

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036619**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.11.30

(51) Int. Cl. *F02C 3/22* (2006.01)
F02C 3/34 (2006.01)

(21) Номер заявки
201890029

(22) Дата подачи заявки
2016.06.13

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ ЗАПУСКА УСТАНОВКИ ГЕНЕРАЦИИ МОЩНОСТИ**

(31) **62/175,886**

(56) US-A1-2014000271
US-A-4434613
US-A-5724805

(32) **2015.06.15**

(33) **US**

(43) **2018.07.31**

(86) **PCT/US2016/037192**

(87) **WO 2016/205116 2016.12.22**

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

(72) Изобретатель:
**Фетведт Джереми Эрон, Форрест Брок
Алан (US)**

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

(57) Настоящее изобретение относится к системам и способам обеспечения генерации мощности с использованием в качестве рабочего тела преимущественно CO₂. В частности, настоящее изобретение обеспечивает специфические конфигурации для запуска системы генерации мощности, согласно которым поджиг камеры сгорания может производиться до того, как турбина начнет работать со скоростью, достаточно высокой, чтобы довести действие установленного на общем валу компрессора до режимов, при которых в камеру сгорания может быть обеспечен рециркуляционный CO₂ поток с достаточным расходом и давлением в потоке. В некоторых вариантах выполнения для обеспечения дополнительного окислителя вместо рециркуляционного CO₂ потока может использоваться байпасная линия.

B1

036619

036619

B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к установкам генерации мощности (выработки энергии). В частности, предложены конфигурации системы и способы для запуска установки генерации мощности.

Уровень техники

Известны различные системы и способы генерации мощности (например, электрической) путем сжигания топлива. Например, в патенте US 8596075 на имя Allam и др., содержание которого в полном объеме включено в данную заявку в качестве ссылки, описаны циклы горения, в которых CO_2 используется как рабочее тело и весь полученный в результате горения CO_2 может улавливаться (например, для удаления или для других целей). Особое преимущество таких систем заключается в общепризнанной пользе нагрева рециркуляционного CO_2 потока в рекуперативном теплообменнике горячими выхлопными (отходящими) газами турбины, а также в добавлении тепла от источника, отличного от турбинных выхлопов.

Хотя различные системы и способы генерации мощности могут обладать нужными свойствами, параметры таких систем могут не удовлетворять определенным требованиям, предъявляемым на особых фазах процесса. В частности, может потребоваться особый подход к рабочим параметрам при запуске энергетической установки, выходящим за рамки ее обычных рабочих параметров в режиме полной генерации. Соответственно существует необходимость в конфигурациях, которые могут использоваться в установках генерации мощности и обеспечивать эффективный запуск, а также обеспечивать возможность действенного возврата к обычной рабочей конфигурации в определенное время.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение обеспечивает конфигурации, которые могут использоваться в установке генерации мощности так, чтобы пуск установки происходил при широком разбросе параметров, что было бы невозможно в другом случае. В частности, настоящее изобретение обеспечивает запуск энергетической установки, использующей цикл горения, при поджиге камеры сгорания до того, как турбина достигнет заданной пороговой скорости, что в другом случае было бы невозможным.

В некоторых вариантах выполнения настоящее изобретение относится к запуску энергетической установки, работающей по циклу горения, в которой CO_2 используется в качестве рабочего тела и в которой CO_2 , образовавшийся при горении, может улавливаться. Примеры систем и способов генерации мощности в таком режиме приведены в патентах US 8596075 на имя Allam и др., 8776532 на имя Allam и др., 8869889 на имя Palmer и др., 8959887 на имя Allam и др. и 8986002 на имя Palmer и др., а также в патентных публикациях US 2012/0067056 на имя Palmer и др., 2012/0237881 на имя Allam и др., 2013/0104525 на имя Allam и др. и 2013/0118145 на имя Palmer и др., содержание которых в полном объеме включено в данное описание в качестве ссылки. В предлагаемых в настоящем изобретении способах и системах могут использоваться любые комбинации стадий процесса и компонентов системы.

Например, в некоторых вариантах выполнения генерация мощности может производиться с применением замкнутых или частично замкнутых систем, в которых CO_2 используется как рабочее тело. В таких системах органическое топливо или топливо, полученное из органических материалов (например, синтетический газ, полученный из угля или другого твердого углеводородного топлива), полностью сжигается в камере сгорания с окислителем (например, кислородом), образуя окисленный поток преимущественно CO_2 , H_2O , избыточного кислорода и некоторого количества загрязняющих примесей, образующихся при окислении компонентов, содержащихся в топливе или окислителе, таких как SO_2 , NO_x , Hg и HCl. Кислород может быть смешан с CO_2 . В качестве не служащего ограничением примера можно привести то, что молярная концентрация O_2 в объединенном потоке O_2/CO_2 может составлять приблизительно от 10 до приблизительно 50%, приблизительно от 15 до приблизительно 40% или приблизительно от 20 до приблизительно 30%. Твердые органические топлива, такие как уголь, лагнит или нефтяной кокс, содержащие несгораемый шлак, могут быть превращены в газообразное топливо за счет частичного окисления в одноступенчатой или многоступенчатой системе.

Такая система может включать, например, реактор частичного окисления. Альтернативно такая система может включать, например, реактор частичного окисления и систему удаления шлака и летучих неорганических компонентов. Такие системы также включают сжигание топливного газа с кислородом в камере сгорания системы генерации мощности. Предварительно нагретый рециркуляционный CO_2 поток в камере сгорания смешивается с продуктами горения, полученными от сжигания топливного газа. Может использоваться любая камера сгорания, выполненная с возможностью работы в условиях, описанных в данном документе, и рециркуляционный CO_2 поток может вводиться в камеру сгорания с использованием любых средств и может дополнительно нагреваться при сжигании, а также при необходимости резко охлаждаться для регулирования тем самым температуры выходного потока. В некоторых вариантах выполнения в реакторе частичного окисления, или в камере сгорания, или в них обоих может использоваться, исключительно в качестве иллюстративного примера, стенка с испарительным охлаждением, окружающая реакционное пространство или пространство горения, и предварительно нагретый рециркуляционный CO_2 поток может пропускаться через стенку, как для ее охлаждения, так и для резкого сброса температуры и регулирования тем самым температуры выходного потока. Испарительный поток способствует хорошему перемешиванию между рециркуляционным CO_2 и горячими потоками от сжигания топ-

ливного газа. Однако могут применяться также другие виды камер сгорания, и настоящее изобретение не ограничивается использованием камер сгорания с испарительным охлаждением. Объединенные продукты горения и предварительно нагретый рециркуляционный CO_2 , выходящие из камеры сгорания, находятся при температуре, требуемой для подачи в энергетическую турбину. Горячие турбинные выхлопы могут охлаждаться в теплообменнике-экономайзере, который в свою очередь предварительно подогревает рециркуляционный CO_2 поток.

Системы и способы генерации мощности могут действовать при сочетанном наборе характеристик, которые могут быть определены как "нормальные" или "стандартные" рабочие параметры. Каждая характеристика (например, температура горения, скорость турбины, отношение давлений и т.д.), формирующая набор параметров, может находиться в своем соответствующем диапазоне, и "нормальные" или "стандартные" рабочие параметры могут определяться во взаимосвязи с действием системы или способа генерации мощности на стадии генерации мощности.

Однако установка генерации мощности не может мгновенно перейти из выключенного состояния в полностью рабочий режим. Точнее компоненты установки генерации мощности должны быть доведены до нормальных рабочих параметров по определенному алгоритму. Например, в системе генерации мощности, в которой турбина и компрессор обеспечены на общем валу, производительность компрессора ограничена скоростью турбины, и процесс горения не может начаться, пока компрессор не обеспечит расход в CO_2 потоке, достаточный для поддержания соответствующей температуры горения. Соответственно поджиг горения не может быть произведен, пока турбина не достигнет определенной пороговой скорости. В некоторых вариантах выполнения компрессор с приводом от вала может оказаться неспособным обеспечить требуемые расход и давление в потоке при скорости вала, составляющей приблизительно 85% от финальной скорости, то есть скорости вала, при которой турбина работает в своих нормальных параметрах генерации мощности. Однако согласно настоящему изобретению обеспечены системы и способы, в которых поджиг горения возможен при скоростях турбины ниже пороговых.

Соответственно в вариантах выполнения настоящего изобретения представлена система генерации мощности.

Такая система может содержать камеру сгорания; турбину; первый компрессор, который может быть компрессором с приводом от вала, установленным на общем валу с турбиной; компрессор окислителя, который может быть компрессором с приводом от двигателя; выхлопную линию (магистраль/трубопровод), выполненную с возможностью пропускания выхлопного потока турбины из турбины в первый компрессор; рециркуляционную линию, выполненную с возможностью пропускания рециркуляционного CO_2 потока из первого компрессора в камеру сгорания; линию окислителя, выполненную с возможностью пропускания потока окислителя из компрессора окислителя в турбину; и байпасную линию, выполненную с возможностью пропускания по меньшей мере части потока окислителя из линий окислителя в рециркуляционные линии. В дополнительных вариантах выполнения система может выполняться с одной или несколькими из следующих особенностей, которые могут использоваться в любом подходящем сочетании и числе.

Байпасная линия может иметь трубопроводную арматуру (далее - вентиль).

Вентиль байпасной линии может быть выполнен с возможностью открывания до достижения скоростью турбины первого порогового значения.

Вентиль байпасной линии может быть выполнен с возможностью закрывания при превышении скоростью турбины второго порогового значения.

Система генерации мощности может включать рекуперативный теплообменник.

Выхлопная линия, рециркуляционная линия и линия окислителя могут быть выполнены с возможностью пропускания их соответствующих потоков через рекуперативный теплообменник.

Первый компрессор может быть компрессором с приводом от вала.

Компрессор окислителя может быть компрессором с приводом от двигателя.

Турбина может содержать сальниковое уплотнение и воздушный ввод.

Система генерации мощности может включать компрессор с сальниковым уплотнением, выполненный с возможностью приема и сжатия потока воздуха и турбинного выхлопа от сальникового уплотнения.

Система генерации мощности может включать отвод, связанный с компрессором с сальниковым уплотнением, и отводную линию между компрессором с сальниковым уплотнением и отводом.

Отводная линия между сальниковым уплотнением и отводом может сообщаться с выхлопной линией, и отводная линия и выхлопная линия могут быть размещены относительно отвода так, чтобы обеспечивался предпочтительный поток к отводу от соответствующих линий.

В вариантах выполнения настоящего изобретения также предлагаются способы запуска установки генерации мощности. Например, такой способ может включать следующее: сжатие потока окислителя в компрессоре окислителя; пропускание сжатого окислителя из компрессора окислителя в камеру сгорания по линии окислителя; сжигание топлива с окислителем в камере сгорания; расширение потока продуктов горения, поступающего из камеры сгорания, в турбине; охлаждение выхлопного потока турбины, поступающего из турбины, в рекуперативном теплообменнике; отвод воды из выхлопного потока турбины для

формирования рециркуляционного CO_2 потока; сжатие рециркуляционного CO_2 потока в компрессоре с приводом от вала, установленном на общем валу с турбиной, для формирования сжатого рециркуляционного CO_2 потока, скомпонованного с возможностью прохождения в камеру сгорания по рециркуляционной линии; при этом сжатый рециркуляционный CO_2 поток обрабатывают, а окислитель от компрессора с приводом от двигателя направляют по рециркуляционной линии в камеру сгорания до тех пор, пока турбина не достигнет заданной пороговой скорости. В дополнительных вариантах выполнения способ может включать одну или несколько следующих особенностей, которые могут использоваться в любом подходящем сочетании и числе.

Заданная пороговая скорость может составлять приблизительно 85% от нормальной рабочей скорости.

Окислитель, поступающий в компрессор окислителя, может представлять собой смесь O_2 и CO_2 .

Окислитель, поступающий в компрессор окислителя, может представлять собой воздух.

Турбина может содержать сальниковое уплотнение и воздушный ввод, и компрессор с сальниковым уплотнением может быть выполнен с возможностью приема и сжатия потока воздуха и турбинных выхлопов от сальникового уплотнения.

В некоторых вариантах выполнения, по существу, никакого сжатого рециркуляционного CO_2 потока не поступает в камеру сгорания через рециркуляционную линию до тех пор, пока турбина не достигнет заданной пороговой скорости. "По существу, никакого" в данном случае может означать "ничего" или только "незначительный/минимальный объем".

Эти и другие свойства, аспекты и преимущества изобретения станут понятны из нижеследующего подробного описания и сопровождающего чертежа, кратко описанного далее. Изобретение может включать любую подходящую комбинацию из двух, трех, четырех или более описанных вариантов выполнения, а также комбинации из любых двух, трех, четырех или более свойств или элементов, приведенных в данном описании, вне зависимости от того, прямо ли такие свойства или элементы скомбинированы в описанном конкретном варианте выполнения изобретения. Данное описание предназначено для прочтения в целом, так что любые разделяемые свойства или элементы раскрытого изобретения в любых различных вариантах их выполнения и толкованиях должны рассматриваться как обладающие возможностью комбинирования до тех пор, пока в контексте ясно не оговорено другое.

Краткое описание чертежа

На основе приведенного в упомянутых выше терминах описания далее будет сделана ссылка на сопровождающий, не обязательно выполненный в масштабе чертеж, на котором представлена блок-схема системы и способа генерации мощности согласно иллюстративному варианту выполнения настоящего изобретения, включающая байпасную линию, выполненную с возможностью пропуска на стадии запуска сжатого окислителя в рециркуляционную линию, выполненную с возможностью перекрытия сразу при достижении заданных рабочих параметров.

Подробное описание осуществления изобретения

Далее представленная сущность изобретения будет изложена более полно со ссылкой на иллюстративные варианты его выполнения. Эти варианты выполнения представлены так, чтобы данное описание было законченным и исчерпывающим, полностью раскрывая объем изобретения специалисту в данной области техники. Действительно, сущность изобретения может быть реализована во многих различных вариантах и не должна рассматриваться как ограниченная приведенными ниже вариантами выполнения, тем более что эти варианты представлены так, чтобы данное описание удовлетворяло всем действующим нормативным требованиям. В приведенном описании и в приложенной формуле изобретения использование форм единственного числа включает множественность объектов до тех пор, пока не оговорено иное.

Настоящее описание относится к системам и способам обеспечения генерации мощности с использованием в качестве рабочего тела преимущественно CO_2 . В частности, в них используется турбина с определенным отношением высокое давление/низкое давление, в которой происходит расширение смеси рециркуляционного CO_2 потока высокого давления и продуктов горения, образующихся при сжигании топлива. Может использоваться любое органическое топливо. В не служащие ограничением примеры входят природный газ, баллонные газы, топливные газы (например, включая один или несколько компонентов из группы, содержащей H_2 , CO , CH_4 , H_2S , и NH_3) и другие подобные горючие газы. Могут также использоваться твердые топлива, например уголь, лигнит, нефтяной кокс, битум, биомасса и т.п., при условии введения в систему необходимых элементов. Например, может использоваться камера сгорания с неполным окислением для преобразования твердого или вязкого жидкого топлива в топливный газ, преимущественно свободный от твердых включений. Все нежелательные примеси, полученные из топлива и продуктов горения, такие как соединения серы, NO , NO_2 , CO_2 , H_2O , Hg и т.п., могут отделяться для удаления в основном или полностью без выброса в атмосферу. В процессе сжигания в качестве окислителя может использоваться кислород.

Горячий выхлопной газ турбины используется для частичного предварительного нагрева рециркуляционного CO_2 потока высокого давления. В сочетании с этим нагревом рециркуляционный CO_2 поток может также нагреваться с использованием аддитивного нагрева, получаемого от разных источников

(например, от блока разделения воздуха или от энергии сжатия в CO₂ компрессоре).

Способ генерации мощности согласно настоящему изобретению может включать пропускание сжатого, нагретого рециркуляционного CO₂ потока в камеру сгорания. Сжатый, нагретый рециркуляционный CO₂ поток может быть сформирован описанным ниже образом. В камере сгорания топливо может сжигаться с кислородом (например, с кислородом чистоты по меньшей мере 98% или по меньшей мере 99%). Содержащий CO₂ поток из камеры сгорания может иметь температуру приблизительно 500°C или более (например, приблизительно от 500 до приблизительно 1700°C) и давление приблизительно 150 бар (15 МПа) или более (например, приблизительно от 150 бар (15 МПа) до приблизительно 500 бар (50 МПа)). Содержащий CO₂ поток может быть пропущен через турбину, расширяясь, генерируя мощность и образуя выхлопной поток турбины, содержащий CO₂. Содержащий CO₂ поток может расширяться в турбине при заданном отношении давлений.

Выхлопной поток турбины может быть обработан так, чтобы удалить продукты горения и некоторое количество товарного CO₂, образовавшиеся при сжигании топлива. Для этого выхлопной поток турбины может быть охлажден путем пропускания через теплообменник. Может использоваться любой подходящий теплообменник, способный работать при описанных температурах и давлениях. В некоторых вариантах выполнения теплообменник может содержать последовательность по меньшей мере из двух, по меньшей мере из трех или даже большего числа теплообменников-экономайзеров. Может использоваться один теплообменник по меньшей мере с двумя секциями, по меньшей мере с тремя или даже с большим числом секций. Например, можно представить себе теплообменник, имеющий по меньшей мере три теплообменные секции, работающие в разных температурных диапазонах. Тепло, отведенное из выхлопного потока турбины, может использоваться для нагрева рециркуляционного CO₂ потока, как описано далее.

Выхлопной поток турбины может быть разделен на две или более частей. Первая часть может содержать 50% или более, 70% или более или 90% или более (но менее 100%) общего массового расхода выхлопного потока турбины. Весь выхлопной поток турбины или его часть могут быть пропущены через сепаратор для удаления воды и могут быть дополнительно обработаны для удаления других продуктов горения или загрязнений. Получившийся поток может быть назван главным рециркуляционным CO₂ потоком. Часть главного рециркуляционного CO₂ потока может быть объединена с кислородом для образования потока окислителя, который может быть сжат в один или несколько приемов для достижения заданного входного давления камеры сгорания. Часть главного рециркуляционного CO₂ потока может быть сжата, например, в многоступенчатом компрессоре с промежуточным охлаждением между ступенями. Предпочтительно главный рециркуляционный CO₂ поток (сам по себе или в комбинации с кислородом) сжимается до давления, составляющего приблизительно от 40 бар (4 МПа) до приблизительно 400 бар (40 МПа), приблизительно от 80 бар (8 МПа) до приблизительно 200 бар (20 МПа) или приблизительно от 100 бар (10 МПа) до приблизительно 150 бар (15 МПа). Сжатый рециркуляционный CO₂ поток затем пропускается обратно через теплообменник для нагрева. Сжатый рециркуляционный CO₂ поток нагревается с использованием тепла, отведенного из выхлопного потока турбины (которое можно назвать теплом горения, сохранившимся в потоке турбинных выхлопов). Для достижения близких значений температуры между потоком турбинных выхлопов и нагретым, сжатым рециркуляционным CO₂ потоком, выходящим из теплообменника и поступающим в камеру сгорания, может вводиться добавочное тепло (например, тепло сжатия). Использование аддитивного нагрева может иметь преимущество, заключающееся в снижении температурной разницы между потоком турбинных выхлопов и нагретым, сжатым рециркуляционным CO₂ потоком, выходящим из теплообменника и поступающим в камеру сгорания, до значений приблизительно 30°C или менее, приблизительно 25°C или менее или приблизительно 20°C или менее, например приблизительно от 2 до приблизительно 20°C или приблизительно от 2 до приблизительно 10°C.

Хотя вышесказанное представлено в качестве иллюстративных или средних параметров для различных компонентов и технологических операций системы и способа генерации мощности, некоторые параметры должны соблюдаться при переходе от нерабочего состояния к нормальному рабочему состоянию, в котором такие параметры могут быть пригодны для всех компонентов системы. На чертеже представлена блок-схема системы и способа генерации мощности согласно настоящему изобретению, в которую включена байпасная линия. Байпасная линия введена для пропускания сжатого окислителя в рециркуляционную линию так, чтобы обходной поток был регулируемым посредством одного или нескольких вентилях (трубопроводной арматуры) таким образом, чтобы этот поток мог включаться при запуске и выключаться сразу при достижении заданных рабочих параметров. Во время активного пропускания окислителя в рециркуляционную линию прохождение рециркуляционного CO₂ потока из компрессора с приводом от вала может быть перекрыто так, чтобы рециркуляционный CO₂ поток не поступал в рециркуляционную линию. В частности, рециркуляционный CO₂ поток может быть сведен до минимума во время запуска, или этому потоку может быть предоставлена возможность прохождения в обход компрессора с приводом от вала, делая возможным переход компрессора из недействующего состояния в точку, лежащую в его рабочем диапазоне. Такая конфигурация во время запуска является предпочтитель-

ной, так как компрессор с приводом от вала, используемый для сжатия рециркуляционного CO_2 потока, не может обеспечивать расход и давление в потоке, требуемые для надлежащего регулирования температуры горения в камере сгорания до тех пор, пока скорость вала, совместно используемого компрессором и турбиной, не достигнет пороговой скорости или не превзойдет ее. Однако компрессор окислителя может быть компрессором с приводом от двигателя и сам по себе может действовать таким образом, чтобы обеспечить расход и давление в потоке, требуемые для введения в камеру сгорания, даже во время запуска, при котором скорость вала ниже пороговой скорости турбины. Понятно, что химия горения на стадии запуска будет отличаться от химии горения во время нормальной генерации мощности. Это связано с тем, что используется большее процентное содержание окислителя в камере сгорания, чем было бы при поступлении в нее рециркуляционного CO_2 потока. Так как стадия запуска достаточно коротка по длительности, разница в химии горения не является определяющей для всей системы и способа. Кроме того, эти химические компоненты быстро разжижаются, как только система начинает действовать при нормальных рабочих параметрах.

Как только турбина проработала время, достаточное для достижения пороговой скорости турбины, байпасная линия может быть перекрыта и может быть начато пропускание рециркуляционного CO_2 потока по рециркуляционной линии в камеру сгорания для нормальной работы. В некоторых вариантах выполнения пороговая скорость турбины может составлять приблизительно 50% или более от скорости, с которой турбина работает в нормальном режиме генерации мощности. В дополнительных вариантах выполнения пороговая скорость турбины может составлять приблизительно 60% или более, приблизительно 70% или более, приблизительно 80% или более, приблизительно 85% или более или приблизительно 90% или более от скорости, с которой турбина работает в нормальном режиме генерации мощности.

Сразу при достижении турбиной пороговой скорости байпасная линия может быть перекрыта. Например, может быть закрыт стоящий в этой линии клапан. При закрытии клапана байпасной линии контроллер, управляющий компрессором рециркуляционного CO_2 потока, вызовет начало поступления рециркуляционного CO_2 потока в рециркуляционную линию и прохождение по ней в камеру сгорания. Таким образом, поток, регулирующий температуру горения, не прерывается несмотря на то, что химический состав может меняться по мере замещения потока окислителя рециркуляционным CO_2 потоком.

В иллюстративных вариантах выполнения, представленных на чертеже, топливо на основе природного газа (NG) через клапан 1 и линию 120 поступает в камеру 15 сгорания, где оно сжигается с кислородом в присутствии CO_2 , образуя поток продуктов горения, расширяющийся в турбине 20 с образованием выхлопного потока 126 турбины. Воздух от источника 22а воздуха поступает через сальниковое уплотнение 21, смешиваясь с выхлопами турбины, проходящими в обход сальникового уплотнения, и формирует поток 122, преобразующийся в поток 123, который сжимается в компрессоре 23 с сальниковым уплотнением, образуя поток 124а. В некоторых случаях открывается клапан 2, и воздух от источника 22b воздуха проходит через клапан 2 в виде потока 121, который смешивается с потоком 122, формируя поток 123, который может содержать большую долю воздуха. В некоторых вариантах выполнения система может быть сконфигурирована на предпочтительное прохождение одного или нескольких потоков через один или несколько клапанов. Например, линия 124а и линия 126 (после выхода из теплообменника 30) могут быть размещены относительно клапана 3 так, чтобы линия 124а находилась ближе к клапану, чем линия 126. Это обеспечивает возможность того, чтобы выходящий поток через клапан 3 преимущественно состоял из потока по линии 124а, а не из потока через линию 126. Эта конфигурация может быть подобрана таким образом, чтобы обеспечивалось заданное смешивание потоков. Благодаря этому любые загрязняющие примеси, поступающие в систему через воздушные входы 22а или 22b, могут быть сведены к минимуму, так как они могут преимущественно направляться на выход (клапан 3). Кроме того, при работе компрессора 23 с сальниковым уплотнением также может быть минимизирована негерметичность воздушного канала и, следовательно, поступление в систему загрязняющих примесей.

Выхлопной поток 126 турбины охлаждается в теплообменнике 30, и некоторая часть потока 124а, не отведенная через клапан 3, может смешиваться с охлажденным выхлопным потоком 126 турбины за счет потока 124b. CO_2 от CO_2 -источника 115 проходит через клапан 4 и линию 127 и смешивается с охлажденным выхлопным потоком 126 турбины перед прохождением через сепаратор 40.

Водяной поток 125 из сепаратора 40 может отводиться через клапан 6 и(или) нагнетаться насосом 90 с формированием потока 147, который охлаждается в водяном кулере 101, образуя поток 148, направляемый обратно в сепаратор. В основном чистый CO_2 выходит из сепаратора 40 в виде рециркуляционного потока в линию 128 и сжимается в главном компрессоре 50 с образованием сжатого рециркуляционного CO_2 потока, который охлаждается в водяном кулере 102, формируя поток 131, проходящий через главный насос 60 и направляемый в камеру 15 сгорания по рециркуляционной линии 133 после прохождения через клапан 13. Часть потока 130 может пропускаться через клапан 8 и линию 135 для рециркуляции через главный компрессор 50. Часть сжатого рециркуляционного CO_2 потока из рециркуляционной линии 133 может быть отведена в линию 134 выше по потоку клапана 13 и пропущена через клапан 9 для рециркуляции через водяной кулер 102. Рециркуляционный CO_2 поток, проходящий по линии 131, может быть пропущен в обход насоса 60 по байпасной линии 132, включающей выходящий клапан 12 для

главного компрессора 50.

Часть рециркуляционного CO_2 потока из линии 128 может проходить через вентиль 7 в линию 136, смешиваясь с кислородом, поступающим от кислородного источника 205 через вентиль 5 и линии 137, и формируя поток 138 окислителя. Поток 138 окислителя (смесь O_2/CO_2) пропускается через теплообменник 103, формируя поток 139, который сжимается в компрессоре 70 окислителя и выходит в линию 140. Часть сжатого потока окислителя из линии 140 может поступать в линию 141 и через вентиль 10 на рециркуляцию через теплообменник 103. В теплообменнике 103 поток 138 окислителя может нагреваться или охлаждаться. Например, на вход 201 может поступать поток холодной воды, который выходит в виде нагретого выходного потока 202, за счет чего поток 139 окислителя охлаждается относительно потока 138. Альтернативно на вход 201 может поступать поток горячей воды, который выходит в виде охлажденного выходного потока 201, за счет чего поток 139 окислителя нагревается относительно потока 138. Сжатый окислитель из линии 140 проходит через водяной кулер 104, формируя поток 142, который проходит через O_2/CO_2 насос 80 и вентиль 16 перед поступлением по линии 144 окислителя в камеру 15 сгорания для сжигания там топлива. Окислитель может обходить насос 80 по байпасной линии 143 окислителя через выходной вентиль 17 окислителя. Пусковая байпасная линия 146 соединяет между собой линию 141 и байпасную линию 132 насоса и содержит вентиль 14.

При работе в пусковом режиме выходной вентиль 12 главного компрессора 50 закрыт (так же, как вентиль 9 в линии 134 и вентиль 13 в рециркуляционной линии 133). По существу, рециркуляционный CO_2 поток 128 не поступает обратно в камеру 15 сгорания. Кислород, проходящий через вентиль 5 и линию 137 (и смешивающийся с рециркуляционным CO_2 из линии 136) охлаждается (или нагревается) в теплообменнике 103 и сжимается в компрессоре 70 окислителя (который может быть компрессором с приводом от двигателя). Часть сжатого окислителя (смесь O_2/CO_2) из линии 140 охлаждается в кулере 104 и в обход насоса 80 по байпасной линии 143 (при открытом вентиле 17 и закрытом вентиле 16) поступает по линии 144 в камеру сгорания. Часть сжатого окислителя из линии 140 также поступает через линию 141 в пусковую байпасную линию 146. Так как выходной вентиль 12 главного компрессора закрыт, окислитель, который в противном случае смешался бы с CO_2 , проходящим через байпасную линию 132 насоса, поступает по рециркуляционной линии 133 в камеру 15 сгорания. В этом режиме действие продолжается до тех пор, пока турбина не достигнет своих пороговых показателей и вал, служащий приводом для компрессора 50, не начнет работать на скорости, достаточной для того, чтобы компрессор 50 с приводом от вала обеспечивал рециркуляционный CO_2 поток с нужным расходом и давлением. В этот момент вентиль 14 байпасной линии закрывается и выходной вентиль 12 главного компрессора открывается. Окислитель больше не проходит через рециркуляционную линию 133 и проходит только по линии 144 окислителя. При работе турбины на скорости, превышающей пороговую скорость, компрессор 50 обеспечивает рециркуляционный CO_2 поток через рециркуляционную линию 133 с требуемыми расходом и давлением в потоке, достаточными для ввода в камеру 15 сгорания.

В некоторых вариантах выполнения могут использоваться две разные пороговые скорости турбины, чтобы обеспечить плавный переход от пусковой стадии к стадии нормальной генерации мощности. Первая пороговая скорость турбины может использоваться для ступенчатого закрывания вентиля байпасной линии (и, следовательно, открывания выходного вентиля главного компрессора). Закрывание и открывание вентиля может быть постепенным. По мере продолжения возрастания скорости турбины вторая пороговая скорость турбины может соответствовать моменту, когда вентиль байпасной линии может быть закрыт полностью.

Приведенная выше конфигурация может быть модифицирована в одном или нескольких вариантах выполнения. Например, подача кислорода в компрессор 70 окислителя может производиться через воздушный ввод в потоке 121, а не через кислородный ввод в потоке 137. В таких вариантах выполнения компрессор 23 с сальниковым уплотнением будет эффективно заполнять установку воздухом при закрытых вентилях 4 и 5. Компрессор 70 окислителя будет по-прежнему подавать в турбину поток окислителя (воздуха в таких вариантах выполнения) через поток 144 и по обходному пути по потоку 133. Альтернативно CO_2 со входа 115 CO_2 , поступающий через вентиль 4 с потоком 127, может быть подведен к всасывающему входу компрессора 23 с сальниковым уплотнением. В таких вариантах выполнения вентиль 4 будет открыт во время прохождения воздуха через вентиль 2. Установка будет заполняться смесью воздуха и CO_2 , и при этом компрессор 70 окислителя будет все еще регулировать подачу текучих сред по потокам 144 и 133.

Многие модификации и другие варианты реализации раскрытой сущности настоящего изобретения могут прийти на ум специалисту в данной области, которому приведенная сущность изобретения предоставляет преимущество, заключающееся в идеях, заложенных в вышеприведенное описание и сопровождающие чертежи. Поэтому должно быть понятно, что настоящее изобретение не ограничено конкретными приведенными частными вариантами и модификациями, и в объеме изобретения, определяемый приложенной формулой изобретения, должны быть включены 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 генерации мощности, включающая камеру сгорания; турбину, имеющую сальниковое уплотнение и воздушный ввод; первый компрессор на общем валу с турбиной, представляющий собой компрессор с приводом от вала; компрессор окислителя; выхлопную линию, выполненную с возможностью пропускания выхлопного потока турбины от турбины в первый компрессор; рециркуляционную линию, выполненную с возможностью пропускания рециркуляционного CO_2 потока от первого компрессора в камеру сгорания; линию окислителя, выполненную с возможностью пропускания потока окислителя от компрессора окислителя в камеру сгорания; байпасную линию, выполненную с возможностью пропускания по меньшей мере части потока окислителя из линии окислителя в рециркуляционную линию; компрессор с сальниковым уплотнением, выполненный с возможностью приема и сжатия потока воздуха и турбинного выхлопа от сальникового уплотнения; отвод, связанный с компрессором с сальниковым уплотнением с возможностью получения потока от компрессора с сальниковым уплотнением; отводную линию между компрессором с сальниковым уплотнением и отводом.
2. Система по п.1, в которой байпасная линия имеет трубопроводную арматуру.
3. Система по п.2, в которой трубопроводная арматура байпасной линии выполнена с возможностью нахождения в открытом состоянии при скорости турбины ниже первой пороговой скорости.
4. Система по п.2, в которой трубопроводная арматура байпасной линии выполнена с возможностью нахождения в закрытом состоянии при скорости турбины выше второй пороговой скорости.
5. Система по п.1, включающая рекуперативный теплообменник.
6. Система по п.5, в которой выхлопная линия, рециркуляционная линия и линия окислителя выполнены с возможностью пропускания своих соответствующих потоков через рекуперативный теплообменник.
7. Система по п.1, в которой компрессор окислителя представляет собой компрессор с приводом от двигателя.
8. Система по п.1, в которой отводная линия между компрессором с сальниковым уплотнением и отводом сообщается по потоку с выхлопной линией и в которой отводная линия и выхлопная линия размещены относительно отвода так, чтобы обеспечивался предпочтительный поток к отводу от соответствующих линий.
9. Способ запуска системы генерации мощности по п.1, включающий сжатие потока окислителя в компрессоре окислителя с приводом от двигателя; пропускание сжатого окислителя от компрессора окислителя в камеру сгорания по линии окислителя; сжигание топлива с окислителем в камере сгорания; расширение потока продуктов горения, поступающего из камеры сгорания, в турбине; охлаждение выхлопного потока турбины, поступающего из турбины, в рекуперативном теплообменнике; отвод воды из выхлопного потока турбины для формирования рециркуляционного CO_2 потока; сжатие рециркуляционного CO_2 потока в компрессоре с приводом от вала, установленном на общем валу с турбиной, для формирования сжатого рециркуляционного CO_2 потока, сформированного с возможностью прохождения в камеру сгорания по рециркуляционной линии, проходящей через рекуперативный теплообменник; причем сжатый рециркуляционный CO_2 поток рециркулируют, а окислитель от компрессора окислителя с приводом от двигателя направляют по рециркуляционной линии в камеру сгорания до тех пор, пока турбина не достигнет заданной пороговой скорости, составляющей приблизительно 50% или более от нормальной рабочей скорости.
10. Способ по п.9, в котором заданная пороговая скорость составляет приблизительно 85% от нормальной рабочей скорости.
11. Способ по п.9, в котором окислитель, поступающий в компрессор окислителя, представляет собой смесь O_2 и CO_2 .
12. Способ по п.9, в котором окислитель, поступающий в компрессор окислителя, представляет собой воздух.
13. Способ по п.12, в котором турбина содержит сальниковое уплотнение, воздушный ввод и компрессор с сальниковым уплотнением, выполненный с возможностью приема и сжатия потока воздуха и турбинного выхлопа от сальникового уплотнения.
14. Способ по п.9, в котором, по существу, никакого сжатого рециркуляционного CO_2 потока не по-

ступает в камеру сгорания по рециркуляционной линии до тех пор, пока турбина не достигнет заданной пороговой скорости.

