(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 041135 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.09.16

(21) Номер заявки
201992415

(22) Дата подачи заявки
2015.11.11

(51) Int. Cl. ***F02C 9/00*** (2006.01)
F02C 9/24 (2006.01)
F02C 9/26 (2006.01)
F02C 9/28 (2006.01)

(54) СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ И СПОСОБ ЕЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

(31) **62/078,833**
(32) **2014.11.12**
(33) **US**
(43) **2020.02.28**
(62) **201791047; 2015.11.11**

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

(72) Изобретатель:
Фетведт Джереми Эрон (US), Аллам Родни Джон (GB)

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

(56) US-A1-2014053529
EP-A2-2333281
US-B1-6460324
US-A1-20090241510

(57) В изобретении описаны система генерирования мощности, содержащая нагреватель и генератор мощности, и способ автоматического управления ею, использующие интегрированные системы регулирования, обеспечивающие динамическое управление в системах генерирования мощности, которое может выполняться на основе входных сигналов, принятых контроллерами, и выходных сигналов, поступающих с контроллеров на один или несколько компонентов систем генерирования мощности.

041135 B1

041135 B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к системам и способам для автоматического управления установками генерирования мощности (выработки энергии), в частности, которые могут быть объединены с такими установками.

Уровень техники

Существует острая необходимость в разработке энергетических систем, которые могут удовлетворять растущие потребительские запросы. Хотя множество работ посвящено системам, в которых не используется сжигание органических топлив, стоимостные факторы и доступность органических топлив, в особенности углей и природного газа (а также отвальных углеводородов, например, остаточных нефтепродуктов), обусловливают постоянную потребность в системах, сконфигурированных таким образом, чтобы сжигать такие топлива, в частности с высокой эффективностью и полным улавливанием углерода. Для удовлетворения этих требований сохраняется постоянное стремление к разработке систем регулирования, способных обеспечить прецизионное управление энергетическими системами.

Раскрытие изобретения

В настоящем изобретении предлагается система генерирования мощности со встроенной системой регулирования, выполненной с возможностью автоматического управления по меньшей мере одним компонентом системы генерирования мощности, содержащая

нагреватель;

генератор мощности и

по меньшей мере один контроллер,

причем по меньшей мере один контроллер сконфигурирован с возможностью приема входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала, обеспечивающего корректирование потока топлива к нагревателю и, тем самым, регулирование выдачи тепла нагревателем, и

по меньшей мере один контроллер сконфигурирован с возможностью приема того же или другого входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала для регулирования расхода потока рабочей текучей среды (далее также называемой "рабочим телом") к нагревателю.

В частных вариантах выполнения по меньшей мере один контроллер включает контроллер мощности, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к мощности, вырабатываемой генератором мощности, и выдачи выходного сигнала, обеспечивающего корректирование потока топлива к нагревателю и, тем самым, регулирование выдачи тепла нагревателем. Контроллер мощности предпочтительно сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

обеспечение выдачи выходного сигнала на нагреватель для повышения или снижения выработки тепла нагревателем;

обеспечение подачи выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока ниже по потоку от нагревателя, и обеспечения подачи выходного сигнала на насос для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер отношения топливо/окислитель, сконфигурированный с возможностью приема одного или обоих из входного сигнала, относящегося к расходу топлива в нагреватель, и входного сигнала, относящегося к расходу окислителя в нагреватель, и на выполнение одного или обоих из следующих требований:

обеспечение подачи выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель;

обеспечение подачи выходного сигнала на клапан окислителя для пропускания большего или меньшего количества окислителя в нагреватель.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к одному или обоим из массового расхода топлива и массового расхода окислителя, подаваемых к нагревателю, и вычисления соотношения массовых расходов топлива и окислителя, и контроллер насоса окислителя сконфигурирован с возможностью обеспечения подачи выходного сигнала на насос окислителя для изменения мощности насоса так, чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя, подаваемых к нагревателю.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер давления окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению потока окислителя выше по потоку от компрессора окислителя, и обеспечения выходного сигнала, так чтобы вызывать большее или меньшее добавление рабочей текучей среды к потоку окислителя выше по потоку от компрессора окислителя.

Рабочая текучая среда представляет собой поток в основном чистого CO_2.

Нагреватель представляет собой камеру сгорания.

В другом частном варианте выполнения нагреватель представляет собой нагреватель с использованием солнечной энергии.

Нагреватель выполнен с возможностью получения тепла от потока текучей среды с температурой выше 400°C.

В настоящем изобретении также предлагается способ автоматического управления системой генерирования мощности, включающий

сжигание в нагревателе топлива с окислителем в присутствии рабочей текучей среды и выпуск из нагревателя выхлопного потока;

генерирование мощности, используя выхлопной поток;

использование по меньшей мере одного контроллера для приема по меньшей мере одного входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала, обеспечивающего корректирование потока одного или обоих из топлива или окислителя к нагревателю и, тем самым, регулирование количества тепла в выхлопном потоке, и

использование по меньшей мере одного контроллера для приема того же или другого входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю.

В частных вариантах осуществления по меньшей мере один контроллер включает контроллер мощности, который принимает входной сигнал, относящийся к мощности, вырабатываемой генератором мощности, и выдает выходной сигнал для корректировки расхода топлива к нагревателю и, тем самым, регулирования количества тепла в выхлопном потоке.

Контроллер мощности сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

выдача выходного сигнала на нагреватель для повышения или снижения выработки тепла нагревателем;

подача выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса, который принимает входной сигнал, относящийся к температуре выхлопного потока ниже по потоку от нагревателя, и подает выходной сигнал на насос для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер отношения топливо/окислитель, который принимает один или оба из входного сигнала, относящегося к расходу топлива в нагреватель, и входного сигнала, относящегося к расходу окислителя в нагреватель, и обеспечивает выполнение одного или обоих из следующих требований:

подача выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель;

подача выходного сигнала на клапан окислителя для пропускания большего или меньшего количества окислителя в нагреватель.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса окислителя, который принимает входной сигнал, относящийся к одному или обоим из массового расхода топлива и массового расхода окислителя, подаваемых к нагревателю, и вычисляет соотношение массовых расходов топлива и окислителя, и контроллер насоса окислителя обеспечивает подачу выходного сигнала на насос окислителя для изменения мощности насоса, так чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя, подаваемых к нагревателю.

По меньшей мере один контроллер включает контроллер давления окислителя, который принимает входной сигнал, относящийся к давлению потока окислителя выше по потоку от компрессора окислителя, и обеспечивает выдачу выходного сигнала, вызывающего большее или меньшее добавление рабочей текучей среды к потоку окислителя выше по потоку от компрессора окислителя.

Могут быть обеспечены системы и способы регулирования, пригодные для управления одним или несколькими параметрами системы генерирования мощности. В частности, системы регулирования могут обеспечить управление одним или несколькими параметрами из группы, включающей давление, температуру, расход и состав потока для одного или нескольких потоков в системе генерирования мощности. Системы регулирования могут обеспечить оптимальную эффективность системы генерирования мощности. Системы регулирования могут также обеспечить управление такими функциями системы генерирования мощности, как запуск системы, остановка системы, изменение входного потока(ов) в системе, изменение выходного потока(ов) в системе, управление в чрезвычайных ситуациях возникающих в системе, и другими подобными аспектами, касающимися системы генерирования мощности.

В настоящем изобретении используются системы регулирования, пригодные для использования в установках генерирования мощности. Например, установка генерирования мощности может представлять собой установку, в которой в камере сгорания сжигается топливо (например, углеводороды, в частности углеводородный газ) в атмосфере в основном чистого кислорода под давлением приблизительно 12 МПа или более при добавлении циркуляционного CO_2 потока с получением в итоге смешанного потока продуктов горения и циркуляционного CO_2. В некоторых вариантах выполнения генерация мощности может отличаться одним или несколькими следующими признаками, которые могут комбинироваться в любом числе и порядке.

Смешанный поток может пропускаться через энергетическую турбину с выходным давлением приблизительно 10 бар.

Турбинные выхлопы могут охлаждаться в теплообменнике-экономайзере, предварительно нагревая циркуляционный CO_2 поток.

Турбинные выхлопы могут дополнительно охлаждаться до температуры, близкой к окружающей, и сконденсировавшаяся вода может удаляться.

Для формирования циркуляционного CO_2 потока газовый CO_2 поток может сжиматься до давления, равного или близкого к входному давлению турбины, с использованием газового компрессора, за которым следует повышающий плотность насос.

Чистый CO_2 продукт, получившийся в камере сгорания, может удаляться под любым давлением в диапазоне от входного до выходного давления турбины.

Для снижения температурной разницы между турбинными выхлопами и циркуляционным CO_2 потоком, выходящим из теплообменника-экономайзера, приблизительно до 50°C или менее может вводиться тепло от внешнего источника, предварительно нагревающее часть циркуляционного CO_2 потока до температуры от 200 до 400°C.

Расход топливного газа может регулироваться для обеспечения требуемой выходной мощности турбины.

Выходная температура турбины может регулироваться CO_2 насосом.

Выходное давление CO_2 компрессора можно регулировать путем рециркуляции потока сжатого CO_2 обратно на вход компрессора.

Расход чистого CO_2 продукта, получившегося при сжигании топливного газа и удаляемого из системы, может использоваться для регулирования входного давления CO_2 компрессора.

Разницу между температурой турбинных выхлопов, поступающих в теплообменник-экономайзер, и температурой циркуляционного CO_2 потока, выходящего из теплообменника-экономайзера, можно регулировать так, чтобы она не превышала 50°C, путем регулирования расхода в части циркуляционного CO_2 потока, нагреваемой от источника добавочного тепла.

Расход чистой жидкой воды и получившихся из топлива загрязняющих примесей, выводимых из системы, можно регулировать уровнем в сепараторе жидкой воды.

Расход кислорода можно регулировать так, чтобы поддерживать отношение расхода кислорода к расходу топливного газа на уровне, обусловливающем заданный избыток кислорода во входном потоке турбины, что гарантирует полное сгорание топливного газа и окисление компонентов, входящих в топливный газ.

Поток кислорода под давлением, соответствующим давлению на входе CO_2 компрессора, может быть смешан с некоторым количеством CO_2, отведенного со входа CO_2 компрессора, для получения потока окислителя, содержащего приблизительно от 15 до приблизительно 40 мол.% кислорода, что может привести к снижению температуры адиабатического пламени в камере сгорания.

Потоком окислителя, необходимым для получения требуемого отношения окислителя к топливному газу, можно управлять за счет скорости насоса окислителя.

Выходное давление компрессора окислителя можно регулировать за счет рециркуляции потока сжатого окислителя на вход компрессора.

Входное давление компрессора окислителя можно регулировать, изменяя расход разбавляющего CO_2, смешиваемого с кислородом при формировании потока окислителя.

Отношение кислорода к CO_2 в потоке окислителя можно регулировать путем изменения потока кислорода.

Кислород может поступать в систему генерирования мощности под давлением, по крайней мере, не меньшем давления на входе турбины, и желательно, чтобы в потоке окислителя молярная концентрация кислорода лежала в диапазоне приблизительно от 15 до приблизительно 40%.

Отношение кислорода к топливному газу можно регулировать величиной потока кислорода.

Отношение кислорода к CO_2 в потоке окислителя можно регулировать величиной потока разбавляющего CO_2, отведенного с выхода CO_2 компрессора.

В любом из рассмотренных здесь вариантов регулирование первого параметра за счет второго параметра может, в частности, означать, что второй параметр является измеряемым (например, датчиком) или иным образом отслеживаемым, или что второй параметр вычисляет компьютер на основе дополнительно предоставляемой информации, справочных таблиц или допускаемых величин, и контроллер инициирует последовательность управляющих команд на базе измеренного или вычисленного параметра, так чтобы соответствующим образом скорректировать первый параметр (например, открывая или закрывая соответствующую арматуру (далее - клапан), увеличивая или снижая мощность насоса и т.д.). Другими словами, второй параметр используется как сигнал запуска для контроллера на выполнение корректировки первого параметра.

В настоящем изобретении обеспечиваются системы генерирования мощности, включающие встроенную систему регулирования, которая может быть сконфигурирована так, чтобы автоматически управлять по меньшей мере одним компонентом системы генерирования мощности. В частности, система ре-

гулирования может содержать по меньшей мере один контроллер, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к измеренному параметру системы генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал по меньшей мере на один компонент системы генерирования мощности, подлежащий автоматическому управлению. Система генерирования мощности и система регулирования могут также характеризоваться одним или несколькими следующими положениями, которые могут сочетаться в любом количестве и порядке.

Система генерирования мощности может быть сконфигурирована так, чтобы поступление тепла происходило за счет сжигания топлива.

Система генерирования мощности может быть сконфигурирована так, чтобы поступление тепла происходило от источника, не связанного со сжиганием топлива.

Система генерирования мощности может быть сконфигурирована так, чтобы происходила рециркуляция потока CO_2.

Система генерирования мощности может быть сконфигурирована так, чтобы вырабатывать некоторое количество CO_2, которое может быть опционально выведено из системы, например, путем подачи в магистраль или использования в других целях, например, во вторичных методах добычи нефти.

Система генерирования мощности может быть сконфигурирована так, чтобы использовать рабочее тело, которое циклически сжимается, нагревается и расширяется.

Встроенная система регулирования может содержать контроллер мощности, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к мощности, вырабатываемой одним или несколькими выдающими мощность компонентами системы генерирования мощности.

Контроллер мощности может быть сконфигурирован так, чтобы выполнялись одно или оба из следующих требований: обеспечивать выходной сигнал на нагревательный компонент системы генерирования мощности для увеличения или снижения выработки тепла нагревательным компонентом; обеспечивать выходной сигнал на топливный клапан (арматуру) для пропускания большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности.

Встроенная система регулирования может содержать контроллер отношения топливо/окислитель, сконфигурированный так, чтобы принимать сигнал, относящийся к расходу топлива, или сигнал, относящийся к расходу окислителя, или и тот, и другой сигналы.

Контроллер отношения топливо/окислитель может быть сконфигурирован так, чтобы выполнялись одно или оба из следующих требований: обеспечивать выходной сигнал на топливный клапан на пропускание большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности; обеспечивать выходной сигнал на клапан окислителя на пропускание большего или меньшего количества окислителя в систему генерирования мощности.

Встроенная система регулирования может включать контроллер насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока турбины в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на насос, расположенный выше по потоку от турбины, для увеличения или уменьшения расхода потока, выходящего из насоса.

Встроенная система регулирования может включать контроллер давления на всасе насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению текучей среды со стороны всаса выше по потоку от насоса в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан перепуска/рециркуляции, установленный выше по потоку от насоса.

Контроллер давления всасывания (со стороны всасывания) компрессора может быть сконфигурирован так, чтобы выполнялись одно или оба из следующих требований: вызывать перетекание большего или меньшего количества текучей среды обратно в точку, находящуюся выше по потоку от перепускного клапана; вызывать отвод из системы генерирования мощности большего или меньшего количества текучей среды в точке, находящейся выше по потоку от насоса.

Встроенная система регулирования может включать контроллер регулирования давления, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению в выхлопном потоке турбины в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан отвода (выпуска) текучей среды, выполненный с возможностью вывода текучей среды из выхлопного потока, и, опционально, обеспечивать выходной сигнал на клапан отвода текучей среды на пропускание текучей среды в выхлопной поток.

Встроенная система регулирования может включать контроллер водного сепаратора, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к количеству воды в сепараторе системы генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан отвода воды, так чтобы разрешать или блокировать отвод воды из сепаратора, а также поддерживать количество воды в сепараторе в заданном объеме.

Встроенная система регулирования может включать контроллер насоса окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу топлива, или к массовому расходу окислителя, или к ним обоим в системе генерирования мощности, а также вычислять соотношение массовых расходов топлива и окислителя.

Контроллер насоса окислителя сконфигурирован так, чтобы обеспечивать выходной сигнал на на-

сос окислителя, изменяя мощность насоса таким образом, чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя в системе генерирования мощности.

Встроенная система регулирования может включать контроллер давления окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя ниже компрессора окислителя, и обеспечивать выходной сигналы на перепускной клапан окислителя, вызывающий больший или меньший перепуск окислителя в обход компрессора.

Встроенная система регулирования может включать контроллер давления окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя ниже компрессора окислителя, и обеспечивать выходной сигнал на клапан рециркуляции текучей среды, вызывающий введение большего или меньшего количества текучей среды из системы генерирования мощности в поток окислителя выше компрессора окислителя. В частности, циркуляционная текучая среда может быть потоком в основном чистого CO_2.

Встроенная система регулирования может включать контроллер разбавления, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу окислителя, или к массовому расходу в потоке разбавителя окислителя, или к ним обоим, а также вычислять соотношение расходов окислителя и разбавителя окислителя.

Контроллер разбавления может быть сконфигурирован так, чтобы обеспечивать выходной сигнал на входной клапан окислителя, пропуская большее или меньшее количество окислителя в систему генерирования мощности, так чтобы отношение массового расхода окислителя к разбавителю окислителя находилось в заданном диапазоне.

Встроенная система регулирования может включать контроллер давления всасывания компрессора, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению всасывания текучей среды выше по потоку от компрессора в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на перепускной клапан, расположенный ниже по потоку от компрессора и обусловливающий перепуск большего или меньшего количества текучей среды в точку, находящуюся выше по потоку от компрессора.

Встроенная система регулирования может включать контроллер скорости насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению со стороны всаса выше по потоку от насоса, и обеспечивать выходной сигнал на насос для увеличения или снижения скорости насоса.

Встроенная система регулирования может включать контроллер нагрева отводного потока, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к вычисленным требованиям по массовому расходу в отводном потоке от рециркуляционного потока высокого давления в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан отводного потока для увеличения или уменьшения доли рециркуляционного потока высокого давления, направляемой в отводной поток.

Система генерирования мощности может содержать турбину; компрессор, установленный ниже по потоку от турбины и сообщающийся с турбиной; насос, установленный ниже по потоку от компрессора и сообщающийся с компрессором; и нагреватель, установленный ниже по потоку от насоса и сообщающийся с насосом, а также выше по потоку от турбины и сообщающийся с турбиной, опционально, система генерирования мощности может содержать рекуперативный теплообменник.

В настоящем изобретении обеспечивается автоматическое управление системой генерирования мощности. В частности, может обеспечиваться функционирование/действие системы генерирования мощности, содержащей группу компонентов, в которую входят турбина; компрессор, установленный ниже по потоку от турбины и сообщающийся с турбиной; насос, установленный ниже по потоку от компрессора и сообщающийся с компрессором; и нагреватель, установленный ниже по потоку от насоса и сообщающийся с насосом, а также выше по потоку от турбины и сообщающийся с турбиной. Кроме того, функционирование системы генерирования мощности может включать использование объединенных с системой генерирования мощности контроллеров, предназначенных для приема входного сигнала, относящегося к измеряемому параметру системы генерирования мощности, и обеспечения выходного сигнала, автоматически регулирующего работу по меньшей мере одного компонента из группы компонентов системы генерирования мощности. В дополнительных вариантах выполнения такой способ может включать одну или несколько следующих стадий, которые могут объединяться в любом числе и в любом сочетании.

Выходной сигнал может получаться на основе программного, заложенного в компьютер алгоритма управления.

Функционирование может включать поступление тепла за счет горения топлива.

Функционирование может включать поступление тепла от источника, не связанного со сжиганием топлива.

Функционирование может включать рециркуляцию потока CO_2.

Функционирование может включать выработку некоторого количества CO_2, которое может быть опционально выведено из системы, например, путем подачи в магистраль или использования в других целях, например, во вторичных методах добычи нефти.

Функционирование может включать использование рабочего тела, которое циклически сжимается, нагревается и расширяется.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к системе генерирования мощности, и управления одной или обеими из следующих операций: обеспечение подачи выходного сигнала на нагревательный компонент системы генерирования мощности для увеличения или снижения выработки тепла нагревательным компонентом; обеспечение выходного сигнал на топливный клапан системы генерирования мощности для пропускания большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности.

Функционирование может включать использование контроллера для приема или входного сигнала, относящегося к расходу топлива, или входного сигнала, относящегося к расходу окислителя, или к ним обоим, а также для управления одной или обеими из следующих операций: обеспечение выходного сигнала на топливный клапан системы генерирования мощности для пропускания большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности; обеспечение подачи выходного сигнала на клапан окислителя системы генерирования мощности для пропускания большего или меньшего количества окислителя в систему генерирования мощности.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока турбины, и обеспечения подачи выходного сигнала на насос, расположенный выше по потоку от турбины, для увеличения или снижения расхода потока, выходящего из насоса.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению потока текучей среды на всасе выше насоса, и обеспечения подачи выходного сигнала на перепускной клапан, расположенный выше по потоку от насоса. В частности, должны удовлетворяться одно или оба из следующих требований: контроллер вызывает перетекание большего или меньшего количества текучей среды обратно в точку, находящуюся выше по потоку от перепускного клапана; контроллер вызывает отвод из системы генерирования мощности большего или меньшего количества текучей среды в точке, находящейся выше по потоку от насоса.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению в выхлопном потоке турбины, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отвода текучей среды и возможности отвода текучей среды из выхлопного потока, а также опционально для обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отвода текучей среды и возможности ввода текучей среды в выхлопной поток.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к количеству воды в сепараторе, введенном в систему генерирования мощности, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отвода воды и возможности отводить или не отводить воду из сепаратора для поддержания количества воды в сепараторе в заданном объеме.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу топлива, или к массовому расходу окислителя, или к ним обоим в системе генерирования мощности, а также вычислять соотношение массовых расходов топлива и окислителя. В частности, контроллер может обеспечивать выходной сигнал на насос окислителя, изменяя мощность насоса таким образом, чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя в системе генерирования мощности.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя ниже компрессора окислителя, и обеспечения подачи выходного сигнала на перепускной клапан окислителя, так чтобы вызывать пропускание большего или меньшего количества окислителя в обход компрессора.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя выше компрессора окислителя, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан рециркуляции текучей среды, так чтобы вызывать добавление большего или меньшего количества рециркуляционной текучей среды в поток окислителя в точке, находящейся выше по потоку от компрессора окислителя. В частности циркуляционная текучая среда может быть потоком в основном чистого CO_2.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу окислителя, или к массовому расходу в потоке разбавителя окислителя, или к ним обоим, а также вычислять соотношение массовых расходов окислителя и разбавителя окислителя. В частности, контроллер может быть сконфигурирован так, чтобы обеспечивать выходной сигнал на входной клапан окислителя, пропуская большее или меньшее количество окислителя в систему генерирования мощности, так чтобы отношение массового расхода окислителя к разбавителю окислителя находилось в заданном диапазоне.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению всасывания выше компрессора в потоке текучей среды, и обеспечения подачи выходного сигнала на перепускной клапан, установленный ниже по потоку от компрессора и обусловливающий перепуск большего или меньшего количества текучей среды в точку, находящуюся выше по

потоку от компрессора.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению со стороны всаса выше по потоку от насоса, и обеспечения подачи выходного сигнала на насос для увеличения или снижения скорости насоса.

Функционирование может включать использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к вычисленному требованию по массовому расходу в отводном потоке от рециркуляционного потока высокого давления, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отводного потока, увеличивающего или уменьшающего долю рециркуляционного потока высокого давления, направляемую в отводной поток.

Ниже приведены различные варианты систем и способов, отражающие идеи настоящего изобретения.

Вариант 1: система генерирования мощности, содержащая встроенную систему регулирования, выполненную с возможностью управления по меньшей мере одним компонентом системы генерирования мощности и включающую по меньшей мере один блок контроллера, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к измеряемым параметрам системы генерирования мощности, и обеспечивать подачу выходного сигнала по меньшей мере на один компонент системы генерирования мощности, подлежащий автоматическому управлению.

Вариант 2: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер мощности, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к мощности, вырабатываемой одним или несколькими генерирующими мощность компонентами системы генерирования мощности.

Вариант 3: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой контроллер мощности сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

обеспечивать выдачу выходного сигнала на нагревательный компонент системы генерирования мощности, повышая или понижая выработку тепла нагревательным компонентом;

обеспечивать подачу выходного сигнала на топливный клапан, пропуская больше или меньше топлива в систему генерирования мощности.

Вариант 4: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер отношения топливо/окислитель, сконфигурированный так, чтобы принимать или сигнал, относящийся к расходу топлива, или сигнал, относящийся к расходу окислителя, или оба сигнала.

Вариант 5: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой контроллер отношения топливо/окислитель сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

обеспечивать подачу выходного сигнала на топливный клапан, пропуская больше или меньше топлива в систему генерирования мощности;

обеспечивать подачу выходного сигнала на клапан окислителя, пропуская больше или меньше окислителя в систему генерирования мощности.

Вариант 6: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер насоса, сконфигурированный так, чтобы принимать входной сигналы, относящийся к температуре выхлопного потока турбины в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на насос, расположенный выше по потоку от турбины, для увеличения или уменьшения расхода потока, выходящего из насоса.

Вариант 7: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер давления на всасе насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению текучей среды со стороны всаса выше по потоку от насоса в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан перепуска, установленный выше по потоку от насоса.

Вариант 8: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой контроллер давления на всасе насоса сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

вызывать перетекание большего или меньшего количества текучей среды в точку, находящуюся выше по потоку от перепускного клапана;

вызывать отвод большего или меньшего количества текучей среды из системы генерирования мощности в точке, находящейся выше по потоку от насоса.

Вариант 9: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер регулирования давления, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению выхлопного потока турбины в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан отвода текучей среды, выполненный с возможностью вывода текучей среды из выхлопного пото-

ка, и опционально обеспечивать выходной сигнал на клапан отвода текучей среды и пропускать текучую среду в выхлопной поток.

Вариант 10: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер водного сепаратора, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к количеству воды в сепараторе системы генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан отвода воды, разрешая или блокируя отвод воды из сепаратора, а также поддерживая количество воды в сепараторе в заданном объеме.

Вариант 11: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер насоса окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу топлива, или к массовому расходу окислителя, или к ним обоим в системе генерирования мощности, а также вычислять соотношение массовых расходов топлива и окислителя.

Вариант 12: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой контроллер насоса окислителя сконфигурирован так, чтобы обеспечивать выходной сигнал на насос окислителя, изменяя мощность насоса так, чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя в системе генерирования мощности.

Вариант 13: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер давления окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя ниже компрессора окислителя, и обеспечивать выходной сигнал на перепускной клапан окислителя, вызывающий перетекание большего или меньшего количества окислителя в обход компрессора.

Вариант 14: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер давления окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя ниже компрессора окислителя, и обеспечивать выходной сигнал на клапан рециркуляции текучей среды, вызывающий введение большего или меньшего количества текучей среды из системы генерирования мощности в поток окислителя выше компрессора окислителя.

Вариант 15: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой рециркуляционная текучая среда представляет собой поток в основном чистого CO_2.

Вариант 16: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер разбавления, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу окислителя, или к массовому расходу в потоке разбавителя окислителя, или к ним обоим, а также вычислять соотношение расходов окислителя и разбавителя окислителя.

Вариант 17: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой контроллер разбавления сконфигурирован так, чтобы обеспечивать выходной сигнал на входной клапан окислителя, пропуская большее или меньшее количество окислителя в систему генерирования мощности, так чтобы отношение массового расхода окислителя к разбавителю окислителя находилось в заданном диапазоне.

Вариант 18: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер давления всасывания компрессора, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению всасывания текучей среды выше по потоку от компрессора в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на перепускной клапан, расположенный ниже по потоку от компрессора и обусловливающий перепуск большего или меньшего количества текучей среды в точку, находящуюся выше по потоку от компрессора.

Вариант 19: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер скорости насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению со стороны всаса выше по потоку от насоса, и обеспечивать выходной сигнал на насос для увеличения или снижения скорости насоса.

Вариант 20: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в которой встроенная система регулирования включает контроллер нагрева отводного потока, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к вычисленным требованиям по массовому расходу в отводном потоке от рециркуляционного потока высокого давления в системе генерирования мощности, и обеспечивать выходной сигнал на клапан отводного потока, так чтобы увеличивать или уменьшать долю рециркуляционного потока высокого давления, направляемую в отводной поток.

Вариант 21: система генерирования мощности по любому из предшествующих или последующих

вариантов выполнения, содержащая

турбину;

компрессор, установленный ниже по потоку от турбины и сообщающийся с этой турбиной;

насос, установленный ниже по потоку от компрессора и сообщающийся с этим компрессором; и

нагреватель, установленный ниже по потоку от насоса и сообщающийся с насосом и установленный выше по потоку от турбины и сообщающийся с турбиной.

Вариант 22: способ автоматического управления системой генерирования мощности, относящийся к функционированию системы генерирования мощности, содержащей группу компонентов, включающую

турбину;

компрессор, установленный ниже по потоку от турбины и сообщающийся с этой турбиной;

насос, установленный ниже по потоку от компрессора и сообщающийся с этим компрессором; и

нагреватель, установленный ниже по потоку от насоса и сообщающийся с насосом и установленный выше по потоку от турбины и сообщающийся с турбиной;

причем упомянутое функционирование включает использование встроенных в систему генерирования мощности одного или нескольких контроллеров для приема входных сигналов, относящихся к измеряемым параметрам системы генерирования мощности, и обеспечения выходных сигналов, по которым автоматически управляется по меньшей мере один из группы компонентов системы генерирования мощности.

Вариант 23: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором выходной сигнал получается на основе программного, заложенного в компьютер алгоритма управления.

Вариант 24: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором в указанном функционировании используется контроллер для приема входного сигнала, относящегося к системе генерирования мощности, и управления одной или обеими из следующих операций:

обеспечение подачи выходного сигнала на нагреватель для увеличения или снижения выработки тепла нагревателем;

обеспечение подачи выходного сигнала на топливный клапан системы генерирования мощности для пропускания большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности.

Вариант 25: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема или входного сигнала, относящегося к расходу топлива, или входного сигнала, относящегося к расходу окислителя, или их обоих, а также для управления одной или обеими из следующих операций:

обеспечение подачи выходного сигнала на топливный клапан системы генерирования мощности для пропускания большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности.

обеспечение подачи выходного сигнала на клапан окислителя системы генерирования мощности для пропускания большего или меньшего количества окислителя в систему генерирования мощности.

Вариант 26: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока турбины, и обеспечение подачи выходного сигнала на насос, расположенный выше по потоку от турбины, для увеличения или снижения расхода потока, выходящего из насоса.

Вариант 27: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению потока текучей среды на всасе выше насоса, и обеспечения подачи выходного сигнала на перепускной клапан, расположенный выше по потоку от насоса.

Вариант 28: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором удовлетворяется одно или оба из следующих требований:

контроллер вызывает перетекание большего или меньшего количества текучей среды обратно в точку, находящуюся выше по потоку от перепускного клапана;

контроллер вызывает отвод большего или меньшего количества текучей среды из системы генерирования мощности в точке, находящейся выше по потоку от насоса.

Вариант 29: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению в выхлопном потоке турбины, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отвода текучей среды и возможности отвода текучей среды из выхлопного потока, а также опционально обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отвода текучей среды и возможности ввода текучей среды в выхлопной поток.

Вариант 30: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к количеству воды в сепараторе, введенном в систему генерирования мощности, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отвода воды и возможности отводить или не отводить воду

из сепаратора для поддержания количества воды в сепараторе в заданном объеме.

Вариант 31: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу топлива, или к массовому расходу окислителя, или к ним обоим в системе генерирования мощности, а также для вычисления соотношения массовых расходов топлива и окислителя.

Вариант 32: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором контроллер обеспечивает подачу выходного сигнала на насос окислителя, изменяя мощность насоса таким образом, чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя в системе генерирования мощности.

Вариант 33: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя ниже компрессора окислителя, и обеспечения подачи выходного сигнала на перепускной клапан окислителя, так чтобы вызывать пропускание большего или меньшего количества окислителя в обход компрессора.

Вариант 34: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению в потоке окислителя выше компрессора окислителя, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан рециркуляции текучей среды, так чтобы вызывать добавление большего или меньшего количества рециркуляционной текучей среды в поток окислителя в точке, находящейся выше по потоку от компрессора окислителя.

Вариант 35: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором рециркуляционная текучая среда представляет собой поток в основном чистого CO_2.

Вариант 36: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося или к массовому расходу окислителя, или к массовому расходу в потоке разбавителя окислителя, или к ним обоим, а также для вычисления соотношения расходов окислителя и разбавителя окислителя.

Вариант 37: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором контроллер сконфигурирован так, чтобы обеспечивать выходной сигнал на входной клапан окислителя, пропуская большее или меньшее количество окислителя в систему генерирования мощности, так чтобы отношение массового расхода окислителя к разбавителю окислителя находилось в заданном диапазоне.

Вариант 38: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению всасывания выше компрессора в потоке текучей среды, и обеспечения подачи выходного сигнала на перепускной клапан, установленный ниже по потоку от компрессора и обусловливающий перепуск большего или меньшего количества текучей среды в точку, находящуюся выше по потоку от компрессора.

Вариант 39: способ по любому из предшествующих или последующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к давлению со стороны всаса выше по потоку от насоса, и обеспечения подачи выходного сигнала на насос для увеличения или снижения скорости насоса.

Вариант 40: способ по любому из предшествующих вариантов выполнения, в котором указанное функционирование включает использование контроллера для приема входного сигнала, относящегося к вычисленному требованию по массовому расходу в отводном потоке от рециркуляционного потока высокого давления, и обеспечения подачи выходного сигнала на клапан отводного потока, увеличивающего или уменьшающего долю рециркуляционного потока высокого давления, направляемую в отводной поток.

Краткое описание чертежей

Далее изобретение рассмотрено более подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых не обязательно с соблюдением масштаба схематически показано

на фиг. 1 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования выполнены, в частности, с возможностью регулирования температуры;

на фиг. 2 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно другим вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования дополнительно выполнены с возможностью управления источником тепла;

на фиг. 3 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно другим вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования выполнены, в частности, с возможностью управления элементами системы генерирования мощности с прямым сжиганием топлива;

на фиг. 4 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно другим вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования выполнены, в частности, с возможностью управления другими элементами системы генерирования мощности с прямым сжиганием топлива;

на фиг. 5 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно другим вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования выполнены, в частности, с возможностью управления другими элементами системы генерирования мощности с прямым сжиганием топлива, в том числе с удалением избыточной массы из системы генерирования мощности;

на фиг. 6 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно другим вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования выполнены, в частности, с возможностью управления другими элементами системы генерирования мощности с прямым сжиганием топлива, в том числе, с удалением избыточной массы из системы генерирования мощности и

на фиг. 7 - система генерирования мощности, содержащая компоненты системы регулирования согласно другим вариантам выполнения настоящего изобретения, при этом компоненты регулирования выполнены, в частности, с возможностью управления подачей тепла в систему генерирования мощности;

Осуществление изобретения

Далее настоящее изобретение будет описано более полно. Данное изобретение, однако, может быть реализовано многими различными путями и не должно рассматриваться как ограниченное описанными вариантами выполнения, приведенными далее, причем эти варианты представлены так, чтобы описание было полным и завершенным, а также полностью раскрывало объем изобретения для специалиста в данной области техники. Практически в приведенном описании и в формуле изобретения использование форм единственного числа включает множественность объектов до тех пор, пока ясно не оговорено иное.

В одном или нескольких вариантах выполнения настоящее описание использует системы и способы регулирования генерирования мощности. Системы и способы регулирования могут использоваться в широком разнообразии систем генерирования мощности. Например, системы регулирования могут применяться в одной или нескольких системах, в которых топливо сжигается для получения тепла с целью нагрева потока, который может сжиматься или не сжиматься выше внешнего давления. Аналогично системы регулирования могут применяться в одной или нескольких системах, в которых рабочее тело циркулирует, повторно нагреваясь и охлаждаясь, тем самым неоднократно сжимаясь и расширяясь. Такое рабочее тело может содержать, например, один или несколько компонентов из группы, включающей H_2O, CO_2 и N_2.

Примеры систем и способов генерирования мощности, в которые могут быть введены описанные здесь системы управления раскрыты в патентах U.S. 9,068,743 на имя Palmer и др., 9062608 на имя Allam и др., 8986002 на имя Palmer и др., 8959887 на имя Allam и др., 8869889 на имя Palmer и др., 8776532 на имя Allam и др., 8596075 на имя Allam и др., полное содержание которых включено в данное описание в качестве ссылок. В качестве не служащего ограничением примера система генерирования мощности, с которой может использоваться описанная здесь система регулирования, может быть выполнена с возможностью сжигания топлива с O_2 в присутствии циркулирующей текучей среды на основе CO_2 в камере сгорания, в которую CO_2 предпочтительно вводится под давлением по меньшей мере приблизительно 12 МПа и при температуре по меньшей мере приблизительно 400°C, что обеспечивает поток продуктов горения, содержащий CO_2 и предпочтительно имеющий температуру по меньшей мере приблизительно 800°C. Такая система генерирования мощности может также отличаться одним или несколькими свойствами из следующих:

Поток продуктов горения может расширяться в турбине с давлением на выходе приблизительно 1 МПа или более, генерирующей мощность и обеспечивающей поток турбинных выхлопов, содержащий CO_2.

Поток турбинных выхлопов может пропускаться через блок теплообменника для обеспечения охлажденного выхлопного потока.

Охлажденный поток турбинных выхлопов может подвергаться обработке для удаления из него сопутствующих компонентов, отличающихся от CO_2, что обеспечивает очищенный выхлопной поток.

Очищенный выхлопной поток может сжиматься с обеспечением циркулирующего потока текучей среды на основе сверхкритического CO_2

Поток циркулирующей текучей среды на основе сверхкритического CO_2 может охлаждаться для обеспечения циркулирующей текучей среды на основе CO_2 высокой плотности (в которой плотность предпочтительно составляет по меньшей мере приблизительно 200 кг/м^3).

Циркулирующая текучая среда на основе высокоплотного CO_2 может сжиматься при перекачке насосом до давления, пригодного для ввода в камеру сгорания.

Сжатая циркулирующая текучая среда на основе CO_2 может нагреваться при пропускании через блок теплообменника с использованием тепла, рекуперированного из потока турбинных выхлопов.

Вся циркулирующая текучая среда на основе сжатого CO_2 или часть ее может быть дополнительно

нагрета теплом, полученным не от потока турбинных выхлопов (при этом предпочтительно дополнительный нагрев обеспечивается одним или несколькими путями, такими как нагрев до, в процессе или после пропускания через теплообменник).

Циркулирующая текучая среда на основе нагретого, сжатого CO_2 может быть повторно возвращена в камеру сгорания (при этом температура циркулирующей текучей среды на основе нагретого, сжатого CO_2, поступающей в камеру сгорания, предпочтительно меньше температуры потока турбинных выхлопов не более, чем приблизительно на 50°C).

Раскрытые в данном описании системы регулирования могут быть особенно применимы в отношении таких способов генерирования мощности, как проиллюстрированные выше, из-за необходимости прецизионного регулирования нескольких параметров нескольких потоков, требующих точного контроля для обеспечения требуемых характеристик и безопасности процесса. Например, в одном или нескольких вариантах выполнения представленные системы регулирования могут быть применимы для выполнения одной или нескольких следующих функций.

Представленные системы регулирования могут применяться для обеспечения возможности раздельного управления переменными скоростями генерирующей мощность турбины и компрессора, используемого для сжатия потока, который, в конечном счете, расширится при прохождении через турбину. Это является преимуществом по сравнению с обычными газовыми турбинами, в которых компрессор и турбина установлены на одном валу. Эта известная компоновка делает невозможной работу компрессора с переменной скоростью. Постоянные скорость вращения в входные параметры обусловливают в основном постоянный пропускаемый массовый поток в компрессор и, следовательно, в турбину. На это можно воздействовать путем использования входных направляющих лопаток, ограничивающих воздушный поток, поступающий в компрессор, и тем самым снижающих пропускаемый массовый поток. Согласно настоящему изобретению использование насоса между компрессором и турбиной обеспечивает высокий уровень управляемости системы генерирования мощности. Это позволяет устранить взаимозависимость между массовым потоком, проходящим через связку компрессор-насос, и скоростью вала в связке турбина-компрессор-генератор.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для регулирования входного и(или) выходного давления турбины, в которой происходит расширение нагретого газового потока. Нагретый газовый поток может быть преимущественно потоком CO_2 (по массе).

Представленные системы регулирования могут быть полезны для регулирования выходной температуры турбины.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для управления работой системы генерирования мощности, включающей средства сжатия для подъема давления CO_2 в выходном потоке турбины до давления во входном потоке турбины, так чтобы эти давления поддерживались на должном уровне.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для управления отводом чистого CO_2, полученного из углерода, содержащегося в топливном газе камеры сгорания, в любой точке средств сжатия CO_2 от давления на выходе турбины до давления на входе турбины.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для управления работой системы генерирования мощности, в которой горячие турбинные выхлопы охлаждаются в теплообменнике-экономайзере, нагревая рециркуляционный CO_2 поток высокого давления, что обеспечивает рекуперацию тепла от охлаждающихся турбинных выхлопов и оптимальный рециркуляционный поток нагретого CO_2 высокого давления в камеру сгорания при наивысшей возможной температуре.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для оптимизации подачи тепла в рециркуляционный CO_2 поток (например, при температуре приблизительно 400°C или менее) от внешнего источника тепла для снижения температурной разницы в теплообменнике-экономайзере ниже 400°C с целью достижения максимального количества рециркуляционного CO_2, которое может быть нагрето потоком охлаждающихся турбинных выхлопов, и минимизации температурной разницы на горячем краю теплообменника-экономайзера.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для управления потоком топлива в камеру сгорания с целью обеспечения того, чтобы продукты горения при их смешивании с нагретым рециркуляционным CO_2 потоком высокого давления составляли входной газовый поток в турбину с требуемой температурой и давлением.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для управления потоком кислорода в камеру сгорания, создавая требуемую избыточную концентрацию O_2 во входном потоке турбины, обеспечивающую полное сгорание топлива.

Представленные системы регулирования могут быть полезны для управления работой системы генерирования мощности таким образом, чтобы поток турбинных выхлопов, выходящий из теплообменника-экономайзера, мог быть дополнительно охлажден в работающем при температуре окружающей среды средстве охлаждения для обеспечения максимальной конденсации воды, образованной в процессе горения, и отделения чистой воды от продуктов горения топливного газа вместе с другим топливом или продуктов горения образовавшихся вредных примесей.

В одном или нескольких вариантах выполнения генерация мощности, при которой используется описанная здесь система регулирования, может производиться при нагреве способами, отличными от сжигания органического топлива. В качестве не служащего ограничением примера для добавления или замены подачи тепла, получаемого от сжигания органического топлива в камере сгорания, может использоваться солнечная энергия. Аналогично могут использоваться и другие нагревательные средства. В некоторых вариантах выполнения может использоваться любой способ подачи тепла в рециркуляционный CO_2 поток при температуре 400°C или менее. Например, могут использоваться конденсированный пар, выхлопы газовой турбины, потоки адиабатически сжатого газа и(или) другие потоки горячей текучей среды с температурой выше 400°C.

В некоторых вариантах выполнения особенно целесообразно регулировать выходную температуру турбины вблизи максимального значения, определяемого максимально допустимой температурой для используемого теплообменника-экономайзера. Такое регулирование может основываться на значениях входного и выходного давления и температурной разницы на горячем краю работающего теплообменника.

Системы регулирования согласно настоящему изобретению могут характеризоваться одной или несколькими функциями, в которых параметр (например, измеряемый и(или) вычисляемый параметр) может быть связан с одним или несколькими исполняемыми действиями. Исполняемые действия могут включать одно или несколько действий, регулирующих поток текучей среды в системе, например, путем открывания и закрывания одного или нескольких клапанов. В качестве не служащего ограничением примера согласно настоящему изобретению система регулирования может учитывать такие параметры, как расход текучей среды, давление, температура, уровень жидкости, объем текучей среды, состав текучей среды и т.п. Измеряемый параметр может определяться любыми пригодными устройствами, такими как термопары, датчики давления, оптические детекторы, расходомеры, аналитическое оборудование (например, спектрометры ультрафиолетового и видимого излучения, инфракрасные спектрометры, масс-спектрометры, газовые хроматографы, жидкостные спектрометры повышенного разрешения и т.п.), уровнемеры и аналогичные устройства. Согласно настоящему изобретению в системе регулирования вычисляемые параметры могут включать, например, энергопотребление компрессора (например, CO_2 компрессора), энергопотребление насоса (например, CO_2 насоса), энергопотребление криогенной кислородной установки, поступление тепла от топлива, падение давления (например, падение давления на теплообменнике) для одного или нескольких потоков, температурную разницу (например, температурную разницу на горячем краю теплообменника и(или) на холодном краю теплообменника), мощность на выходе турбины, мощность на выходе генератора и КПД системы. Вычисляемый параметр может определяться, например, компьютеризированной системой диспетчерского управления на основе измеряемых параметров.

В варианте выполнения на фиг. 1 изображена система регулирования, которая может использоваться, в частности, для замкнутого энергетического цикла. Данная система регулирования особенно применима для систем и способов, в которых не требуется прямого регулирования количества тепла, поступающего в систему, как например, при использовании солнечных установок. В данной конфигурации рабочее тело циркулирует через нагреватель 12, турбину 10, соединенную с генератором 11, первый нагреватель/холодильник 16, компрессор 30, второй нагреватель/холодильник 18 и насос 20, опционально, может быть введен рекуперативный теплообменник 50, так чтобы тепло из потока 101b рабочего тела, выходящего из турбины 10, могло передаваться потоку 101g рабочего тела, выходящему из теплообменника в виде потока 101h рабочего тела, который затем нагревается нагревателем 12.

Тепло, поступающее в систему генерирования мощности в нагревателе 12, сообщается рабочему телу, предпочтительно находящемуся под высоким давлением (например, приблизительно 10 бар или более, приблизительно 20 бар или более, приблизительно 50 бар или более, приблизительно 80 бар или более, приблизительно 100 бар или более, приблизительно 150 бар или более, приблизительно 200 бар или более или приблизительно 250 бар или более), чтобы обеспечить нагретый поток 101a рабочего тела высокого давления. Этот поток проходит через турбину 10 и расширяется до более низкого давления, выходя из нее как поток 101b рабочего тела. Ниже по потоку от турбины 10 и выше по потоку от первого нагревателя/холодильника 16 (а, опционально, выше по потоку рекуперативного теплообменника 50 при его наличии) сформирован пост 13 измерения параметров, включающий температурный датчик, термопару или т.п. Контроллер 2, который можно назвать контроллером насоса, направляет и(или) собирает одно или несколько показаний температуры (которые могут поступать непрерывно или периодически) в пост 13 контроля параметров. Чтобы поддерживать в основном постоянной температуру на посту 13 контроля параметров, контроллер 2 направляет сигналы регулирования мощности, необходимые для насоса 20. Например, контроллер 2 может регулировать скорость насоса 20 в зависимости от значения температуры, считанного на посту 13 контроля параметров. Таким образом, контроллер 2 может быть сконфигурирован с возможностью поддержания необходимой температуры в потоке 101b рабочего тела в зависимости от количества тепла, вводимого в систему в нагревателе 12 и равно в зависимости от входной температуры турбины 10. Преимущество такого подхода состоит в том, что работой насоса 20 можно конкретно управлять так, чтобы подавать под должным давлением должный массовый поток текучей среды,

зависящий от входной температуры турбины 10, определяемой по количеству тепла, вводимого в теплообменнике 12.

Такое динамическое регулирование может воздействовать на один или несколько других параметров системы генерирования мощности, представленной на фиг. 1. Например, изменение расхода через насос 20 вызывает изменение давления всасывания в потоке 101f текучей среды непосредственно выше насоса по потоку. Для сохранения управляемости насосом 20 условия всасывания для него должны оставаться постоянными в заданном диапазоне, насколько это возможно. Второй нагреватель/холодильник 18 может быть полезен для поддержания температуры всасывания насоса 20 вблизи заданного значения. Для сохранения в основном постоянным давления на всасе насоса 20 контроллер 3 (который можно назвать контроллером давления на всасе насоса) может быть сконфигурирован так, чтобы проводить мониторинг датчика давления, измерительного преобразователя или аналогичного устройства, размещенного на посту 23 контроля параметров, и при этом быть способным использовать показания давления, полученные с них, для управления перепускным клапаном 31, который должен быть выполнен с возможностью обеспечения перепуска большего или меньшего объема текучей среды из потока 101e рабочего тела на посту 44 контроля параметров, который может находиться в любом месте в потоке 101c рабочего тела. Поэтому контроллер 3 может быть сконфигурирован так, чтобы регулировать величину рециркуляционного потока в обход компрессора 30 через перепускной клапан 31. По существу давление на посту 23 контроля параметров может быть повышено путем уменьшения потока текучей среды через перепускной клапан 31 и может быть понижено путем увеличения потока текучей среды через этот перепускной клапан. Так как происходит перепуск текучей среды обратно в поток 101c рабочего тела, может быть также желательным поддерживать в основном постоянным давление в потоках рабочего тела 101b и 101c. Соответственно пост 13 контроля параметров может аналогично включать датчик давления, измерительный преобразователь или другое подобное оборудование. Датчик температуры и датчик давления могут быть предусмотрены в одинаковых постах контроля параметров или в различающихся постах контроля параметров и могут использоваться в потоке 101b рабочего тела для выполнения соответствующих измерений.

Так как пост 13 контроля параметров сообщается по потоку с постом 44 контроля параметров и постом 43 контроля параметров, соответствующие давления на постах 13, 44 и 43 могут существенно отличаться только из-за внутренних потерь давления на оборудовании и в магистралях. Контроллер 4 может быть сконфигурирован с возможностью мониторинга датчика давления, измерительного преобразователя или аналогичного оборудования, размещенного на посту 43 контроля параметров, и может быть выполнен с возможностью управления клапаном 41 так, чтобы обеспечивать поступление текучей среды из потока 101d рабочего тела в систему или из нее для поддержания в основном постоянным давления у поста 44 контроля параметров. По существу, пост 44 контроля параметров может включать датчик давления, измерительный преобразователь или другое аналогичное оборудование, мониторинг которого может, при необходимости, проводить контроллер 4. Альтернативно, так как посты 43 и 44 контроля параметров сообщаются по потоку, измеряемое давление на посту 43 контроля параметров может считаться в основном равным давлению на посту 44 контроля параметров. Клапан 41 может быть выполнен с возможностью выведения текучей среды из потока рабочего тела и(или) введения в него для поддержания требуемого давления. В некоторых вариантах выполнения могут присутствовать два клапана вместо одного клапана 41 - первый клапан (т.е. арматура для отвода текучей среды), выполненный с возможностью вывода текучей среды в приемник более низкого давления, и второй клапан (т.е. арматура для ввода текучей среды), выполненный с возможностью приема текучей среды от источника более высокого давления.

В некоторых вариантах выполнения представленной системой генерирования мощности можно управлять так, чтобы клапан 41 либо отсутствовал, либо не использовался, и контроллер мог действовать так, чтобы в основном предотвращать нежелательные колебания за счет компрессора. В таких вариантах выполнения контроллер 2 по-прежнему может управлять температурой на посту 13 контроля параметров, причем регулирующая схема может представлять собой полностью замкнутый контур, и такая конфигурация особенно пригодна для циклов генерирования мощности с непрямым нагревом. Например, в одном или нескольких вариантах выполнения нагреватель 12 может быть выполнен так, чтобы обеспечивать подогрев солнечным излучением до заданного уровня нагрева или выше него, и система генерирования мощности могла быть, таким образом, саморегулируемой, вырабатывая возможный максимум мощности при динамической реакции на изменения падающего солнечного излучения. Аналогично такая конфигурация может иметь место, если в нагреватель 12 непрерывно или периодически вводится тепло от дополнительного источника.

В изображенной на фиг. 1 системе компрессор 30 принимает входной поток рабочего тела от турбины 10, и его выходной поток рабочего тела в итоге поступает в насос 20. Компрессор 30 может быть смонтирован на валу турбины 10, и рабочий режим компрессора может быть в основном неизменным за счет управления турбинными выхлопами.

Хотя контроллер 2, котроллер 3 и контроллер 4 изображены и рассматриваются как отдельные контроллеры, должно быть понятно, что соответствующие контроллеры могут представлять собой часть

большего блока. Например, общий блок управления может включать группу субблоков, которые могут быть индивидуально соединены с их определенными постами контроля параметров и управляемыми ими устройствами (например, насосом 20, перепускным клапаном 31 и клапаном 41). Кроме того, эти блоки управления могут быть выполнены по существу как подпрограммы общего управляющего устройства (например, компьютера или аналогичного электронного устройства), имеющего группу входов и группу выходов для связи с определенными постами контроля параметров и управляемыми устройствами.

В вариантах выполнения, в которые введен рекуперативный теплообменник 50, регулирование температуры на посту 13 контроля параметров может быть особенно важным. За счет поддержания температуры на посту 13 контроля параметров на установившемся уровне или вблизи него температурный профиль в рекуперативном теплообменнике 50 также может оставаться в основном постоянным. Как минимум, такая схема регулирования имеет преимущество, обусловленное снижением или устранением циклического воздействия тепловых нагрузок на трубопроводы, теплообменники и другое высокотемпературное оборудование, использованное в системе, что в свою очередь может привести к значительному увеличению срока службы компонентов.

На фиг. 2 изображена система генерирования мощности, в основном идентичная системе генерирования мощности с фиг. 1. В системе с фиг. 2 обозначен дополнительный контроллер 1 (который можно назвать контроллером мощности), выполненный с возможностью мониторинга изменения параметров и посылки некоторых управляющих команд.

В некоторых вариантах выполнения контроллер 1 сконфигурирован с возможностью измерения и(или) приема результатов измерений, относящихся к выходной мощности генератора 11. В некоторых вариантах выполнения котроллер 1 может быть сконфигурирован так, чтобы управлять вводом тепла через нагреватель 12 для генерации требуемой мощности. Таким образом, если выходная мощность генератора 11 выше или ниже заданного значения, подача тепла через нагреватель 12 может или уменьшаться, или увеличиваться для установления требуемой выходной мощности. Аналогично, мониторинг выходной мощности контроллером 1 может обеспечить возможность динамического изменения ввода тепла, так чтобы выходная мощность могла быть в основном постоянной. В качестве не служащего ограничением примера, если в нагревателе 12 используется солнечный подогрев, то выходная мощность может использоваться для переключения, при котором, например, больше зеркал может быть задействовано в солнечном коллекторе с целью увеличения выхода тепла, если выходная мощность падает ниже определенного уровня, и(или) если выходная мощность недостаточна для реализации заданного алгоритма нагрева, по которому, например, выходная мощность может автоматически увеличиваться во время суток, когда, как ожидается, растет потребление. В качестве еще одного не служащего ограничением примера можно привести группу источников тепла, в которой сначала может использоваться первый источник тепла, а второй источник тепла автоматически подключается в случае, если выходная мощность генератора 11 недостаточна. Например, солнечный подогрев может комбинироваться с подогревом за счет горения, из которых один является первичным источником тепла и другой - вспомогательным источником тепла, дополняющим первичный источник.

По мере того как больше или меньше тепла вводится в систему, будет изменяться температура на входе турбины и после расширения в турбине будет изменяться температура на посту 13 контроля параметров. По существу одна или несколько управляющих функций, описанных выше в связи с фиг. 1, аналогично может выполняться в системе с фиг. 2.

На фиг. 3 изображена система регулирования, которая может использоваться, в частности, для полузамкнутого энергетического цикла. Данная система регулирования особенно пригодна для систем и способов, в которых цикл представляет собой цикл непосредственного горения топлива в атмосфере кислорода, в котором сжигается углеродное топливо с кислородом. Как показано, в систему введены по меньшей мере два компонента - клапан 14 и клапан 71, способные в совокупности обеспечить экзотермическую реакцию. Эти компоненты изображены подсоединенными непосредственно к турбине 10, однако в одном или нескольких вариантах выполнения они могут подсоединяться к реактору, например, к камере сгорания. В некоторых вариантах выполнения турбина 10 представляет собой многоступенчатый компонент, включающий камеру проведения реакции или камеру сгорания, установленный выше турбины по потоку. На фиг. 3 часть элемента 10, находящаяся под пунктирной линией, может быть камерой сгорания, и часть элемента 10, находящаяся над пунктирной линией, турбиной. Как не служащий ограничением пример клапан 14 может быть выполнен с возможностью дозирования топлива, например природного газа или другого органического топлива, и клапан 71 может быть выполнен с возможностью дозирования окислителя, такого как воздух или в основном чистый кислород (например, кислород с чистотой по меньшей мере 95%, по меньшей мере 98%, по меньшей мере 99 или по меньшей мере 99,5%).

В системе, проиллюстрированной на фиг. 3, контроллер 1 может быть сконфигурирован с возможностью мониторинга выходной мощности генератора 11. На основе измеренной выходной мощности контроллер 1 регулирует работу клапана 14, обеспечивая возможность подачи большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности. По мере поступления большего или меньшего количества топлива в систему генерирования мощности контроллер 7 (который можно назвать контроллером отношения топливо/окислитель) сравнивает расход топлива на посту 15 контроля параметров с

расходом окислителя на посту 72 контроля параметров и подает команду на клапан 71 окислителя, обеспечивая большее или меньшее поступление через него окислителя для поддержания заданного отношения топлива к окислителю.

Продукты реакции (например, горения) проходят через турбину 10 (или турбинную секцию композиции реактор/турбина) и выходят в виде потока турбинных выхлопов. В качестве примера, если в клапане 14 и клапане 71 дозируются природный газ и кислород, то основными продуктами в потоке турбинных выхлопов будут H_2O и CO_2. Поток турбинных выхлопов может проходить через рекуперативный теплообменник 50 (хотя такой компонент является опционным) и затем проходить через первый нагреватель/холодильник 16. Затем поток турбинных выхлопов обрабатывается в водяном сепараторе 60, из которого вода может отводиться через клапан 61. Поток в основном чистого CO_2 выходит сверху сепаратора 60 и пропускается через компрессор 30 (при этом часть его отводится через клапан 41). Сжатый рециркуляционный CO_2 поток, выходящий из компрессора 30, пропускается через второй нагреватель/холодильник 18 и затем через насос 20 для обеспечения рециркуляционного CO_2 потока высокого давления, который может быть направлен обратно в турбину 10 (опционно проходя через рекуперативный теплообменник 50 и нагреваясь теплом, отобранным от потока турбинных выхлопов). Поток в основном чистого CO_2 может содержать CO_2 в концентрации (массовой) по меньшей мере 95%, по меньшей мере 97%, по меньшей мере 98%, по меньшей мере 99 или по меньшей мере 99,5%.

Как показано на фиг. 3, система регулирования, используемая совместно с иллюстративной системой генерирования мощности, включает контроллер 2, контроллер 3 и контроллер 4, которые могут действовать в основном аналогично описанному выше в связи с системами, представленными на фиг. 1 и фиг. 2. Кроме того, используется контроллер 6 (который можно назвать контроллером водного сепаратора), служащий для мониторинга уровня воды в сепараторе 60, возможно включающем один или несколько датчиков, пригодных для выдачи сигнала об уровне воды, который может считываться контроллером 6. На основе полученного сигнала об уровне воды контроллер 6 может направлять на клапан 61 команду на открытие с должными интервалами и на должное время для поддержания заданного уровня воды в сепараторе 60. Хотя процесс измерения отнесен к уровню воды, должно быть понятно, что для обеспечения сигнала в контроллер 6 могут использоваться объем, масса или другие параметры.

На фиг. 4 изображена система регулирования, применяемая, в частности, в полузамкнутом энергетическом цикле, в котором используется источник кондиционированного воздуха. Данная система регулирования, в частности, пригодна для систем и способов, в которых цикл представляет собой цикл с непосредственным горением топлива в атмосфере кислорода, в котором сжигается углеродное топливо с кислородом. Контроллер 1 опять же выполняет мониторинг выходной мощности генератора 11 и дозирует подачу топлива через клапан 14 соответственно.

Как показано на фиг. 4, топливо и окислитель поступают в секцию горения сдвоенной камеры сгорания/турбины 10, и поток турбинных выхлопов выходит из турбинной секции. Поток турбинных выхлопов может проходить через рекуперативный теплообменник 50 (хотя такой компонент является опционным) и затем проходить через первый нагреватель/холодильник 16. Затем поток турбинных выхлопов обрабатывается в водяном сепараторе 60, из которого вода может отводиться через клапан 61. Поток в основном чистого CO_2 выходит сверху сепаратора 60 и пропускается через компрессор 30 (при этом часть его отводится через клапан 41). Сжатый рециркуляционный CO_2 поток, выходящий из компрессора 30, пропускается через второй нагреватель/холодильник 18 и затем через насос 20 для обеспечения рециркуляционного CO_2 потока высокого давления, который может быть направлен обратно в сдвоенные камеру сгорания/турбину 10 (опционно проходя через рекуперативный теплообменник 50 и нагреваясь теплом, отобранным от потока турбинных выхлопов).

В данной конфигурации окислитель поступает через клапан 111 и проходит через смеситель 114, в котором может быть смешан с CO_2. Поток окислителя (опционально, разбавленный потоком CO_2) проходит через нагреватель/холодильник 22, сжимается в компрессоре 90, проходит через нагреватель/холодильник 24 и в конце концов подается в насос 80. Контроллер 8 (который может быть назван контроллером насоса окислителя) определяет соотношение между массовым расходом топлива (определяемым на посту 26 контроля параметров) и массовым расходом окислителя (определяемым на посту 82 контроля параметров). На основе вычисленного отношения контроллер 8 может управлять насосом с переменной скоростью, изменяя его мощность и обеспечивая возможность подачи окислителя с должным массовым расходом для поддержания требуемого отношения окислителя к топливу при заданном давлении. Таким образом, количество окислителя, вводимого в систему генерирования мощности, постоянно соответствует реальному расходу и реальному давлению при подаче в сдвоенные камеру сгорания/турбину 10. Если, например, давление на посту 82 контроля параметров возросло бы из-за обратного давления камеры сгорания/турбины, то компрессор сконфигурирован так, чтобы подать команду на работу насоса с другой скоростью, соответствующей обеспечению должного давления и массового расхода окислителя. На основе показаний давления, снятых на посту 93 контроля параметров, контроллер 9 (который можно назвать котроллером давления окислителя) может управлять перепускным клапаном 91, уменьшая или увеличивая давление на посту 93 контроля параметров за счет перепуска большего или меньшего количества текучей среды (или рециклирования) в точку, находящуюся выше по потоку от

компрессора 90 (практически между смесителем 114 и нагревателем/холодильником 22). Аналогично может проводиться мониторинг давления на посту 102 контроля параметров (где давление соответствует давлению всасывания компрессора 90). На основе этого давления котроллер 100 (который можно назвать контроллером давления окислителя) может управлять клапаном 103, не отводя ничего или отводя часть текучей среды выше по потоку от компрессора 30 в смеситель 114, так чтобы поддерживать в основном постоянным давление на посту 102 контроля параметров. Поток в основном чистого CO_2, отведенный через клапан 103, может использоваться для разбавления окислителя, и контроллер 100 аналогично может быть сконфигурирован так, чтобы увеличивать или уменьшать поток через клапан 103, обеспечивая требуемое разбавление. Массовый расход в CO_2 потоке, обеспечиваемый через клапан 103, может измеряться на посту 113 контроля параметров, и массовый расход окислителя, обеспечиваемый через клапан 111, может измеряться на посту 112 контроля параметров. Контроллер 110 (который можно назвать контроллером разбавления) может быть сконфигурирован так, чтобы вычислять отношение потоков на контрольных постах 112 и 113 и управлять клапаном 111, обеспечивая поступление большего или меньшего количества окислителя в систему, так чтобы гарантировать поддержание должного отношения.

Система регулирования может быть выполнена, в частности, с возможностью обеспечения регулирования массы в широком диапазоне давлений. Регулирование массы при низком давлении (например, при окружающем давлении приблизительно до 10 бар, приблизительно до 8 бар или приблизительно до 5 бар) может достигаться аналогично приведенному выше описанию контроллера 4. В частности, контроллер 4 может быть сконфигурирован так, чтобы открывать или закрывать клапан 41 для выпуска избыточной массы из системы генерирования мощности. Например, в системе, в которой в качестве рабочего тела используется рециркуляционный CO_2 поток, может формироваться избыточный CO_2. Для поддержания в системе правильного баланса массы вся или часть этой массы сформировавшегося CO_2 может быть выведена через клапан 41. Количество массы, выводимой через клапан 41 с целью регулирования массы, может быть подсчитано на основе известной стехиометрии реакции горения, и контроллер 4 может быть сконфигурирован так, чтобы регулировать массовый поток через клапан 41 соответственно. При необходимости могут использоваться один или несколько датчиков для измерения и(или) подсчета массы текучей среды ниже по потоку камеры сгорания и(или) измерения и(или) подсчета отношения массы текучей среды в потоке от камеры сгорания до клапана 41 к той же величине ниже по потоку от компрессора 30 и(или) насоса 20.

В варианте выполнения, представленном на фиг. 5, контроллеры 3 и 4, описанные выше, отсутствуют, и обеспечены дополнительные контроллеры для высвобождения избыточной массы из системы генерирования мощности в основном при том же давлении, что выходное давление компрессора 30 (которое практически идентично давлению всасывания насоса 20). Как описано выше, скорость насоса 20 регулируется контроллером 2 в зависимости от выходной температуры турбины 10. Однако в иллюстративном варианте, приведенном на фиг. 5, регулируется давление всасывания компрессора 30. В частности, пост 54 контроля параметров может включать датчик давления, и контроллер 35 (который можно назвать контроллером давления всасывания компрессора) может быть сконфигурирован таким образом, чтобы открывать и закрывать клапан 31 в зависимости от давления всасывания компрессора 30, измеренного на посту 54 контроля параметров. При падении давления на посту 54 контроля параметров контроллер может быть сконфигурирован так, чтобы открывать клапан 31, обеспечивая перепуск текучей среды в точку, находящуюся выше по потоку поста 54 контроля параметров (в данном варианте выполнения перепуск, направленный к посту 44 контроля параметров), и возрастание давления на посту 54 контроля параметров. При возрастании давления на посту 54 контроля параметров контроллер 35 может быть сконфигурирован так, чтобы закрывать клапан 31, уменьшая количество текучей среды, сбрасываемой обратно, и снижая давление на посту 54 контроля параметров.

Кроме регулирования скорости насоса 20 может также регулироваться его давление всасывания. В частности, давление, регистрируемое на посту 23 контроля параметров, может использоваться контроллером 75 (который можно назвать контроллером скорости насоса), который может быть сконфигурирован так, чтобы открывать и закрывать клапан 88. Соответственно давление на всасе насоса 20 регулируется путем удаления избыточной текучей среды из системы генерирования мощности через клапан 88, что в свою очередь обеспечивает поддержание требуемого давления в системе.

В представленном на фиг. 6 варианте выполнения система регулирования мощности выполнена аналогично структуре с фиг. 5, но без использования клапана 88. В данном иллюстративном варианте выполнения компрессор 30 действует с регулированием давления всасывания, как описано в связи с фиг. 5, и насос 20 также действует с регулированием давления всасывания. В частности, давление, считываемое на посту 23 контроля параметров, может использоваться контроллером 75, который может быть сконфигурирован так, чтобы корректировать скорость насоса 20, сохраняя регулируемые, определяемые характеристиками цикла горения параметры всасывания и параметры на выходе для заданного давления. Кроме того, температура, определенная на посту 13 контроля параметров, может опять же использоваться контроллером 2, однако контроллер 2 может быть сконфигурирован так, чтобы управлять потоком через клапан 115, регулируя температуру турбинных выхлопов. За счет обеспечения большего количества текучей среды, выводимого из системы генерирования мощности через клапан 115 (или удержания

большего количества текучей среды в системе генерирования мощности), можно регулировать входное давление на турбине 10, а также аналогично регулировать выходную температуру турбины 10.

В одном или нескольких вариантах выполнения энергетическая система, представленная на фиг. 7, может включать турбину 10, соединенную с электрогенератором 11. Поток топлива дозируется при прохождении через клапан 14, кислород дозируется клапаном 71 и топливо сжигается с кислородом в камере 10a сгорания. Топливо и кислород смешиваются с нагретым рециркуляционным CO_2 потоком 120 высокого давления, выходящим из теплообменника-экономайзера 50. Продукты горения поступают в турбину 10b. Поток турбинных выхлопов охлаждается в теплообменнике-экономайзере 50 рециркуляционным CO_2 потоком 119 высокого давления и дополнительно охлаждается до температуры, близкой к окружающей, в первом нагревателе/холодильнике 16. В некоторых вариантах выполнения первый нагреватель/холодильник 16 может представлять собой теплообменник непрямого действия, в котором используется, например, охлаждающая вода, или он может быть теплообменником прямого контакта, в котором как охлаждается поток турбинных выхлопов, так и конденсируется вода. Поток с температурой, близкой к окружающей, поступает в водный сепаратор 60, из которого сконденсировавшаяся жидкая вода выходит через клапан 61. Этот поток может содержать топливо или загрязняющие примеси, образовавшиеся в процессе горения и находящиеся в окисленном состоянии, такие как SO_2 и NO_2. В случае холодильника с прямым контактом такой блок действует как объединенные блок газоводяного контактного охлаждения и сепаратор жидкой фазы. Рециркуляционный CO_2 поток 116 поступает в рециркуляционный CO_2 компрессор 30, где его давление увеличивается (например, приблизительно от 30-70 бар до приблизительно 80 бар). Компрессор 30 обеспечен рециркуляционной CO_2 магистралью 45 с клапаном 31, служащей для понижения давления и возврата части потока через компрессор на сторону всасывания в точке 44. Чистый CO_2 продукт, содержащий весь углерод и получившийся из потока топливного газа после окисления в камере сгорания, выводится из системы в виде потока через клапан 41. Чистый CO_2 продукт может быть выведен под давлением, лежащим в диапазоне от давления на стороне всасывания компрессора до давления на выходе насоса. Выходящий из компрессора 30 рециркуляционный CO_2 поток охлаждается до температуры, близкой к окружающей, во втором нагревателе/холодильнике 18. Плотность обычно возрастает до значения, лежащего в диапазоне приблизительно от 0,7 до приблизительно 0,85 кг/л. Многоступенчатым насосом 20 плотный сверхкритический CO_2 перекачивается с увеличением давления обычно до 320 бар. Рециркуляционный CO_2 поток 119, выходящий из насоса 20, поступает в теплообменник-экономайзер 50.

Часть 119a рециркуляционного CO_2 потока, выходящего из насоса 20, нагревается в теплообменнике 56 потоком 53 нагрева, который может поступать от любого источника, например, в виде тепла, отобранного из блока разделения воздуха. Поток 119a обычно нагревается до температуры приблизительно от 200 до приблизительно 400°C. Нагретый поток затем направляется в теплообменник 50 в промежуточной точке и повторно смешивается с рециркуляционным CO_2 потоком 119 высокого давления. Система регулируется регулировочными клапанами, управляющими потоками текучей среды. Система снабжена датчиками, измеряющими расходы, давления, температуры и газовые составы. Результаты этих измерений могут направляться в цифровую систему регулирования, управляющую энергетической установкой по алгоритмам регулирования и заложенным в нее диспетчерским управляющим программам. Выходные сигналы системы регулирования управляют степенью открытия регулировочных клапанов, а также скоростью насоса 20 и другими системными функциями. Задача заключается в том, чтобы достичь заданной эффективности работы при любой требуемой мощности на выходе, оптимальных условий запуска, регулируемых скоростей реакции на изменения нагрузки как при увеличении, так и при снижении, отключения и реакции на неполадки в работе. Хотя такая цифровая система регулирования и управляющие алгоритмы упоминались в связи с фиг. 7, должно быть понятно, что это описание может употребляться с таким же успехом для любых других описанных здесь вариантов выполнения, включая описанные в связи с фиг. 1-6 и фиг. 7.

Функциональное управление данной системой может выполняться за счет связи между переменными, измеряемыми датчиками, и откликом конкретного регулирующего клапана. Один или несколько вариантов выполнения системы регулирования, которые могут использоваться в любом из изложенных вариантов, включают следующее.

Расход топлива через клапан 14 может регулироваться в зависимости от требований по выработке электроэнергии, предъявляемых к генератору 58.

Скорость насоса 20 может использоваться для регулирования его расхода. В частности, заданное значение расхода может меняться для поддержания определенной выходной температуры турбины.

Выходное давление CO_2 компрессора 30 может поддерживаться на постоянном заданном уровне путем изменения рабочей точки клапана 31 регулирования рециркуляционного потока через компрессор.

Отвод CO_2, выработанного в цикле генерирования мощности, может регулироваться клапаном 41 регулирования потока. Значения уставных параметров этого регулятора потока могут меняться для поддержания постоянными входного давления CO_2 компрессора и давления на выходе турбины. В некоторых вариантах выполнения, в которых отвод через клапан 41 производится на выходе компрессора 30, система регулирования может быть сконфигурирована так, чтобы изменять поток чрез клапан 41 и через

рециркуляционный клапан 31.

Количество рециркуляционного CO_2 высокого давления, нагреваемого дополнительным источником тепла в теплообменнике 56, может регулироваться клапаном 42 регулирования потока и контроллером 17 (который можно назвать контроллером нагрева отводного потока). Уставные величины CO_2 потока регулируются так, чтобы минимизировать на уровне ниже 50°С температурную разницу на горячем краю теплообменника 50 между рециркуляционным CO_2 потоком 120 высокого давления и потоком турбинных выхлопов в точке 13.

Сброс конденсированной воды вместе с топливом и образовавшимися в процессе горения окисленными вредными примесями может регулироваться путем поддержания постоянным уровня воды в водном сепараторе 60 или в емкости альтернативного холодильника прямого контакта. В последнем случае избыточная вода отводится по мере того, как основной поток отвода воды прокачивается через теплообменник с холодной водой, и поступает в верхнюю часть холодильника прямого контакта поверх загрузочного слоя.

При рассмотрении фиг. 5 можно понять, что расходом кислорода в камеру сгорания можно управлять клапаном 111 регулирования потока. Рабочая точка контроллера потока может меняться для поддержания определенного отношения кислорода к топливному газу, так чтобы обеспечивать обычно 1% избыток кислорода относительно стехиометрического значения, гарантируя полное сгорание топлива плюс окисление получившихся из топлива загрязняющих примесей. Для управления адиабатической температурой пламени в объединенных турбине и камере сгорания может быть полезным разбавление кислорода некоторым количеством CO_2 для получения газовой смеси CO_2 плюс O_2 с молярной концентрацией O_2 от 15 до 40%, как правило 25%. Поток кислорода может быть разбавлен CO_2 потоком, отведенным из входной магистрали CO_2 компрессора 30. Отведенный CO_2 проходит через клапан 103 регулирования потока и поступает в смеситель 114, который в некоторых вариантах выполнения может представлять собой стационарный миксер. Рабочая точка контроллера потока для клапана 91 может корректироваться диспетчерской компьютерной программой для поддержания постоянным давления в точке 102. Рабочая точка клапана 111 регулирования входного потока кислорода может корректироваться для сохранения постоянным отношения кислорода к потоку диоксида углерода, поступающему в смеситель 114. Смешанный поток окислителя проходит через нагреватель/холодильник 22. Охлажденный поток окислителя поступает в компрессор 90 окислителя, где он сжимается обычно до давления, лежащего в диапазоне приблизительно от 90 до приблизительно 120 бар. Рабочая точка клапана 91 регулирования потока может меняться с целью изменения выходного давления компрессора 90 окислителя. Компрессор 90 окислителя может действовать при фиксированных входном и выходном давлениях. Выходной поток с компрессора 90 может охлаждаться до температуры, близкой к окружающей, в нагревателе/холодильнике 24. Плотность потока возрастает до значений, лежащих, например, в диапазоне приблизительно от 0,6 до приблизительно 0, 75 кг/л. Плотный сверхкритический поток 82 окислителя прокачан многоступенчатым центробежным насосом с повышением давления обычно до 320 бар. Выходной поток высокого давления из насоса 80 поступает в теплообменник-экономайзер 50, где он нагревается частью тепла, высвобожденного из охлаждающегося потока турбинных выхлопов. Расход окислителя можно регулировать корректировкой скорости насоса 80 окислителя. Установленная рабочая величина расхода может изменяться для поддержания заданного отношения кислорода к топливному газу, обеспечивающего, как правило, 1% избыток кислорода относительно количества, требуемого для стехиометрического горения топливного газа, что гарантирует полное сжигание топливного газа плюс окисление любых полученных из топлива вредных примесей.

Многие модификации и другие варианты выполнения могут быть реализованы специалистом в данной области. Соответственно изобретение не ограничено конкретными приведенными частными вариантами и модификациями, и объем изобретения, определяемый приложенной формулой изобретения, включает и другие варианты выполнения. Хотя в данном описании могут быть использованы специфические термины, они используются исключительно в общепринятом и описательном смысле, а не в целях внесения ограничений.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система генерирования мощности со встроенной системой регулирования, выполненной с возможностью автоматического управления по меньшей мере одним компонентом системы генерирования мощности, содержащая

нагреватель;

генератор мощности и

по меньшей мере один контроллер,

причем по меньшей мере один контроллер сконфигурирован с возможностью приема входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала, обеспечивающего корректирование потока топлива к нагревателю и, тем самым, регулирование выдачи тепла нагревателем,

по меньшей мере один контроллер сконфигурирован с возможностью приема того же или другого

входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю и

по меньшей мере один контроллер включает контроллер отношения топливо/окислитель, обеспечивающий регулирование отношения топливо/окислитель и сконфигурированный с возможностью приема по меньшей мере одного из входного сигнала, относящегося к расходу топлива в нагреватель, и входного сигнала, относящегося к расходу окислителя в нагреватель, и на выполнение одного или обоих из следующего:

обеспечение подачи выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель;

обеспечение подачи выходного сигнала на клапан окислителя для пропускания большего или меньшего количества окислителя в нагреватель.

2. Система по п.1, в которой по меньшей мере один контроллер включает контроллер мощности, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к мощности, вырабатываемой генератором мощности, и выдачи выходного сигнала, обеспечивающего корректирование потока топлива к нагревателю и, тем самым, регулирование выдачи тепла нагревателем.

3. Система по п.2, в которой контроллер мощности сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

обеспечение выдачи выходного сигнала на нагреватель для повышения или снижения выработки тепла нагревателем;

обеспечение подачи выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель.

4. Система по п.1, в которой по меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к температуре выхлопного потока ниже по потоку от нагревателя, и обеспечения подачи выходного сигнала на насос для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю.

5. Система по п.1, в которой по меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к одному или обоим из массового расхода топлива и массового расхода окислителя, подаваемых к нагревателю, и вычисления соотношения массовых расходов топлива и окислителя, и контроллер насоса окислителя сконфигурирован с возможностью обеспечения подачи выходного сигнала на насос окислителя для изменения мощности насоса так, чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя, подаваемых к нагревателю.

6. Система по п.1, в которой по меньшей мере один контроллер включает контроллер давления окислителя, сконфигурированный с возможностью приема входного сигнала, относящегося к давлению потока окислителя выше по потоку от компрессора окислителя, и обеспечения выходного сигнала, так чтобы вызывать большее или меньшее добавление рабочей текучей среды к потоку окислителя выше по потоку от компрессора окислителя.

7. Система по п.1, в которой рабочая текучая среда представляет собой поток в основном чистого CO_2.

8. Система по п.1, в которой нагреватель представляет собой камеру сгорания.

9. Система по п.1, в которой нагреватель представляет собой нагреватель с использованием солнечной энергии.

10. Система по п.1, в которой нагреватель выполнен с возможностью получения тепла от потока текучей среды с температурой выше 400°C.

11. Способ автоматического управления системой генерирования мощности по любому из пп.1-10, включающий

сжигание в нагревателе топлива с окислителем в присутствии рабочей текучей среды и выпуск из нагревателя выхлопного потока;

генерирование мощности, используя выхлопной поток;

использование по меньшей мере одного контроллера для приема по меньшей мере одного входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала, обеспечивающего корректирование потока одного или обоих из топлива или окислителя к нагревателю и, тем самым, регулирование количества тепла в выхлопном потоке,

использование по меньшей мере одного контроллера для приема того же или другого входного сигнала ниже по потоку от нагревателя и выдачи выходного сигнала для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю и

использование контроллера отношения топливо/окислитель, который принимает один или оба из входного сигнала, относящегося к расходу топлива в нагреватель, и входного сигнала, относящегося к расходу окислителя в нагреватель, и обеспечивает выполнение одного или обоих из следующего:

подача выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель;

подача выходного сигнала на клапан окислителя для пропускания большего или меньшего количе-

ства окислителя в нагреватель.

12. Способ по п.11, в котором по меньшей мере один контроллер включает контроллер мощности, который принимает входной сигнал, относящийся к мощности, вырабатываемой генератором мощности, и выдает выходной сигнал для корректировки расхода топлива к нагревателю и, тем самым, регулирования количества тепла в выхлопном потоке.

13. Способ по п.12, в котором контроллер мощности сконфигурирован на выполнение одного или обоих из следующих требований:

выдача выходного сигнала на нагреватель для повышения или снижения выработки тепла нагревателем;

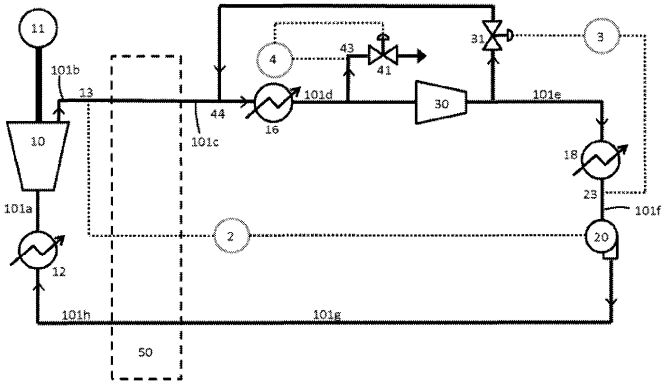
подача выходного сигнала на топливный клапан для пропускания большего или меньшего количества топлива в нагреватель.

14. Способ по п.11, в котором по меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса, который принимает входной сигнал, относящийся к температуре выхлопного потока ниже по потоку от нагревателя, и подает выходной сигнал на насос для регулирования расхода потока рабочей текучей среды к нагревателю.

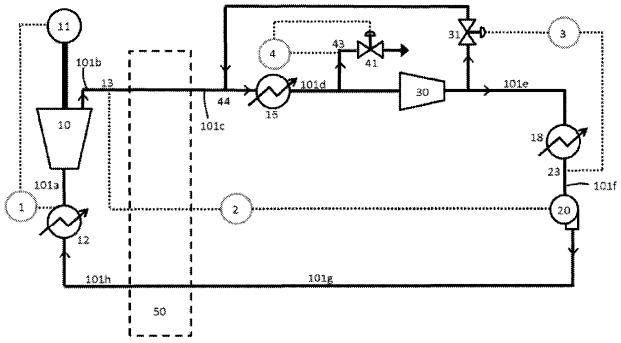
15. Способ по п.11, в котором по меньшей мере один контроллер включает контроллер насоса окислителя, который принимает входной сигнал, относящийся к одному или обоим из массового расхода топлива и массового расхода окислителя, подаваемых к нагревателю, и вычисляет соотношение массовых расходов топлива и окислителя, и контроллер насоса окислителя обеспечивает подачу выходного сигнала на насос окислителя для изменения мощности насоса, так чтобы воздействовать на соотношение массовых расходов топлива и окислителя, подаваемых к нагревателю.

16. Способ по п.11, в котором по меньшей мере один контроллер включает контроллер давления окислителя, который принимает входной сигнал, относящийся к давлению потока окислителя выше по потоку от компрессора окислителя, и обеспечивает выдачу выходного сигнала, вызывающего большее или меньшее добавление рабочей текучей среды к потоку окислителя выше по потоку от компрессора окислителя.

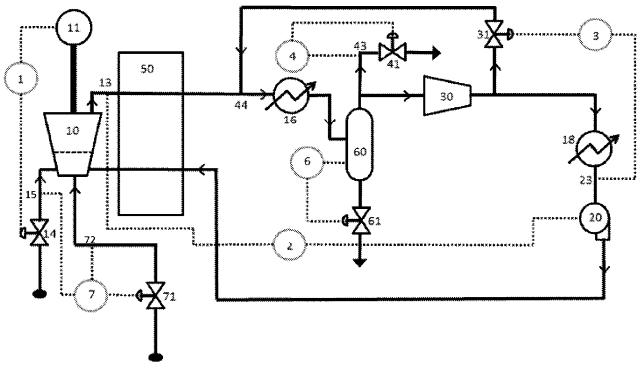
17. Способ по п.11, в котором рабочая текучая среда представляет собой поток в основном чистого CO_2.



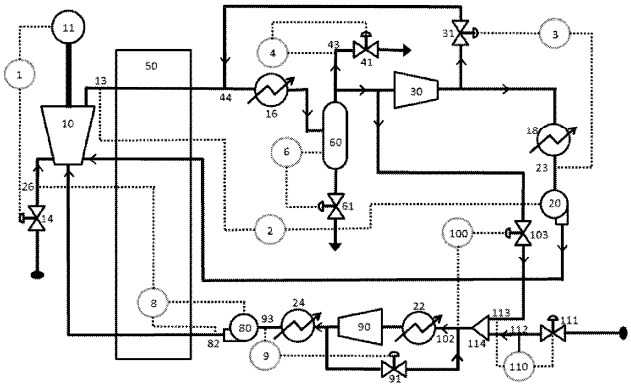
Фиг. 1



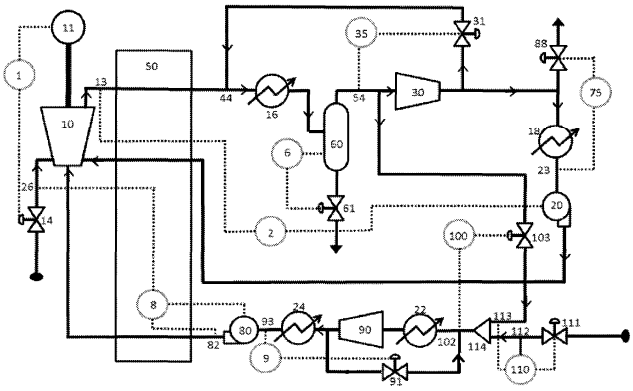
Фиг. 2



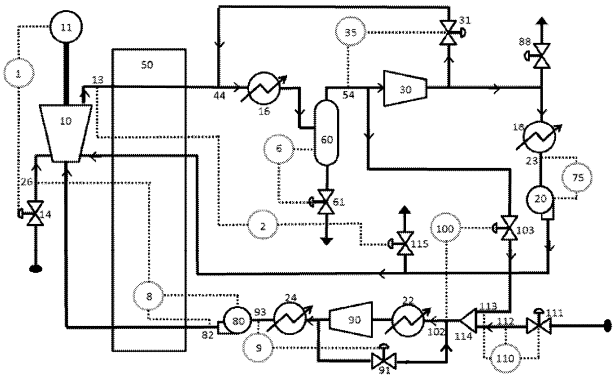
Фиг. 3



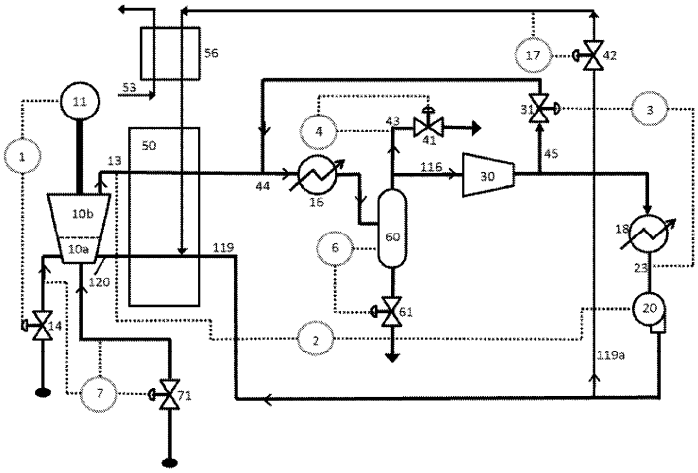
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6


56
53
11
1
50
13
10b
10a
120
119
14
7
71
17
42
31
3
4
43
41
45
44
16
116
30
60
6
18
23
61
20
2
119a

Фиг. 7