

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **026404**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.04.28

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

(21) Номер заявки
201390056

(22) Дата подачи заявки
2011.06.09

(54) ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА И СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ

(31) **61/361,176**

(56) US-A1-20080309087
US-A1-20090284013
US-A1-20080092539

(32) **2010.07.02**

(33) **US**

(43) **2013.05.30**

(86) **PCT/US2011/039828**

(87) **WO 2012/003078 2012.01.05**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ЭКСОНМОБИЛ АПСТРИМ РИСЕРЧ
КОМПАНИ (US)**

(72) Изобретатель:
**Дентон Роберт Д., Гупта Химаншу,
Хантингтон Ричард, Минта Моузес,
Миттрикер Франклин Ф., Старчер
Лорен К. (US)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Предложены способы и системы для производства энергии с низким выходом загрязняющих веществ в процессах извлечения углеводородов. Одна система включает газотурбинную систему, предназначенную для стехиометрического сжигания сжатого окислителя и топлива в присутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа и расширения выходящего потока в расширителе для образования потока отработавших газов и приведения в действие главного компрессора. Вспомогательный компрессор может принимать и увеличивать давление потока отработавших газов и вводить его в испарительную охлаждающую башню, предназначенную для использования отработавшего газообразного азота, имеющего низкую относительную влажность, в качестве испарительной охлаждающей среды. Охлажденный поток отработавших газов затем сжимается и рециркулирует через систему в качестве разбавителя для образования умеренной температуры стехиометрического сгорания.

026404 B1

026404 B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Заявка на данное изобретение испрашивает приоритет предварительной патентной заявки США № 61/361176, поданной 2 июля 2010 г. и озаглавленной "Стехиометрическое сгорание с рециркуляцией отработавшего газа и охладителем непосредственного контакта", которая во всей своей полноте включена в настоящий документ посредством ссылки.

Заявка на изобретение содержит предмет, относящийся к патентной заявке США № 61/361169, поданной 2 июля 2010 г. и озаглавленной "Системы и способы для регулирования сгорания топлива"; патентной заявке США № 61/361170, поданной 2 июля 2010 г. и озаглавленной "Системы и способы производства энергии с тройным циклом и низким выходом загрязняющих веществ"; патентной заявке США № 61/361173, поданной 2 июля 2010 г. и озаглавленной "Системы и способы производства энергии с тройным циклом и низким выходом загрязняющих веществ"; патентной заявке США № 61/361178, поданной 2 июля 2010 г. и озаглавленной "Стехиометрическое сгорание с обогащенным воздухом и рециркуляцией отработавшего газа"; и патентной заявке США № 61/361180 поданной 2 июля 2010 г. и озаглавленной "Системы и способы производства энергии с низким выходом загрязняющих веществ".

Область техники, к которой относится изобретение

Варианты осуществления настоящего изобретения относятся к производству энергии с низким выходом загрязняющих веществ в энергетических системах с комбинированным циклом.

Уровень техники

Настоящий раздел предназначен для представления разнообразных аспектов техники, которые могут быть связаны с примерными вариантами осуществления настоящего изобретения. Считается, что данное обсуждение будет способствовать определению основных положений, облегчающих лучшее понимание конкретных аспектов настоящего изобретения. Соответственно, необходимо понимать, что настоящий раздел следует читать в этом свете и необязательно в качестве допущений предшествующего уровня техники.

В связи с растущей озабоченностью глобальным изменением климата и влиянием выбросов CO_2 привлекает особое внимание проблема улавливание CO_2 от электростанций. Эта проблема в сочетании с осуществлением политики ограничения и торговли квотами на выбросы во многих странах делает уменьшение выбросов CO_2 приоритетным для этих и других стран, а также для предприятий, которые эксплуатируют системы добычи углеводородов на их территориях.

Газотурбинные электростанции комбинированного цикла являются весьма эффективными, и их можно эксплуатировать при относительно низкой стоимости по сравнению с другими технологиями, такие как угольные и ядерные. Улавливание CO_2 из отработавших газов газотурбинных электростанций комбинированного цикла, однако, может оказаться затруднительным по нескольким причинам. Например, в отработавших газах присутствует, как правило, низкая концентрация CO_2 по сравнению с большим объемом газа, который должен быть переработан. Кроме того, часто требуется дополнительное охлаждение перед введением отработавших газов в систему улавливания CO_2 , и отработавшие газы могут оказываться насыщенными водой вследствие охлаждения, в результате чего увеличивается нагрузка ребойлера в системе улавливания CO_2 . Другие обычные факторы могут включать низкое давление и большие количества кислорода, который часто содержится в отработавших газах. Все эти факторы приводят к высокой стоимости улавливания CO_2 от газотурбинных электростанций комбинированного цикла.

Некоторые подходы к снижению выбросов CO_2 включают обезуглероживание топлива или улавливание после сгорания с использованием растворителей, такие как амины. Однако оба эти решения являются дорогостоящими и сокращают эффективность производства энергии, приводя к снижению производства энергии, повышению потребления топлива и увеличению стоимости электроэнергии для удовлетворения внутреннего спроса на энергию. В частности, присутствие таких компонентов, как кислород, SO_x , и NO_x , делает весьма проблематичным использование абсорбции аминными растворителями. Еще один подход представляет собой кислородно-топливная газовая турбина в комбинированном цикле (например, когда тепло отработавших газов от газовой турбины с циклом Брайтона (Brayton) улавливают для получения пара и производства дополнительной энергии в цикле Ренкина (Rankin)). Однако отсутствуют промышленные газовые турбины, которые можно эксплуатировать в таком цикле, и требуется энергия для производства кислорода высокой чистоты, что значительно уменьшает суммарную эффективность процесса. Авторы нескольких исследований сравнивали данные процессы и продемонстрировали некоторые из преимуществ каждого подхода. См. например работу, которую опубликовали Olav Bolland и Henriette Undum "Удаление CO_2 от газотурбинных электростанций: оценка способов до и после сгорания", SINTEF Group, <http://www.energy.sintef.no/pub1/xergi/98/3/3art-8-engelsk.htm> (1998 г.).

Другие подходы к снижению выбросов CO_2 включают стехиометрическую рециркуляцию отработавшего газа, такую как в комбинированных циклах природного газа (NGCC). В традиционной системе NGCC только приблизительно 40% суммарного входящего объема воздуха требуется для достаточного обеспечения стехиометрического сгорания топлива, в то время как оставшаяся часть (60%) объема воздуха служит для образования умеренной температуры и охлаждения отработавшего газа таким образом, чтобы он был подходящим введения в последующий расширитель, но также неблагоприятно создает избыток кислорода в качестве побочного продукта, который трудно удалять. Типичная система NGCC

производит отработавший газ низкого давления, для которого требуется доля производимой энергии, чтобы удалять CO_2 для сокращения выбросов или EOR, в результате чего уменьшается тепловой коэффициент полезного действия NGCC. Кроме того, оборудование для удаления CO_2 является крупным и дорогостоящим, и требуется несколько ступеней сжатия, чтобы довести давление окружающего газа до давления, необходимого для EOR или сокращения выбросов. Такие ограничения являются типичными для улавливания диоксида углерода после сгорания из отработавшего газа низкого давления в связи со сгоранием других видов ископаемого топлива, таких как уголь.

На мощность и эффективность компрессора отработавшего газа электростанции комбинированного цикла непосредственно влияет температура впуска и состав рециркулирующего отработавшего газа. Традиционно отработавший газ охлаждают путем непосредственного контакта с рециркулирующей водой в охладителе непосредственного контакта. Рециркулирующую воду можно охлаждать несколькими способами, включая использование теплообменника для отвода тепла рециркулирующей охлаждающей водой, использование оребренного воздушного теплообменника или испарительное охлаждение с помощью традиционной охлаждающей башни. Однако охлаждение этими способами ограничено окружающими атмосферными условиями, особенно в местах с более теплым климатом.

Представленное выше обсуждение технических потребностей предназначено как иллюстративное, а не исчерпывающее. Технология, удовлетворяющая одну или более из данных потребностей или устраняющая какие-либо другие недостатки в данной области, способствовала бы производству энергии в энергетических системах с комбинированным циклом.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение относится к интегрированным системам и способам усовершенствования систем производства энергии. В некоторых вариантах осуществления настоящее изобретение предусматривает интегрированную систему, включающую газотурбинную систему, систему рециркуляции отработавшего газа и сепаратор CO_2 , которые преимущественно интегрированы. Газотурбинная система может включать камеру сгорания, предназначенную для стехиометрического сжигания сжатого окислителя и топлива в присутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа. Сжатый рециркулирующий отработавший газ служит для образования умеренной температуры сгорания в камере сгорания. Камера сгорания направляет выходящий поток в расширитель, предназначенный для образования потока отработавших газов и, по меньшей мере, частичного приведения в действие главного компрессора. Поток отработавших газов из расширителя поступает в систему рециркуляции отработавшего газа, имеющую по меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок. По меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок охлаждает отработавшие газы перед введением в главный компрессор для образования сжатого рециркулирующего отработавшего газа. Сепаратор CO_2 находится в гидравлическом соединении со сжатым рециркулирующим отработавшим газом посредством продувочного потока и предназначен для выпуска остаточного потока, состоящего, главным образом, из обогащенного азотом газа. Обогащенный азотом газ может расширяться в газовом расширителе, образуя отработавший газообразный азот. Отработавший газообразный азот поступает по меньшей мере в один интегрированный охлаждающий блок для охлаждения отработавших газов. По меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок является интегрированным в том смысле, что, по меньшей мере, в некоторой степени эффект охлаждения улучшается за счет интегрированного использования отработавшего газообразного азота.

В качестве дополнения или альтернативы, настоящее изобретение предусматривает способы производства энергии. Примерные способы включают:

- a) стехиометрическое сжигание сжатого окислителя и топлива в камере сгорания и в присутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа, в результате чего образуется выходящий поток, где сжатый рециркулирующий отработавший газ выступает в качестве разбавителя, предназначенного для создания умеренной температуры выходящего потока;
- b) расширение выходящего потока в расширителе, по меньшей мере, для частичного приведения в действие главного компрессора и образования потока отработавших газов;
- c) направление потока отработавших газов по меньшей мере в один интегрированный охлаждающий блок;
- d) охлаждение потока отработавших газов по меньшей мере в одном интегрированном охлаждающем блоке перед введением потока отработавших газов в главный компрессор для образования сжатого рециркулирующего отработавшего газа;
- e) направление части сжатого рециркулирующего отработавшего газа в сепаратор CO_2 посредством продувочного потока, причем сепаратор CO_2 предназначен для выпуска остаточного потока, состоящего, главным образом, из обогащенного азотом газа, подлежащего расширению в газовом расширителе, и образования отработавшего газообразного азота; и
- f) введение отработавшего газообразного азота по меньшей мере в один интегрированный охлаждающий блок для охлаждения потока отработавших газов.

Кроме того, в качестве дополнения или альтернативы, системы согласно настоящему изобретению могут включать камеру сгорания, испарительную охлаждающую башню и сепаратор CO_2 . Камера сгорания может быть предназначена для стехиометрического сжигания сжатого окислителя и топлива в при-

сутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа. Камера сгорания направляет выходящий поток в расширитель, предназначенный для образования потока отработавших газов, и приводит в действие главный компрессор. Испарительная охлаждающая башня может содержать первую колонну и вторую колонну. Вторая колонна может быть предназначена для получения и охлаждения потока отработавших газов перед сжатием в главном компрессоре для образования сжатого рециркулирующего отработавшего газа. Сепаратор CO_2 может находиться в гидравлическом соединении со сжатым рециркулирующим отработавшим газом посредством продувочного потока и предназначаться для выпуска остаточного потока, состоящего, главным образом, из обогащенного азотом газа, подлежащего расширению в газовом расширителе, и образования отработавшего газообразного азота, причем отработавший газообразный азот поступает в первую колонну для испарения и охлаждения исходной охлаждающей воды, чтобы выпускать охлажденную воду, и охлажденная вода поступает во вторую колонну для охлаждения потока отработавших газов.

Краткое описание чертежей

Представленные выше и другие преимущества настоящего изобретения могут стать очевидными после ознакомления со следующим подробным описанием и чертежами неограничительных примеров вариантов осуществления, в числе которых:

фиг. 1 представляет иллюстративную интегрированную систему производства энергии с низким выходом загрязняющих веществ и усовершенствованной регенерацией CO_2 согласно одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения;

фиг. 2 представляет иллюстративный охлаждающий блок для охлаждения отработавшего газа перед его сжатием согласно одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

Подробное описание

В следующем разделе подробного описания конкретные варианты осуществления настоящего изобретения описаны в связи с предпочтительными вариантами его осуществления. Однако, поскольку следующее описание представляет конкретный вариант осуществления или конкретное использование настоящего изобретения, оно предназначено исключительно для примерных целей и просто представляет описание примерных вариантов осуществления. Соответственно, настоящее изобретение не ограничено конкретными вариантами его осуществления, которые описаны ниже, но, напротив, включает все альтернативы, модификации и эквиваленты, которые находятся в пределах объема прилагаемой формулы изобретения.

Разнообразные термины, которые используются в настоящем документе, определены ниже. Если используемый термин не определен ниже, ему следует придавать наиболее широкое значение, которое специалисты в соответствующей области техники придают данному термину и которое отражено по меньшей мере в одной печатной публикации или выданном патенте.

При использовании в настоящем документе термин "стехиометрическое сгорание" означает реакцию горения с участием некоторого объема реагирующих веществ, включающих топливо и окислитель, и образованием некоторого объема продуктов горения реагирующих веществ, где весь объем реагирующих веществ расходуется для образования продуктов. При использовании в настоящем документе термин "практически стехиометрическое сгорание" означает реакцию горения, в которой молярное соотношение сгорающего топлива и кислорода составляет приблизительно $\pm 10\%$ кислорода, требуемого для стехиометрического соотношения, или предпочтительнее $\pm 5\%$ кислорода, требуемого для стехиометрического соотношения. Например, стехиометрическое соотношение топлива и кислорода в случае метана составляет 1:2 ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$). В случае пропана стехиометрическое соотношение топлива и кислорода составляет 1:5. Еще один способ измерения практически стехиометрического сгорания представляет собой такое соотношение поступающего кислорода и требуемого для стехиометрического сгорания кислорода, которое составляет от приблизительно 0,9:1 до приблизительно 1,1:1 или предпочтительнее от приблизительно 0,95:1 до приблизительно 1,05:1.

При использовании в настоящем документе термин "поток" означает объем текучих сред, хотя использование термина "поток", как правило, означает перемещение объема текучих сред (например, имеющих скорость или массовую скорость потока). Однако для термина "поток" не требуется скорость, массовая скорость потока или конкретный тип канала, в котором заключен поток.

Варианты осуществления описанных в настоящем документе систем и способов можно использовать в производства с ультранизкими выбросами электроэнергии и CO_2 для применения в усовершенствованной добыче нефти (EOR) и/или сокращении выбросов. В одном или нескольких вариантах осуществления смесь воздуха и топлива можно стехиометрически или практически стехиометрически сжигать и смешивать с потоком рециркулирующего отработавшего газа. Поток рециркулирующего отработавшего газа, как правило, включающий продукты сгорания, такие как CO_2 , можно использовать в качестве разбавителя для контроля, регулирования или иного создания умеренной температуры сгорания и отработавших газов, которые поступают в последующий расширитель. Благодаря использованию обогащенного воздуха рециркулирующий отработавший газ может иметь повышенное содержание CO_2 , в результате чего расширитель можно эксплуатировать при еще более высоких соотношениях расширения для

таких же температуры впуска и выпуска, что позволяет производить значительно более высокую мощность.

Сгорание в промышленных газовых турбинах при стехиометрических условиях или практически стехиометрических условиях (например, "слегка обогащенное топливом" сгорание) может оказаться преимущественным, поскольку устраняет расходы на удаление избытка кислорода. Кроме того, слегка обедненное топливом сгорание может дополнительно сокращать содержание кислорода в потоке отработавших газов. Путем охлаждения отработавших газов и конденсации воды из охлажденного потока отработавших газов можно производить имеющий относительно высокое содержание CO_2 поток отработавших газов. В то время как часть рециркулирующего отработавшего газа можно использовать для регулирования температуры в замкнутом цикле Брайтона, оставшийся продувочный поток можно использовать для установок EOR, и/или можно производить электроэнергию с небольшими или нулевыми выбросами в атмосферу оксидов серы (SO_x), оксидов азота (NO_x) и/или CO_2 . Когда продувочный поток или его часть направляют на производство электроэнергии, результат представляет собой производство энергии в трех отдельных циклах и производство дополнительного CO_2 .

Поскольку на мощность и эффективность компрессора отработавшего газа непосредственно влияет температура впуска рециркулирующего отработавшего газа, может получить преимущество снижение температуры рециркулирующего отработавшего газа перед сжатием. Соответственно, в вариантах осуществления настоящего изобретения используют выходящий поток азота, имеющего низкую относительную влажность, в качестве испарительной охлаждающей среды в охлаждающем блоке, предшествующем компрессору отработавшего газа. Сухой газообразный азот может быть предназначен для испарения и охлаждения потока воды, предназначенной для охлаждения рециркулирующий отработавший газ, в результате чего происходит введение более холодного отработавшего газа в компрессор и увеличение его эффективности за счет возможности дополнительной мощности. Как можно предполагать, это может иметь преимущество по нескольким причинам. Например, снижение температуры всасывания может быть равно снижению температуры выпуска, что может уменьшить охлаждение, требуемое для низкоэнергетических процессов отделения CO_2 . Кроме того, дополнительный охлаждающий блок может удалять дополнительное количество воды из рециркулирующего отработавшего газа, в результате чего уменьшается нагрузка ребойлера в любой системе отделения CO_2 .

Теперь рассмотрим чертежи, где фиг. 1 схематически представляет иллюстративную интегрированную систему 100 для производства энергии и регенерации CO_2 с использованием конфигурации комбинированного цикла согласно одному или нескольким вариантам осуществления. По меньшей мере в одном варианте осуществления производящая энергию система 100 может включать газотурбинную систему 102, характеризующуюся как производящий энергию замкнутый цикл Брайтона. Газотурбинная система 102 может включать первый или главный компрессор 104, присоединенный к расширителю 106 через общий вал 108 или через иное механическое, электрическое или другое устройство для передачи мощности, в результате чего часть механической энергии, производимой расширителем 106, может приводить в действие главный компрессор 104. Газотурбинная система 102 может представлять собой стандартную газовую турбину, где главный компрессор 104 и расширитель 106 образуют концы компрессора и расширителя, соответственно. В других вариантах осуществления, однако, главный компрессор 104 и расширитель 106 могут представлять собой отдельные компоненты в системе 102.

Газотурбинная система 102 может также включать камеру сгорания 110, предназначенную для сжигания топлива, вводимого посредством линии 112 и смешанного со сжатым окислителем в линии 114. В одном или нескольких вариантах осуществления топливо в линии 112 может включать любые подходящие газообразные или жидкие углеводороды, такие как природный газ, метан, этан, нефть, бутан, пропан, синтетический газ, дизельное топливо, керосин, авиационное топливо, полученное из угля топливо, биотопливо, окисленный углеводородный исходный материал или любое их сочетание. Сжатый окислитель в линии 114 можно получать из второго или впускного компрессора 118, находящегося в гидравлическом соединении с камерой сгорания 110 и предназначенного для сжатия исходного окислителя, вводимого посредством линии 120. В одном или нескольких вариантах осуществления исходный окислитель в линии 120 может включать любой подходящий газ, содержащий кислород, такие как воздух, обогащенный кислородом воздух, обедненный кислородом воздух, чистый кислород или их сочетания.

Как будет описано ниже более подробно, камера сгорания 110 может также получать сжатый рециркулирующий отработавший газ в линии 144, включая рециркулирующий отработавший газ, содержащий, главным образом, CO_2 и азот в качестве компонентов. Сжатый рециркулирующий отработавший газ в линии 144 можно получать из главного компрессора 104 и использовать, чтобы способствовать обеспечению стехиометрического или практически стехиометрического сгорания сжатого окислителя в линии 114 и топлива в линии 112 путем регулирования температуры продуктов сгорания. Как можно предполагать, рециркулирующий отработавший газ может служить для увеличения концентрации CO_2 в отработавшем газе.

Отработавший газ в линии 116, направляемый во впуск расширителя 106, можно производить в качестве продукта сгорания топлива в линии 112 и сжатого окислителя в линии 114 в присутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа в линии 144. По меньшей мере в одном варианте осуществления

топливо в линии 112 может представлять собой, главным образом, природный газ, в результате чего образуется отходящий или отработавший газ посредством линии 116, который может включать объемные доли испарившейся воды, CO_2 , азота, оксидов азота (NO_x), и оксидов серы (SO_x). В некоторых вариантах осуществления небольшая часть несгоревшего топлива в линии 112 или другие соединения могут также присутствовать в отработавшем газе в линии 116 вследствие ограничений равновесия сгорания. Когда отработавший газ в линии 116 расширяется посредством расширителя 106, он образует механическую энергию, которая приводит в действие главный компрессор 104, электрический генератор или другие устройства, а также производит поток отработавших газов 122, имеющий повышенное содержание CO_2 в результате поступления сжатого рециркулирующего отработавшего газа в линии 144. Расширитель 106 может производить энергию для использования в качестве дополнения или альтернативы к главному компрессору 104. Например, расширитель 106 может производить электроэнергию.

Производящая энергию система 100 может также включать систему 124 рециркуляции отработавшего газа (EGR). В одном или нескольких вариантах осуществления система EGR 124 может включать утилизационный парогенератор (HRSG) 126 или аналогичное устройство, находящееся в гидравлическом соединении с парогазовой турбиной 128. По меньшей мере в одном варианте осуществления сочетание HRSG 126 и парогазовой турбины 128 можно охарактеризовать как производящий энергию замкнутый цикл Ренкина. В сочетании с газотурбинной системой 102 HRSG 126 и парогазовая турбина 128 могут составлять часть электростанции комбинированного цикла, такой как электростанция комбинированного цикла на природном газе (NGCC). Поток отработавших газов 122 можно вводить в HRSG 126, чтобы производить пар посредством линии 130 и охлажденный отработавший газ в линии 132. В одном варианте осуществления пар в линии 130 можно направлять в парогазовую турбину 128, чтобы производить дополнительную электроэнергию.

Охлажденный отработавший газ в линии 132 можно направлять в любое из разнообразных устройств и/или устройство в рециркуляционном контуре обратно в главный компрессор 104. В некоторых вариантах осуществления и как представлено на фиг. 1, рециркуляционный контур может включать первый охлаждающий блок 134 предназначенный, чтобы охлаждать охлажденный отработавший газ в линии 132 и производить охлажденный рециркулирующий газовый поток 140. Первый охлаждающий блок 134 может включать, например, один или более контактных охладителей, корректирующих охладителей, испарительный охлаждающий блок или любое их сочетание. Первый охлаждающий блок 134 может также предназначаться для удаления части любой конденсационной воды из охлажденного отработавшего газа в линии 132 посредством водоотводного потока 138. По меньшей мере в одном варианте осуществления водоотводный поток 138 можно направлять в HRSG 126 посредством линии 141, чтобы обеспечивать в нем источник воды для производства дополнительного пара в линии 130. В других вариантах осуществления, воду, полученную посредством водоотводного потока 138, можно использовать для других находящихся ниже по потоку применений, таких как вспомогательные теплообменные процессы.

В одном или нескольких вариантах осуществления охлажденный рециркулирующий газовый поток 140 можно направлять во вспомогательный компрессор 142. Охлаждение охлажденного отработавшего газа в линии 132 в первом охлаждающем блоке 134 может уменьшать энергию, требуемую для сжатия охлажденного рециркулирующего газового потока 140 во вспомогательном компрессоре 142. В отличие от традиционной вентиляторной или воздуходувной системы, вспомогательный компрессор 142 может быть предназначен для сжатия и увеличения суммарной плотности охлажденного рециркулирующего газового потока 140, в результате чего сжатый рециркулирующий газ направляется в линию 145 вниз по потоку, где сжатый рециркулирующий газ в линии 145 имеет увеличенную массовую скорость потока при таком же объемном потоке. Это может иметь преимущество, поскольку главный компрессор 104 может быть ограничен по объемному потоку, и направление потока большей массы через главный компрессор 104 может приводить к повышению выпускного давления, в результате чего происходит увеличение соотношения давлений на расширителе 106. Повышенное соотношение давлений, созданное на расширителе 106, можно обеспечивать повышение температуры впуска и, таким образом, увеличивать мощность и эффективность расширителя 106. Как можно предполагать, это может иметь преимущество, поскольку обогащенный CO_2 отработавший газ в линии 116, как правило, сохраняет повышенную удельную теплоемкость.

Поскольку давление всасывания главного компрессора 104 является функцией его температуры всасывания, температура всасывания охладителя потребует меньше энергии, чтобы эксплуатировать главный компрессор 104 для такого же массового потока. Соответственно, сжатый рециркулирующий газ в линии 145 можно необязательно направлять во второй охлаждающий блок 136. Второй охлаждающий блок 136 может включать, например, один или более охладителей непосредственного контакта, корректирующих охладителей, испарительных охлаждающих блоков или любое их сочетание. По меньшей мере в одном варианте осуществления второй охлаждающий блок 136 может служить в качестве последующего охладителя, предназначенного для отвода по меньшей мере части теплоты сжатия, производимого вспомогательным компрессором 142 на сжатый рециркулирующий газ в линии 145. Второй охлаждающий блок 136 может также удалять дополнительную конденсационную воду посредством водоотводного потока 143. В одном или нескольких вариантах осуществления водоотводные потоки 138, 143 можно объединять в поток 141, который можно направлять или не направлять в HRSG 126, чтобы

но объединять в поток 141, который можно направлять или не направлять в HRSG 126, чтобы производить в нем дополнительный пар посредством линии 130. После осуществления охлаждения во втором охлаждающем блоке 136 сжатый рециркулирующий газ в линии 145 можно направлять в третий охлаждающий блок 200. Хотя в настоящем документе представлены только первый, второй и третий охлаждающие блоки 134, 136, 200, можно предполагать, что можно использовать любое число охлаждающих блоков, чтобы соответствовать разнообразным применениям, без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Например, в некоторых вариантах осуществления можно устанавливать единственный охлаждающий блок.

Как будет описано ниже более подробно, третий охлаждающий блок 200, аналогично первому и второму охлаждающим блокам, может представлять собой испарительный охлаждающий блок, предназначенный для дополнительного уменьшения температуры сжатого рециркулирующего газа в линии 145 перед введением в главный компрессор 104 посредством потока 214. В других вариантах осуществления, однако, один или более охлаждающих блоков 134, 236, 200 могут представлять собой механическую систему охлаждения без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Главный компрессор 104 может быть предназначен, чтобы сжимать сжатый рециркулирующий газ в линии 214, поступающий из третьего охлаждающего блока 200, до давления, номинально равного или превышающего давление в камере сгорания, в результате чего образуется сжатый рециркулирующий газ в линии 144. Как можно предполагать, охлаждение сжатого рециркулирующего газа в линии 145 во втором и третьем охлаждающих блоках 136, 200 после сжатия во вспомогательном компрессоре 142 может обеспечивать увеличенный объемный массовый поток отработавшего газа в главный компрессор 104. Соответственно, это может уменьшать количество энергии, требуемой для сжатия сжатого рециркулирующего газа в линии 145 до заданного давления.

Хотя фиг. 1 иллюстрирует три охлаждающих блока и вспомогательный компрессор в контуре рециркуляции отработавшего газа, необходимо понимать, что каждый из этих блоков предназначен для уменьшения массовой скорости потока охлажденного отработавшего газа в линии 132, как описано выше, имеет преимущество уменьшения массовой скорости потока, например, вспомогательным компрессором, наряду с уменьшением температуры. Настоящее изобретение относится к интеграции в пределах производящей энергию системы 100 для увеличения охлаждения отработавшего газа в контуре рециркуляции отработавшего газа, что в некоторых вариантах осуществления можно упрощать контур рециркуляции отработавшего газа до единственного охлаждающего блока между системой HRSG 126 и главным компрессором 104, как будет описано далее в настоящем документе.

По меньшей мере в одном варианте осуществления продувочный поток 146 можно получать из сжатого рециркулирующего газа в линии 144 и после этого обрабатывать в сепараторе CO_2 148 для улавливания CO_2 при повышенном давлении посредством линии 150. Отделенный CO_2 в линии 150 можно использовать для продажи, использовать в других процессах, для которых требуется CO_2 , и/или дополнительно сжимать и вводить в подземный пласт для усовершенствованной добычи нефти (EOR), сокращения выбросов или другой цели. Вследствие стехиометрического или практически стехиометрического сгорания топлива в линии 112 в сочетании с устройствами в системе рециркуляции отработавшего газа 124 парциальное давление CO_2 в продувочном потоке 146 может быть значительно выше, чем в отработавших газах традиционной газовой турбины. В результате улавливание диоксида углерода в сепараторе CO_2 148 можно осуществлять с использованием потребляющих меньше энергии процессов разделения, например, используя менее энергоемкие растворители. По меньшей мере один подходящий растворитель представляет собой карбонат калия (K_2CO_3), который поглощает SO_x и/или NO_x и превращает их в полезные соединения, такие как сульфит калия (K_2SO_3), нитрат калия (KNO_3) и другие простые удобрения. Примерные системы и способы с использованием карбоната калия для улавливания CO_2 можно найти в одновременно поданной патентной заявке США, озаглавленной "Системы и способы производства энергии с тройным циклом и низким выходом загрязняющих веществ", содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки в такой степени, в которой оно не противоречит настоящему изобретению.

Остаточный поток 151, в существенной степени обедненный CO_2 и состоящий, главным образом, из азота, можно также получать из сепаратора CO_2 148. В одном или нескольких вариантах осуществления остаточный поток 151 можно вводить в газовый расширитель 152, чтобы производить энергию и расширенный имеющий пониженное давление газ посредством линии 156. Расширитель 152 может представлять собой, например, производящий энергию азотный расширитель. Как представлено на чертеже, газовый расширитель 152 может быть необязательно присоединен к впускному компрессору 118 через общий вал 154 или иное механическое, электрическое или другое устройство для передачи мощности, в результате чего часть энергии, производимой газовым расширителем 152, может приводить в действие впускной компрессор 118. В других вариантах осуществления, однако, газовый расширитель 152 можно использовать, чтобы производить энергию для других применений, и он не является непосредственно присоединенным к впускному компрессору 118. Например, может существовать существенное расхождение между энергией, производимой расширителем 152 и требуемой для компрессора 118. В таких случаях расширитель 152 может быть предназначен для приведения в действие меньшего компрессора (не

показан на чертеже), который потребляет меньше энергии. В качестве альтернативы, расширитель может быть предназначен для приведения в действие большего компрессора, который потребляет больше энергии.

Расширенный имеющий пониженное давление газ в линии 156, состоящий, главным образом, из сухого газообразного азота, можно выпускать из газового расширителя 152. Как будет описано ниже более подробно, полученный в результате сухой азот может способствовать упрощению испарения и охлаждения потока воды в третьем охлаждающем блоке 200, чтобы при этом охлаждать сжатый рециркулирующий газ в линии 145. По меньшей мере в одном варианте осуществления сочетание газового расширителя 152, впускного компрессора 118 и сепаратора CO_2 можно охарактеризовать как разомкнутый цикл Брайтона или третий производящий энергию компонент системы 100.

Производящую энергию систему 100, которая описана в настоящем документе, в частности, с дополнительным повышением давления отработавшего газа от вспомогательного компрессора 142 можно устанавливать для достижения более высокой концентрации CO_2 в отработавшем газе, в результате чего обеспечивается более эффективное отделение и улавливание CO_2 . Например, согласно вариантам осуществления, описанным в настоящем документе, можно эффективно увеличивать концентрацию CO_2 в потоке отработавших газов приблизительно до 10 об.%, используя чистое метановое топливо, или еще выше, используя более богатый топливом газ. Чтобы осуществить это, камера сгорания 110 может быть предназначена для стехиометрического сжигания поступающей смеси топлива в линии 112 и сжатого окислителя в линии 114. Для получения умеренной температуры стехиометрического сгорания, чтобы выполнить требования расширителя 106 в отношении температуры впуска и охлаждения компонентов, часть отработавшего газа, полученного из сжатого рециркулирующего газа в линии 144, можно вводить в камеру сгорания 110 в качестве разбавителя. По сравнению с традиционной практикой введения избытка воздуха или окислителя в камеру сгорания для образования умеренной температуры, использование рециркулирующего отработавшего газа значительно уменьшает количество кислорода, выходящего из камеры сгорания 110. Таким образом, варианты осуществления настоящего изобретения могут в существенной степени удалять любой избыточный кислород из отработавшего газа, при этом одновременно увеличивая его содержание CO_2 . По существу, поток отработавших газов 122 может содержать менее чем приблизительно 3,0 об.% кислорода, или менее чем приблизительно 1,0 об.% кислорода, или менее чем приблизительно 0,1 об.% кислорода, или даже менее чем приблизительно 0,001 об.% кислорода.

Далее будут обсуждаться специфические элементы примерной работы системы 100. Как можно предполагать, конкретные величины температуры и давления, достигаемые или испытываемые в разнородных компонентах любого из вариантов осуществления, которые описаны в настоящем документе, могут изменяться, помимо других факторов, в зависимости от чистоты используемого окислителя и/или конкретных конструкций и/или моделей расширителей, компрессоров, охладителей и т.д. Соответственно, можно предполагать, что конкретные данные, описанные в настоящем документе, представлены исключительно для иллюстративных целей, и их не следует истолковывать в качестве единственной интерпретации. Например, в одном варианте осуществления, описанном в настоящем документе, впускной компрессор 118 может быть предназначен для подачи сжатого окислителя в линии 114 при абсолютном давлении, составляющем от приблизительно 280 фунтов/кв.дюйм (1929 кПа) до приблизительно 300 фунтов/кв.дюйм (2067 кПа). Однако в настоящем документе также предусмотрена технология на основе авиационной газовой турбины, которая можно производить и использовать абсолютное давление, составляющее приблизительно 750 фунтов/кв.дюйм (5168 кПа) и более.

Главный компрессор 104 может быть предназначен для рециркуляции и сжатия рециркулирующего отработавшего газа в сжатый рециркулирующий газ в линии 144 при давлении, номинально равном или превышающем давление камеры сгорания 110, и использования части этого рециркулирующего отработавшего газа в качестве разбавителя в камере сгорания 110. Поскольку количество разбавителя, которое требуется в камере сгорания 110, может зависеть от чистоты используемого окислителя для стехиометрического сгорания или конкретной модели или конструкции расширителя 106, можно устанавливать кольцо термопар и/или кислородные датчики (не показаны на чертеже) в связи с камерой сгорания и/или расширителем. Например, термопары и/или кислородные датчики можно устанавливать на выпуске камеры сгорания 110, на впуске расширителя 106 и/или на выпуске расширителя 106. В процессе работы термопары и датчики могут предназначаться для определения составов и/или температур одного или более потоков для использования в определении объема отработавшего газа, требуемого в качестве разбавителя, чтобы охлаждать продукты сгорания до требуемой температуры впуска расширителя. В качестве дополнения или альтернативы, термопары и датчики могут предназначаться для определения количества окислителя, вводимого в камеру сгорания 110. Таким образом, в ответ на потребление тепла, определяемое термопарами, и содержание кислорода, определяемое кислородными датчиками, объемный массовый поток сжатого рециркулирующего газа в линии 144 и/или сжатого окислителя в линии 114 можно регулировать или контролировать для выполнения требований. Объемные массовые скорости потоков можно регулировать, используя любые подходящие регулирующие потоки системы, которые могут находиться в электрическом соединении с термопарами и/или кислородными датчиками.

По меньшей мере в одном варианте осуществления, перепад абсолютного давления, составляющий

приблизительно 12-13 фунтов/кв.дюйм (83-90 кПа) может возникать на камере сгорания 110 во время стехиометрического или практически стехиометрического сгорания. Сгорание топлива в линии 112 и сжатого окислителя в линии 114 может создавать температуры, составляющие от приблизительно 2000°F (1093,33°C) до приблизительно 3000°F (1648,89°C), и абсолютные давления, составляющие от 250 фунтов/кв.дюйм (1723 кПа) до приблизительно 300 фунтов/кв.дюйм (2067 кПа). Вследствие увеличения массового потока и более высокой удельной теплоемкости обогащенного CO₂ отработавшего газа, полученного из сжатого рециркулирующего газа в линии 144, более высокое соотношение давлений можно получить на расширителе 106, в результате чего допускается более высокая температура впуска и увеличенная мощность расширителя 106.

Поток отработавших газов 122, выходящий из расширителя 106, может иметь давление на уровне или около давления окружающей среды. По меньшей мере в одном варианте осуществления поток отработавших газов 122 может иметь абсолютное давление, составляющее приблизительно 13-17 фунтов/кв.дюйм (90-117 кПа). Температура потока отработавших газов 122 может составлять от приблизительно 1225°F (662,78°C) до приблизительно 1275°F (690,56°C) перед прохождением через HRSG 126, чтобы производить пар в линии 130 и охлажденный отработавший газ в линии 132.

Следующие несколько параграфов описывают примерный вариант осуществления, представленный на фиг. 1. Как описано выше, фиг. 1 иллюстрирует множество устройств в соединении с рассматриваемым контуром рециркуляции отработавшего газа, представляя разнообразные возможные сочетания. Однако необходимо понимать, что для изобретения, описанного в настоящем документе, не требуется сочетание всех данных элементов, и его определяет следующая формула изобретения и/или формула изобретения любой последующей заявки, испрашивающей приоритет настоящей заявки. Например, хотя на фиг. 1 проиллюстрировано множество охлаждающих блоков, необходимо понимать, что охлаждающий блок с непосредственным контактом, использующий хладагент и связанный с выходящим потоком азота (описанный ниже как охлаждающий блок 200) может обеспечивать достаточное охлаждение за счет единственного охлаждающего блока. В некоторых вариантах осуществления охлаждающий блок 200 может также создавать достаточное охлаждение, обеспечивая преимущества вспомогательного компрессора.

Продолжая обсуждение примерного варианта осуществления, представленного на фиг. 1, в одном или нескольких вариантах осуществления охлаждающий блок 134 может уменьшать температуру охлажденного отработавшего газа в линии 132, в результате чего образуется охлажденный рециркулирующий газовый поток 140, у которого температура составляет от приблизительно 32°F (0°C) до приблизительно 56°F (48,89°C). Как можно предполагать, такие температуры могут изменяться, главным образом, в зависимости от температуры влажного термометра в определенное время года в определенном месте на земном шаре.

Согласно одному или нескольким вариантам осуществления вспомогательный компрессор 142 может быть предназначен для повышения давления охлажденного рециркулирующего газового потока 140 до абсолютного давления, составляющего от приблизительно 17 фунтов/кв.дюйм (117 кПа) до приблизительно 21 фунтов/кв.дюйм (145 кПа). Дополнительное сжатие вспомогательного компрессора представляет собой дополнительный способ, который, помимо использования охлаждающих блоков, направляет в главный компрессор 104 рециркулирующий отработавший газ, имеющий более высокую плотность и увеличенный массовый поток, в результате чего обеспечивается существенно более высокое давление выпуска, и в то же время сохраняется такое же или аналогичное соотношение давлений. Чтобы дополнительно увеличивать плотность и массовый поток отработавшего газа, сжатый рециркулирующий газ в линии 145, выпускаемый из вспомогательного компрессора 142, можно затем дополнительно охлаждать во втором и третьем охлаждающих блоках 136, 200. В одном или нескольких вариантах осуществления второй охлаждающий блок 136 может быть предназначен для уменьшения температуры сжатого рециркулирующего газа в линии 145 до приблизительно 105°F (40,56°C) перед направлением в третий охлаждающий блок 200. Как будет обсуждаться ниже более подробно, третий охлаждающий блок 200 может быть предназначен для уменьшения температуры сжатого рециркулирующего газа в линии 145 до температуры, составляющей менее чем приблизительно 100°F (37,78°C).

По меньшей мере в одном варианте осуществления температура сжатого рециркулирующего газа в линии 144, выпускаемого из главного компрессора 104, и продувочного потока 146 может составлять приблизительно 800°F (426,67°C) при абсолютном давлении, составляющим приблизительно 280 фунтов/кв.дюйм (1929 кПа). Как можно предполагать, введение вспомогательного компрессора 142 и/или одного или более охлаждающих блоков можно увеличивать давление продувочного CO₂ в линии 146 продувочного потока, что может приводить к улучшению эффективности обработки растворителем в сепараторе CO₂ 148 вследствие более высокого парциального давления CO₂. В одном варианте осуществления для процессов обработки газов в сепараторе CO₂ 148 может потребоваться снижение температуры продувочного потока 146 до уровня, составляющего приблизительно от 250°F (121,11°C) до 300°F (148,89°C). Для достижения этой цели продувочный поток 146 можно направлять через теплообменник 158, такой как теплообменник с перекрестным потоком. Удаление CO₂ из продувочного потока 146 в сепараторе CO₂ 148 может оставлять насыщенный обогащенный азотом остаточный поток 151 на уровне

или около повышенного давления продувочного потока 146 и при температуре, составляющей приблизительно 150°F (65,56°C). Теплообменник 158 можно соединять с остаточным потоком 151, как проиллюстрировано на чертеже, или с другими потоками или устройствами в интегрированной системе. При соединении с остаточным потоком 151 остаточный поток можно нагревать для увеличения мощности, получаемой из газового расширителя 152.

Как указано выше, азот в остаточном потоке 151, который впоследствии расширяется, образуя расширенный имеющий пониженное давление газ в линии 156, можно затем использовать для испарения и охлаждения воды, предназначенной для охлаждения сжатого рециркулирующего газа в линии 145, поступающего в третий охлаждающий блок 200, который может представлять собой единственный охлаждающий блок в контуре рециркуляции отработавшего газа. В качестве катализатора испарительного охлаждения, азот должен быть максимально сухим, насколько это возможно. Соответственно, остаточный поток 151 можно направлять через четвертый охлаждающий блок 160 или конденсатор, предназначенный для охлаждения остаточного потока 151, в результате чего происходят конденсация и удаление дополнительной части воды посредством линии 162. В одном или нескольких вариантах осуществления четвертый охлаждающий блок 160 может представлять собой охладитель непосредственного контакта, охлаждаемый стандартной охлаждающей водой, чтобы уменьшить температуру остаточного потока 151 до приблизительно 105°F (40,56°C). В других вариантах осуществления четвертый охлаждающий блок 160 может представлять собой регулировочный охладитель или прямой теплообменник. Полученное в результате водосодержание остаточного потока 151 может составлять от приблизительно 0,1 до приблизительно 0,5 мас.%. В одном варианте осуществления воду, удаленную посредством потока 162, можно направлять в HRSG 126 для образования дополнительного пара. В других вариантах осуществления, воду в потоке 162 можно обрабатывать и использовать в качестве сельскохозяйственной воды или деминерализованной воды.

Сухой газообразный азот можно выпускать из четвертого охлаждающего блока 160 посредством потока 164. В одном варианте осуществления тепловую энергию, связанную с охлаждением продувочного потока 146, удаляют посредством теплообменника 158, который может находиться в гидравлическом соединении с потоком сухого газообразного азота 164 и предназначаться для подогрева газообразного азота перед расширением. Подогрев газообразного азота может создавать сухой нагретый азотный поток 166, у которого температура составляет от приблизительно 750°F (398,89°C) до приблизительно 790°F (421,11°C), и абсолютное давление составляет приблизительно 270-280 фунтов/кв.дюйм (1861-1929 кПа). В вариантах осуществления, где теплообменник 158 представляет собой газовый теплообменник, существует минимальный температурный перепад, создаваемый между продувочным потоком 146 и потоком сухого газообразного азота 164, где температура потока сухого газообразного азота 164 составляет, как правило, приблизительно на 25°F (14°C) меньше, чем температура продувочного потока 146.

В одном или нескольких вариантах осуществления сухой нагретый азотный поток 166 можно затем расширять через газовый расширитель 152 и необязательно снабжать энергией впускной компрессор 118, как описано выше. Соответственно, перекрестный теплообмен в теплообменнике 158 может быть предназначен для улавливания существенного количества энергии сжатия, получаемой из главного компрессора 104, и ее использования для максимального увеличения энергии, получаемой из газового расширителя 152. По меньшей мере в одном варианте осуществления газовый расширитель 152 выпускает расширенный имеющий пониженное давление газообразный азот в линии 156, имеющий давление на уровне или около атмосферного давления и температуру, составляющую от приблизительно 100°F (37,78°C) до приблизительно 105°F (40,56°C). Как можно предполагать, полученная в результате температура расширенного имеющего пониженное давление газообразного азота в линии 156 может, как правило, представлять собой функцию состава отработавшего газа, температуры продувочного газа 146 и давления потока сухого газообразного азота 164 перед расширением в газовом расширителе 152.

Поскольку значительное количество воды можно удалять из остаточного потока 151 в четвертом охлаждающем блоке 160, уменьшенное количество массового потока после этого расширяется в газовом расширителе 152, в результате чего уменьшается производство энергии. Соответственно, во время пуска системы 100 и во время нормальной работы когда газовый расширитель 152 не может обеспечивать всю требуемую энергию для работы впускного компрессора 118, по меньшей мере один мотор 168, такой как электрический мотор, можно использовать синергически с газовым расширителем 152. Например, мотор 168 можно в существенной степени регулировать таким образом, что во время нормальной работы системы 400, мотор 168 может быть предназначен для компенсации недостатка энергии из газового расширителя 152. В качестве дополнения или альтернативы, мотор 168 может иметь конфигурацию мотора-генератора и возможность превращения в генератор, когда газовая турбина 152 производит больше энергии, чем требуется для впускного компрессора 118.

Иллюстративные системы и способы расширения газообразного азота в остаточном потоке 151, а также их варианты можно найти в одновременно поданной патентной заявке США, озаглавленной "Системы и способы производства энергии с тройным циклом и низким выходом загрязняющих веществ", содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки в такой степени, в которой оно не противоречит настоящему изобретению.

Рассмотрим теперь фиг. 2, представляющую схематическое изображение третьего охлаждающего блока 200, который проиллюстрирован на фиг. 1. Как обсуждается выше, проиллюстрированный третий охлаждающий блок 200 может представлять собой только блок, предусмотренный в контуре рециркуляции отработавшего газа. В качестве дополнения или альтернативы, третий охлаждающий блок 200 и другие детали оборудования, такие как один или более из деталей, которые проиллюстрированы на фиг. 1, могут быть предусмотрены в любой подходящей конфигурации таким образом, что третий охлаждающий блок 200 фактически представляет собой первый (или второй и т.д.) по порядку, а не третий. Соответственно, необходимо понимать, что первоначальное обозначение "третий" относится к конкретному варианту осуществления на фиг. 1, и не требуется, чтобы функции охлаждающего блока 200 на фиг. 2 осуществлял третий охлаждающий блок в системе, но его можно устанавливать в любое подходящее положение в контуре рециркуляции отработавшего газа.

В одном или нескольких вариантах осуществления охлаждающий блок 200 может включать первую колонну 202, находящуюся в гидравлическом соединении со второй колонной 204. В одном или нескольких вариантах осуществления первая колонна 202 может представлять собой испарительную охлаждающую башню, и вторая колонна 204 может представлять собой охлаждающую башню с непосредственным контактом. Первая колонна 202 может быть предназначена для получения расширенного имеющего пониженное давление газообразного азота в линии 156 из газового расширителя 152 (фиг. 1). В одном варианте осуществления расширенный имеющий пониженное давление газообразный азот в линии 156 поступает на уровне или около нижней части первой колонны 202 и поднимается через башню до тех пор, пока он не выходит на уровне или около верхней части посредством выходящего азотного потока 206. По меньшей мере в одном варианте осуществления содержимое выходящего азотного потока 206 можно выпускать в атмосферу или продавать в качестве инертного газа. В других вариантах осуществления азот в потоке 206 можно сжимать для регулирования давления или применения в EOR.

Поскольку расширенный имеющий пониженное давление газообразный азот в линии 156 может иметь давление на уровне или около атмосферного давления, первая колонна 202 может предназначаться для работы на уровне или около атмосферного давления. Когда азот поднимается по первой колонне 202, поток воды или исходную охлаждающую воду в линии 208 можно вводить на уровне или около верхней части первой колонны 202. В одном или нескольких вариантах осуществления исходную охлаждающую воду в линии 208 можно получать из местного водоема, такого как озеро, река или океан. Соответственно, в зависимости от времени года и температура окружающей среды конкретного географического места, в котором расположена система 100, исходную охлаждающую воду в линии 208 можно вводить при различных температурах, но наиболее вероятно при температурах, составляющих от приблизительно 50°F (10°C) до приблизительно 100°F (37,78°C). Когда вода опускается по первой колонне 202, часть ее испаряется при поглощении тепловой энергии от сухого азота, в результате чего вода охлаждается, и выпуск охлажденной воды осуществляется посредством потока 210. Испарившуюся воду можно собирать с газообразным азотом, в результате чего получается насыщенный азот, который выпускают посредством линии 206. В зависимости от предусмотренного использования азотного потока в линии 206, содержащийся в нем водяной пар можно удалять, используя любые подходящие способы.

Вторая колонна 204 может быть предназначена для получения охлажденного водного потока 210 на уровне или около ее верхней части. Как представлено на чертеже, вторая колонна 204 может также получать сжатый рециркулирующий газ в линии 145, выпускаемый из второго охлаждающего блока 136 (фиг. 1) на уровне или около ее нижней части. Иллюстрация сжатого рециркулирующего газа в линии 145 является представительным примером любого отработавшего газового потока в контуре рециркуляции отработавшего газа. Поскольку сжатый рециркулирующий поток 145 можно вводить при абсолютном давлении, составляющем от приблизительно 17 фунтов/кв.дюйм (117 кПа) до приблизительно 21 фунтов/кв.дюйм (145 кПа), как обсуждается выше, охлажденный водный поток 210 можно соответствующим образом сжимать с использованием по меньшей мере одного насоса 212 или аналогичного механизма, насколько это целесообразно. Когда охлажденный водный поток 210 и сжатый рециркулирующий газ в линии 145 проходят через вторую колонну 204, сжатый рециркулирующий газ в линии 145 охлаждается и, в конечном счете, выходит посредством потока 214, который после этого поступает на всасывание главного компрессора 104 (фиг. 1). В некоторых вариантах осуществления колонна 204 может включать множество ступеней или контактных поверхностей для усиления взаимодействия между рециркулирующим потоком 145 и охлажденным водным потоком 210. В качестве дополнения или альтернативы, множество башен можно использовать последовательно или параллельно, вместо первой колонны 202 и/или второй колонны 204, как может оказаться желательным.

Возвращаемая охлаждающая вода при температуре, которая, как правило, превышает температуру воды в линии 210, выходит из второй колонны 204 посредством линии 216. Как можно предполагать, охлаждение сжатого рециркулирующего газа в линии 145 может приводить к конденсации большего количества воды, получаемой из сжатого рециркулирующего газа в линии 145. Эту конденсационную воду можно собирать и выводить с возвращаемой охлаждающей водой в линии 216, в результате чего образуется еще более сухой сжатый рециркулирующий газ в линии 145, выходящий посредством потока 214. По меньшей мере в одном варианте осуществления возвращаемую охлаждающую воду можно перена-

правлять и повторно вводить в первую колонну посредством линии 208. В других вариантах осуществления, однако, возвращаемую охлаждающую воду можно безвредно выпускать в местный водоем или использовать в качестве оросительной воды.

Как обсуждается выше в связи с фиг. 1, перед введением в третий охлаждающий блок 200 сжатый рециркулирующий газ в линии 145 можно предварительно охлаждать во втором охлаждающем блоке 136 (фиг. 1) до температуры, составляющей приблизительно 105°F (40,56°C). Величина суммарного охлаждения, испытываемого сжатым рециркулирующим газом в линии 145 в третьем охлаждающем блоке 200 можно зависеть от скорости потока охлажденной воды из потока 210, проходящего через вторую колонну 204.

Варианты осуществления настоящего изобретения можно дополнительно описать, используя следующие модельные примеры. Хотя данные модельные примеры относятся к конкретным вариантам осуществления, их не следует рассматривать в качестве ограничивающих настоящее изобретение в каком-либо конкретном отношении. Табл. 1 представляет иллюстративные скорости потока воды в потоке 210 и его влияние на процесс охлаждения в третьем охлаждающем блоке 200.

Таблица 1

Влияние азотного испарительного охлаждения на рециркуляцию отработавшего газа			
Скорость потока воды (галлон/мин или 226,8 мл/с)	Температура выходящего азота (°F)	Температура выходящей воды (°F)	Температура сжатого рециркулирующего газа (°F)
100	62,1	61,4	97,7
250	63,2	64,1	97,5
500	64,9	61,4	97,2
1000	68,1	61,6	96,6
2500	76,0	63,1	94,8
5000	84,5	67,7	92,2
7500	89,5	72,1	90,4
10000	92,5	75,9	89,3
11000	93,4	77,2	89,0
12500	96,0	77,6	88,7
15000	95,9	81,4	88,5
20000	98,6	84,4	88,8

Из табл. 1 должно быть очевидным, что при увеличении скорости потока воды в линии 210 температура азотного потока, выходящего посредством линии 206, также увеличивается как непосредственный результат теплопередачи от увеличенного количества воды. Аналогичным образом, увеличение скорости потока воды в линии 210 приводит к увеличению температуры воды, выпускаемой в линии 210. В результате уменьшается температура сжатого рециркулирующего газа, выходящего посредством линии 214, в ответ на увеличение скорости потока воды в линии 210. Как можно предполагать, на температуру сжатого рециркулирующего газа, выходящего посредством линии 214 могут влиять несколько параметров, в том числе, но не ограничиваясь этим, температура входящего отработавшего газообразного азота в линии 156, температура исходной охлаждающей воды в линии 208, конфигурация и число ступеней в башнях и т.д. По меньшей мере в одном варианте осуществления исходная охлаждающая вода в линии 208 можно вводить в первую колонну 202 при температуре приблизительно 80°F (26,67°C) до приблизительно 85°F (29,94°C).

Табл. 2 представляет сравнение эффективности между системой, в которой используется охлаждающий блок 200, такой как испарительный охлаждающий блок, описанный в настоящем документе, и системой без такого охлаждающего блока 200.

Таблица 2

Сравнение эффективности тройного цикла		
Мощность (МВт)	Цикл без охлаждения впуска	Цикл с охлаждением впуска
Мощность расширителя газовой турбины	1150	1155
Главный компрессор	542	519
Нагнетатель или вспомогательный компрессор	27	19
Впускной компрессор	315	318
Суммарная мощность сжатия	883	856
Чистая мощность газовой турбины	258	291
Чистая мощность паровой турбины	339	339
Чистая мощность стандартного оборудования	597	629
Дополнительные потери	13	14
Мощность азотного расширителя	203	191
Мощность комбинированного цикла	787	807
Эффективность		
Скорость подачи топлива (млн. британских тепловых единиц в час или 293 кВт)	6322	6390
Скорость нагрева (британских тепловых единиц на кВт·ч или 0,293 ч ⁻¹)	9727	7921
Эффективность комбинированного цикла (% НТС, низшая теплотворная способность)	42,5	43,1
Абсолютное давление продувочного CO ₂ (фунтов на кв. дюйм или 6895 Па)	308	308

Как должно быть очевидным из табл. 2, варианты осуществления, включающие цикл с охлаждением впуска, такие как использующие третий охлаждающий блок 200, могут увеличивать выходную мощность комбинированного цикла. Хотя может происходить уменьшение выходной мощности от азотного расширителя, это уменьшение с избытком компенсируется увеличением чистой мощности газовой турбины (т.е. расширителя 106), что, в свою очередь, увеличивает давление продувочного CO₂ (т.е. давление выпуска главного компрессора 104). Кроме того, суммарную мощность комбинированного цикла можно увеличивать приблизительно на 0,6% НТС (низшая теплотворная способность) путем осуществления охлаждения впуска, как описано в настоящем документе.

Настоящее изобретение также предусматривает использование механической системы охлаждения (не показана на чертеже) в виде третьего охлаждающего блока 200, вместо испарительного охлаждающего блока, описанного в настоящем документе. Хотя суммарную требуемую мощность сжатия главного компрессора 104 можно соответствующим образом уменьшать с использованием механической системы охлаждения, может происходить соответствующее уменьшение массового потока через главный компрессор 104, что неблагоприятно влияет на производимую мощность. Для оптимальной эффективности технологического цикла необходимо искать компромисс между уменьшением мощности главного компрессора 104 и производимой мощностью расширителя 106. Кроме того, следует учитывать стоимость дополнительного охлаждающего оборудования для экономически эффективного решения.

Хотя настоящее изобретение можно осуществлять в разнообразных модификациях и альтернативных формах, обсуждаемые выше примерные варианты осуществления представлены исключительно в качестве примера. Однако и здесь следует понимать, что настоящее изобретение не предназначено для ограничения конкретными вариантами его осуществления, которые описаны в настоящем документе. По существу, настоящее изобретение включает все альтернативы, модификации и эквиваленты, которые находятся в пределах действительной идеи и объема прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Интегрированная система производства энергии, включающая газотурбинную систему, имеющую камеру сгорания, которая предназначена для стехиометрического сжигания сжатого окислителя и топлива в присутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа, в которой сжатый рециркулирующий отработавший газ служит для образования умеренной температуры сгорания в камере сгорания, и камера сгорания направляет выходящий поток в расширитель, предназначенный для образования потока отработавших газов и, по меньшей мере, частичного приведения в действие главного компрессора;

систему рециркуляции отработавшего газа, имеющую по меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок, в которой по меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок охлаждает отработавшие газы перед введением в главный компрессор для образования сжатого рециркулирующего отработавшего газа; и

сепаратор CO_2 , находящийся в гидравлическом соединении со сжатым рециркулирующим отработавшим газом посредством продувочного потока и предназначенный для выпуска остаточного потока, состоящего, главным образом, из обогащенного азотом газа, подлежащего расширению в газовом расширителе, и образования отработавшего газообразного азота, где отработавший газообразный азот поступает по меньшей мере в один интегрированный охлаждающий блок для охлаждения отработавших газов.

2. Система по п.1, дополнительно включающая по меньшей мере один дополнительный охлаждающий блок, в которой дополнительный охлаждающий блок находится в гидравлическом соединении по меньшей мере с одним интегрированным охлаждающим блоком и в которой дополнительный охлаждающий блок охлаждает отработавшие газы до температуры, составляющей приблизительно 105°F ($40,56^\circ\text{C}$).

3. Система по п.1, дополнительно включающая блок охлаждения остаточного потока, находящийся в гидравлическом соединении с остаточным потоком и предназначенный для уменьшения температуры остаточного потока и удаления из него конденсационной воды.

4. Система по п.3, в которой по меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок представляет собой испарительный охлаждающий блок, включающий

первую колонну, предназначенную для получения отработавшего газообразного азота и исходной холодной воды, в которой отработавший газообразный азот испаряет часть исходной холодной воды для охлаждения исходной холодной воды и образования выходящей охлажденной воды; и

вторую колонну, предназначенную для получения выходящей охлажденной воды и отработавших газов, в которой взаимодействие между выходящей охлажденной водой и отработавшими газами охлаждает отработавшие газы.

5. Система по п.4, в которой по меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок уменьшает температуру сжатого рециркулирующего потока ниже приблизительно 100°F ($37,78^\circ\text{C}$).

6. Система по п.4, в которой охлажденную воду сжимают насосом перед введением во вторую колонну.

7. Система по п.4, в которой вторая колонна дополнительно предназначена для конденсации и удаления некоторого количества воды из сжатого рециркулирующего потока.

8. Система по п.1, дополнительно включающая теплообменник, находящийся в гидравлическом соединении с продувочным потоком и предназначенный для уменьшения температуры продувочного потока перед введением в сепаратор CO_2 .

9. Система по п.1, дополнительно включающая вспомогательный компрессор, предназначенный для увеличения абсолютного давления потока отработавших газов до давления, составляющего от приблизительно 17 фунтов/кв.дюйм (117 кПа) до приблизительно 21 фунтов/кв.дюйм (145 кПа), перед введением в главный компрессор.

10. Система по п.1, в которой газотурбинная система является компонентом системы производства энергии с комбинированным циклом.

11. Система по п.10, в которой по меньшей мере один интегрированный охлаждающий блок представляет собой испарительную охлаждающую башню.

12. Система по п.11, дополнительно включающая конденсатор, находящийся в гидравлическом соединении с остаточным потоком и предназначенный для уменьшения температуры остаточного потока и удаления из него конденсационной воды.

13. Система по п.12, в которой охлаждающий блок содержит первую колонну, представляющую собой испарительную охлаждающую башню, вторую колонну и насос, предназначенный для повышения давления охлажденной конденсационной воды и введения охлажденной конденсационной воды во вторую колонну для охлаждения сжатого рециркулирующего газа.

14. Система по п.13, в которой вторая колонна представляет собой охладитель непосредственного контакта.

15. Система по п.14, в которой вторая колонна представляет собой многоступенчатый охладитель непосредственного контакта.

16. Способ производства энергии, в котором

стехиометрически сжигают сжатый окислитель и топливо в камере сгорания и в присутствии сжатого рециркулирующего отработавшего газа, в результате чего образуется выходящий поток, в котором сжатый рециркулирующий отработавший газ выступает в качестве разбавителя, предназначенного для создания умеренной температуры выходящего потока;

расширяют выходящий поток в расширителе, по меньшей мере, для частичного приведения в действие главного компрессора и образования потока отработавших газов;

направляют поток отработавших газов по меньшей мере в один интегрированный охлаждающий блок;

охлаждают поток отработавших газов по меньшей мере в одном интегрированном охлаждающем блоке перед введением потока отработавших газов в главный компрессор для образования сжатого рециркулирующего отработавшего газа;

направляют часть сжатого рециркулирующего отработавшего газа в сепаратор CO₂ посредством продувочного потока, причем сепаратор CO₂ предназначен для выпуска остаточного потока, состоящего, главным образом, из обогащенного азотом газа, который расширяют в газовом расширителе и образуют отработавший газообразный азот; и

вводят отработавший газообразный азот по меньшей мере в один интегрированный охлаждающий блок для охлаждения потока отработавших газов.

17. Способ по п.16, в котором дополнительно охлаждают сжатый рециркулирующий газ по меньшей мере в одном блоке предварительного охлаждения, расположенном перед конечным интегрированным охлаждающим блоком, до температуры, составляющей приблизительно 105°F (40,56°C), в котором по меньшей мере один блок предварительного охлаждения находится в гидравлическом соединении с конечным интегрированным охлаждающим блоком.

18. Способ по п.16, в котором дополнительно

охлаждают остаточный поток в блоке охлаждения остаточного потока, находящемся в гидравлическом соединении с сепаратором CO₂; и

удаляют конденсационную воду из остаточного потока.

19. Способ по п.18, в котором дополнительно

получают отработавший газообразный азот и исходную холодную воду в первой колонне по меньшей мере одного интегрированного охлаждающего блока;

испаряют часть исходной холодной воды для охлаждения исходной холодной воды и образования выходящей охлажденной воды;

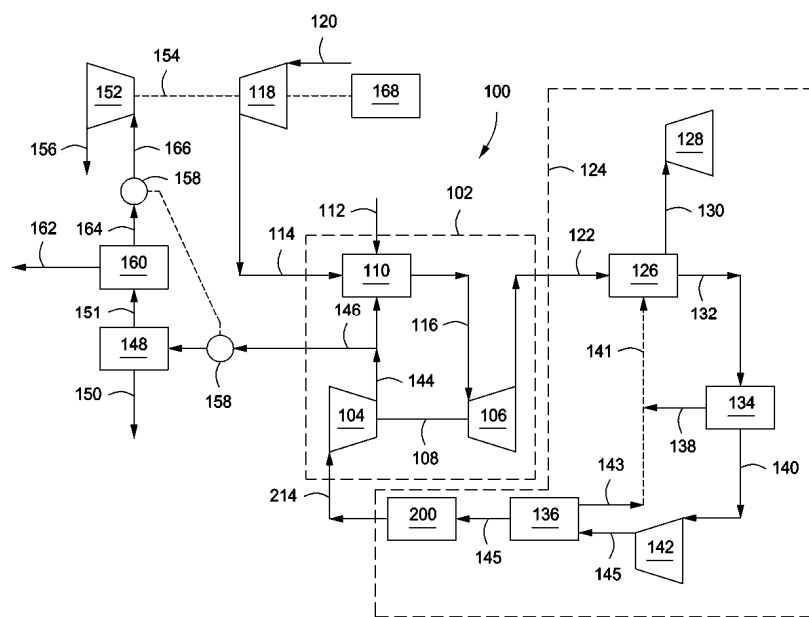
получают выходящую охлажденную воду и поток отработавших газов во второй колонне по меньшей мере одного интегрированного охлаждающего блока;

охлаждают поток отработавших газов до температуры ниже приблизительно 100°F (37,78°C) выходящей охлажденной водой.

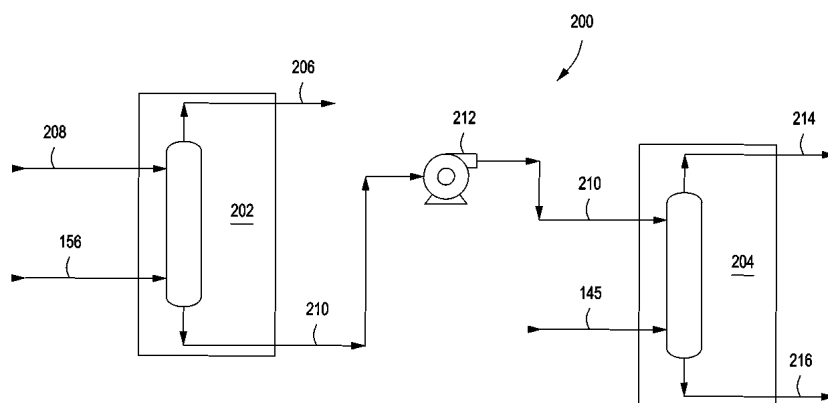
20. Способ по п.19, в котором дополнительно повышают давление выходящей охлажденной воды насосом перед введением во вторую колонну.

21. Способ по п.19, в котором дополнительно конденсируют и удаляют некоторое количество воды из сжатого рециркулирующего потока во второй колонне.

22. Способ по п.16, в котором дополнительно уменьшают температуру продувочного потока в теплообменнике, находящемся в гидравлическом соединении с продувочным потоком и предназначенном для уменьшения температуры продувочного потока перед введением в сепаратор CO₂.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

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