}_2$  под давлением примерно 140-175 бар и при температуре примерно 190°C может быть направлена в установку получения мочевины ниже по потоку. Конечные величины температуры, давления и расхода этой части  $\text{CO}_2$  могут определяться процессом синтеза мочевины. Низкотемпературное тепло, которое может потребоваться, может подаваться из компрессора 31 или из аналогичного устройства. Давление остального необходимого  $\text{CO}_2$  может быть повышено до величины, необходимой на входе камеры сгорания, и его температура может быть повышена также до необходимой величины от выхлопного потока турбины в основном теплообменнике 50, и этот  $\text{CO}_2$  направляют в камеру сгорания. При такой схеме поддерживается температурный профиль основного теплообменника.

В других вариантах цикл производства энергии в соответствии с настоящим изобретением, обеспе-

чивающий отправку  $\text{CO}_2$  для синтеза мочевины, может осуществляться с использованием аммиака, который получают одновременно с производством энергии. В таких вариантах подходящее сырье может быть обработано в подходящей установке для производства синтез-газа (например, обработка сырья в газогенераторе или в установке парового риформинга метана для получения неочищенного синтез-газа). Неочищенный синтез-газ может быть обработан в подходящей разделительной установке (например, в установке мембранного разделения), в которой от синтез-газа может быть отделен водород для синтеза аммиака. Синтез-газ с низким содержанием водорода может быть направлен в камеру сгорания и турбину в цикле производства энергии для генерации энергии, как это описано в других местах описания, а водород (или его часть) может быть направлен в установку синтеза аммиака. Выхлопной поток турбины (поток  $\text{CO}_2$ ) может быть направлен в основной теплообменник для рекуперации высокотемпературного тепла. Часть  $\text{CO}_2$  может быть направлена в компрессор для генерации низкотемпературного тепла для синтеза мочевины. Затем весь поток  $\text{CO}_2$ , выходящий из теплообменника, может быть направлен в установку  $\text{DeSNO}_x$  для удаления  $\text{SO}_x/\text{NO}_x$ . В этой установке, которая может использоваться в качестве замены или дополнения разделительного устройства 35, все соединения серы в сырье удаляются из потока  $\text{CO}_2$ . Поэтому для этой когенерационной системы исключается система удаления кислотных газов или система десульфуризации топочных газов.  $\text{CO}_2$ , выходящий из установки  $\text{DeSNO}_x$ , имеет температуру окружающей среды и давление примерно 30 бар, и в нем нет жидкой воды и соединений  $\text{SO}_x/\text{NO}_x$ . Азот из установки разделения воздуха (которая может быть неотъемлемой частью цикла производства энергии) и водород из мембранной разделительной установки направляются в установку синтеза аммиака. Синтез аммиака может осуществляться под давлением примерно 200-250 бар и при температуре примерно 400-500°C. Тепло для процесса синтеза аммиака может быть получено из выхлопного потока турбины, из компрессора горячего газа или из другого источника тепла в системе. Аммиак, полученный из установки синтеза аммиака, может быть продан как химический продукт или же может быть направлен в установку синтеза мочевины вместе с чистым  $\text{CO}_2$  из процесса  $\text{DeSNO}_x$  для производства мочевины. Производство одного или обоих продуктов из аммиака и мочевины может осуществляться, как это показано на фиг. 6.

В других вариантах энергетический цикл, описанный в настоящей заявке, может быть объединен с такими процессами, как обработка керогена в реторте. В настоящее время кероген обрабатывают в реторте, причем материал получают способом открытой добычи и подают его в печь. В процессах в соответствии с настоящим изобретением вообще может быть исключена такая добыча, и могут обеспечиваться варианты для получения и использования ресурсов, которые сейчас не могут быть использованы. В иллюстративном варианте нагретый  $\text{CO}_2$  при повышенном давлении (например, нагретый до температуры примерно 50-150°C для добычи нефти или до температуры 150-200°C для добычи газа) может быть введен в залежь керогена с низким содержанием битума. Нагретый  $\text{CO}_2$  мигрирует сквозь структуру осадочной породы, формирующую битум, в результате чего образуются более легкие углеводороды, в форме нефти и/или газа. Давление  $\text{CO}_2$  заставляет более легкие углеводороды подниматься к поверхности для их добычи.

В других вариантах энергетический цикл может использоваться в отношении улавливания углерода, утилизации и хранения его в горизонте соленых вод. Например, сжатый  $\text{CO}_2$  (например, из линии 37) может быть доставлен к месту хранения в горизонте соленых вод с давлением, требуемым для его закачки в подземный пласт. Перед закачиванием в подземный пласт поток может быть предварительно нагрет до температуры выше точки росы пласта с помощью систем и способов, описанных в заявке, в которых используется цикл производства энергии. После контакта с горизонтом соленых вод часть жидкости испаряется. Смесь пара (обессоленной воды) и части закачанного  $\text{CO}_2$  выходит через ближайшую разгрузочную скважину, так что на поверхности обеспечивается возможность получения воды и повторного использования  $\text{CO}_2$ . Кроме обессоливания происходит сброс давления в пласте, так что обеспечивается возможность дальнейшей закачки  $\text{CO}_2$ .

В некоторых вариантах, описанных в настоящей заявке, может осуществляться очистка потока  $\text{CO}_2$  для удаления кислорода, чтобы улучшить возможность использования  $\text{CO}_2$  в извлечении углеводородов. В иллюстративных вариантах заслонки IGV одного или нескольких компрессоров горячего газа могут быть открыты, так чтобы обеспечивалось увеличение расхода для нагрева потока  $\text{CO}_2$ , эквивалентного отправляемому потоку установки, до температуры примерно 250°C (эта температура может быть выше в некоторых вариантах в зависимости от конструкции компрессоров). Отправляемый поток установки может обеспечиваться с требуемым давлением через основной теплообменник 50 с нагревом от потока компрессора или же может быть получен непосредственно на выходе компрессора. Затем нагретый отправляемый поток  $\text{CO}_2$  может быть направлен в смеситель, в который вводится метан, природный газ или  $\text{H}_2$ . Затем поток нагретой смеси может быть обработан с помощью каталитической камеры сгорания, в которой тепловая энергия катализирует окисление топлива остаточным  $\text{O}_2$ , содержащимся в  $\text{CO}_2$ . Получаемый поток по существу не содержит  $\text{O}_2$ , а содержит повышенную концентрацию остаточного топлива,  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{H}_2\text{O}$ . Затем этот поток может быть охлажден с удалением всего или части содержания воды. Как можно понять из вышеизложенного, настоящее изобретение может в частности обеспечивать системы и способы для когенерации энергии и одного или нескольких конечных продуктов. В одном из

иллюстративных вариантов система может содержать, как это показано в особенности на фиг. 6: установку производства энергии, содержащую по меньшей мере камеру сгорания, турбину, теплообменник и разделительное устройство, причем установка производства энергии сконфигурирована для приема потока топлива и окислителя, а также для получения на выходе мощности и по существу чистого углекислого газа; установку производства синтез-газа, сконфигурированную для приема исходных материалов и получения товарного синтез-газа, по меньшей мере часть которого может эффективно использоваться по меньшей мере как часть потока топлива в установке производства энергии; установку разделения воздуха, сконфигурированную для обеспечения кислорода для использования в качестве окислителя в установке производства энергии и сконфигурированную для обеспечения азота; и одну или обе из установки синтеза аммиака и установки синтеза мочевины.

В некоторых вариантах может использоваться в частности установка синтеза аммиака. В таких случаях желательно, чтобы установка синтеза аммиака была сконфигурирована для приема азота из установки разделения воздуха, сконфигурирована для приема водорода из источника водорода и сконфигурирована для получения аммиака на выходе. Во взаимосвязанных вариантах источник водорода может быть установкой выделения водорода, сконфигурированной для приема по меньшей мере части товарного синтез-газа из установки производства синтез-газа и обеспечения потока водорода и потока синтез-газа с пониженным содержанием водорода, который может эффективно использоваться в качестве по меньшей мере части потока топлива в установке производства энергии.

В некоторых вариантах может использоваться в частности установка синтеза мочевины. В таких случаях может быть желательно, чтобы установка синтеза мочевины была сконфигурирована для приема азота из источника азота, сконфигурирована для приема углекислого газа из цикла производства энергии и сконфигурирована для получения на выходе потока мочевины. Во взаимосвязанных вариантах источник азота может быть в частности установкой синтеза аммиака.

Как можно также видеть на фиг. 6, системы и способы могут включать использование опциональных перепускных средств и средств управления, которые могут обеспечивать возможность отведения части синтез-газа для обхода установки выделения водорода и подачи ее непосредственно в энергетический цикл. Это обеспечивает возможность большей свободы в работе и частичной развязки с газогенератором, энергетическим циклом и установкой производства водорода. В одном или в нескольких вариантах управление перепускной линией может осуществляться в соответствии с различными входными сигналами, которые могут приниматься контроллером (например, контроллером 100 на фиг. 1-5). Например, подходящие входные сигналы могут включать любой один или любые несколько из следующих сигналов: сигнал потребляемой мощности; выходной сигнал газогенератора (например, указывающий на то, что расход синтез-газа превышает заданную пороговую величину); сигнал потребления водорода (например, указывающий на то, что расход водорода превышает заданную пороговую величину); сигнал химического состава синтез-газа, поступающего из газогенератора (например, сигнал, который может указывать на то, что расчетная или фактическая молярная концентрация одного или нескольких компонентов производимого синтез-газа превышает заданную пороговую величину); сигнал, определяющий химический состав синтез-газа для потока синтез-газа, подаваемого в энергетический цикл (смешанный поток из перепускной линии и поток синтез-газа с пониженным содержанием водорода); сигнал модификации исходного материала; сигнал работы установки разделения воздуха; сигнал наличия азота; сигнал числа Воббе смешанного топлива; и т.п. На основе одного или нескольких указанных входных сигналов один или несколько функциональных блоков, показанных на фиг. 6, могут быть оперативно настроены для обеспечения требуемого конечного продукта и/или требуемой выходной мощности. Аналогично, такие сигналы могут использоваться для изменения эффективности процессов в любой одной или в нескольких отдельных установках (например, производства энергии, производства синтез-газа, производства водорода, производства аммиака, производства компонента воздуха и производства мочевины). Аналогично, такие сигналы могут использоваться для регулирования всей производственной продукции предприятия.

Специалисты в области техники, к которой относится настоящее изобретение, после ознакомления с существом изобретения, изложенным в вышеприведенном описании со ссылками на прилагаемые чертежи, могут предложить различные модификации рассмотренных в описании вариантов, а также другие варианты осуществления изобретения. Поэтому должно быть ясно, что объем изобретения не ограничивается конкретными рассмотренными примерами, и что их модификации, а также и другие варианты охватываются объемом прилагаемой формулы изобретения. Хотя в настоящем описании используются специальные термины, они используются только в целях описания и никоим образом не ограничивают объем изобретения. Использование в настоящей заявке слов "примерно" и "по существу" может указывать относительные степени, так что величина, которая "примерно" равна определенной величине или "по существу" равна определенной величине, может быть точным числом  $\pm 5\%$ ,  $\pm 4\%$ ,  $\pm 3\%$ ,  $\pm 2\%$  или  $\pm 1\%$ .

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ управления энергетической установкой, включающий регулирование теплового профиля теплообменного аппарата (ТОА), работающего с группой потоков, проходящих между первым концом ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом ТОА со второй, более низкой, рабочей температурой,

причем регулирование включает осуществление функции управления, которая изменяет массовый расход одного или нескольких потоков из группы потоков, проходящих между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, путем добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора массового расхода из одного или из нескольких потоков из группы потоков в диапазоне промежуточных температур внутри ТОА в точке, которая находится между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, и

регулирование включает одно или более из следующего:

обеспечение обхода частью нагретого потока, проходящего через ТОА, секции ТОА по перепускной линии, так что регулирование обеспечивает уменьшение массового расхода нагретого потока, проходящего через секцию ТОА, которая обходится;

обеспечение прохождения части рециркулируемого потока, нагреваемого в ТОА, в выхлопной поток, охлаждаемый в ТОА, так что регулирование обеспечивает увеличение массового расхода выхлопного потока, проходящего через секцию ТОА;

обеспечение прохождения части потока окислителя, нагреваемого в ТОА, в выхлопной поток, охлаждаемый в ТОА, так что регулирование обеспечивает увеличение массового расхода выхлопного потока, проходящего через секцию ТОА.

2. Способ по п.1, в котором нагретый поток, проходящий через ТОА, представляет собой нагретый выхлопной поток, выходящий из турбины, причем этот нагретый выхлопной поток турбины проходит от первого конца ТОА ко второму концу ТОА для обеспечения охлажденного выхлопного потока турбины, и затем охлажденный выхлопной поток турбины пропускают для обработки через одно или через несколько устройств из разделительного устройства, компрессора и насоса.

3. Способ по п.2, в котором функция управления включает обеспечение обхода частью нагретого потока, проходящего через ТОА, секции ТОА по перепускной линии, в ответ на один или оба из следующих сигналов, принятых контроллером:

сигнал, указывающий на изменение потребляемой мощности, вызывающее изменение режима работы турбины, в результате чего изменяется генерация мощности энергетической установкой;

сигнал, указывающий на то, что температура внутри ТОА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОА.

4. Способ по п.3, в котором функция управления включает открытие трубопроводной арматуры, расположенной в перепускной линии.

5. Способ по п.3, в котором часть нагретого потока, проходящего по перепускной линии, объединяют с охлажденным выхлопным потоком турбины ниже по потоку второго конца ТОА и выше по потоку одного или нескольких устройств из разделительного устройства, компрессора и насоса.

6. Способ по п.1, дополнительно включающий обеспечение обработки части нагретого потока, проходящего по перепускной линии, в перепускном теплообменнике для передачи тепла от части нагретого потока в перепускной линии одному или нескольким дополнительным потокам.

7. Способ по п.1, в котором функция управления включает обеспечение прохождения соответствующей части рециркулируемого потока и потока окислителя в выхлопной поток в ответ на один или оба из следующих сигналов:

сигнал, указывающий на изменение потребляемой мощности, вызывающее изменение режима работы турбины, в результате чего изменяется генерация мощности энергетической установкой;

сигнал, указывающий на то, что температура внутри ТОА находится в пределах заданного диапазона относительно максимальной рабочей температуры ТОА.

8. Способ по п.1, в котором энергетическая установка содержит рециркуляционный компрессор, сконфигурированный для отбора части нагретого выхлопного потока турбины, пропускаемого через ТОА, повышения давления части отобранного нагретого выхлопного потока турбины и воссоединения части нагретого выхлопного потока турбины, после повышения ее давления, в секции ТОА ниже по потоку.

9. Способ по п.8, в котором функция управления включает закрытие направляющей заслонки на входе рециркуляционного компрессора в ответ на сигнал о том, что температура внутри ТОА находится в пределах заданного интервала относительно максимальной рабочей температуры ТОА.

10. Способ по п.1, дополнительно включающий добавление тепла к одному или к нескольким потокам из группы потоков, проходящих между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, причем добавляют тепло, температура которого находится в диапазоне промежуточных температур внутри ТОА в точке, находящейся между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, и тепло добавляют с использо-

ванием нагревателя, работающего независимо от ТОА.

11. Способ по п.10, в котором нагреватель представляет собой нагреватель, использующий тепло от сгорания топлива.

12. Способ по п.11, в котором тепло добавляют в выхлопной поток турбины, проходящий через ТОА, и выхлопной поток нагревателя, использующего тепло от сгорания топлива, добавляют непосредственно в выхлопной поток турбины.

13. Энергетическая установка, содержащая:

турбину;

генератор энергии;

теплообменный аппарат (ТОА);

один или несколько компрессоров или насосов; и

блок управления;

причем ТОА выполнен с возможностью теплообмена между группой потоков, проходящих между первым концом ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом ТОА со второй, более низкой, температурой;

ТОА содержит один или несколько компонентов, выполненных с возможностью добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора массового расхода из одного или из нескольких потоков из группы потоков в точке, которая находится между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, так что часть текучей среды, проходящей в одном или в нескольких потоках из группы потоков, отводится от прохождения через остальную часть ТОА;

блок управления выполнен с возможностью приема сигнала, определяющего рабочий режим энергетической установки, и на основе этого сигнала вырабатывания выходного сигнала, обеспечивающего управление одним или несколькими компонентами, выполненными с возможностью добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора массового расхода из одного или из нескольких потоков из группы потоков;

ТОА выполнен с возможностью теплообмена по меньшей мере между выхлопным потоком турбины, выходящим из турбины, и одним или обоими из рециркулируемого потока и потока окислителя; и

один или несколько компонентов, выполненных с возможностью добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора массового расхода из одного или из нескольких потоков из группы потоков, включают одно или более из следующего:

перепускную линию и перепускную арматуру, выполненные с возможностью отвода части выхлопного потока турбины, так что эта часть обходит секцию ТОА;

рециркуляционную линию и рециркуляционную арматуру, расположенные между выхлопным потоком турбины и рециркуляционным потоком;

рециркуляционную линию и рециркуляционную арматуру, расположенные между выхлопным потоком турбины и потоком окислителя.

14. Энергетическая установка по п.13, дополнительно содержащая также перепускной теплообменник, работающий с перепускной линией и выполненный с возможностью передачи тепла от части выхлопного потока турбины, отведенной в перепускную линию, одному или нескольким другим потокам.

15. Энергетическая установка по п.13, дополнительно содержащая нагреватель, выполненный с возможностью работы независимо от ТОА и с возможностью добавления тепла к выхлопному потоку в точке, которая находится между первым концом ТОА и вторым концом ТОА.

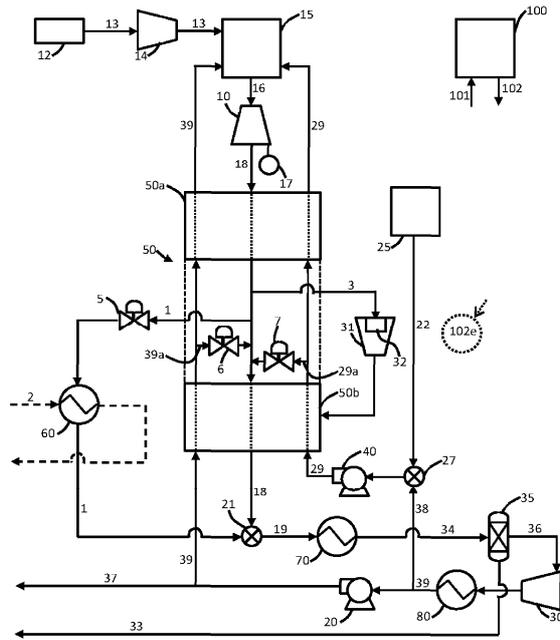
16. Энергетическая установка по п.15, в которой нагреватель представляет собой нагреватель, использующий тепло от сгорания топлива.

17. Способ управления энергетической установкой, включающий регулирование теплового профиля теплообменного аппарата (ТОА), работающего с группой потоков, проходящих между первым концом ТОА с первой рабочей температурой и вторым концом ТОА со второй, более низкой, рабочей температурой,

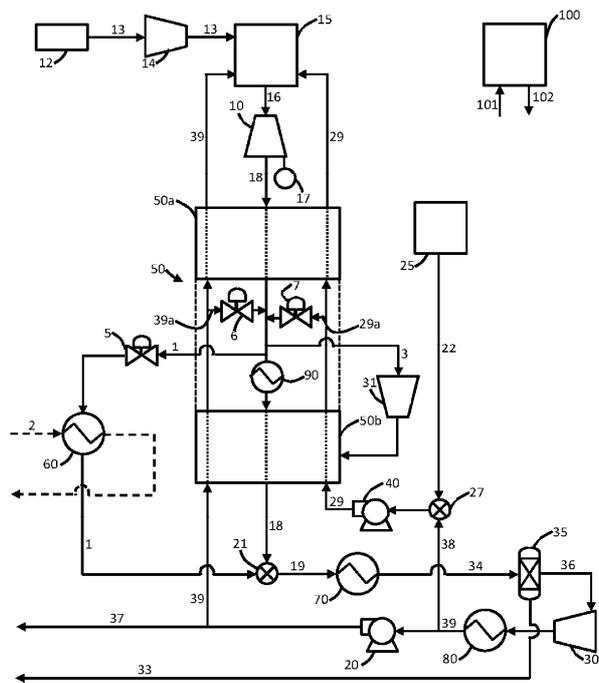
причем регулирование включает осуществление функции управления, которая изменяет массовый расход одного или нескольких потоков из группы потоков, проходящих между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, путем добавления массового расхода к одному или к нескольким потокам из группы потоков или отбора массового расхода из одного или из нескольких потоков из группы потоков в диапазоне промежуточных температур внутри ТОА в точке, которая находится между первым концом ТОА и вторым концом ТОА, и

энергетическая установка содержит рециркуляционный компрессор, посредством которого осуществляют отбор части нагретого выхлопного потока турбины, пропускаемого через ТОА, повышение давления части отобранного нагретого выхлопного потока турбины и воссоединение части нагретого выхлопного потока турбины, после повышения ее давления, в секции ТОА ниже по потоку.

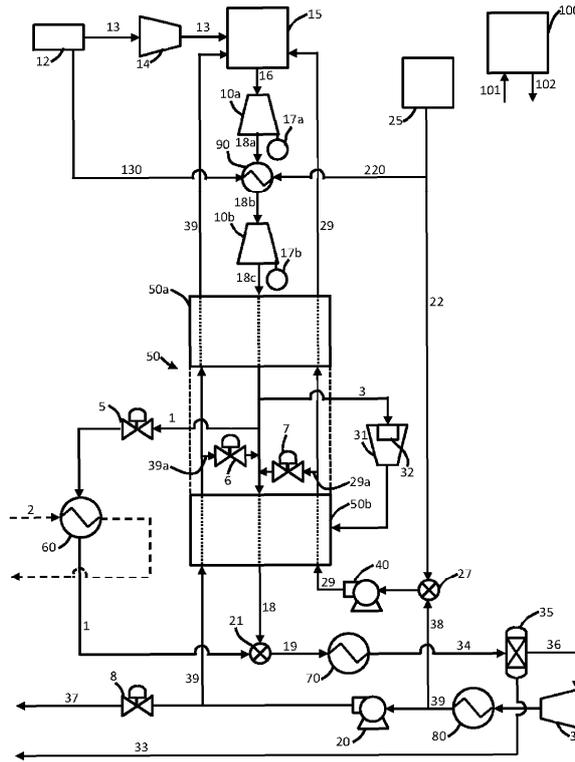




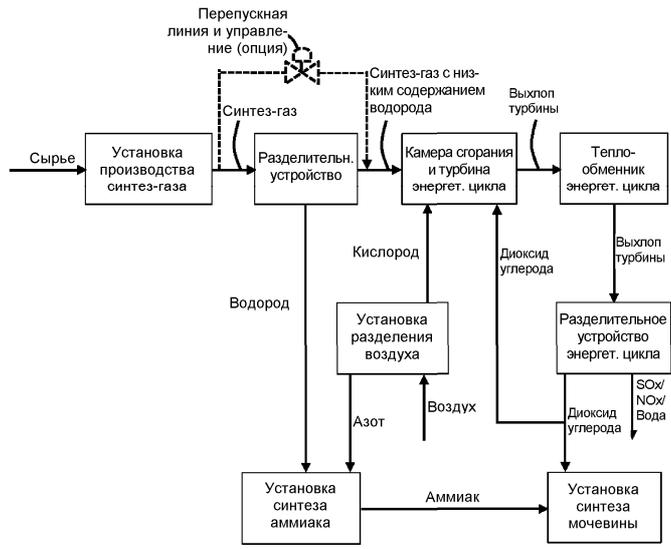
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

