

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039670**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.02.24

(51) Int. Cl. **F22B 31/08** (2006.01)
F22B 37/02 (2006.01)

(21) Номер заявки
201792617

(22) Дата подачи заявки
2016.06.03

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ**

(31) **1509651.4**

(56) JP-A-2007205188
JP-A-2012163265
US-A-5293841
US-A-5713195
JP-A-2012132618

(32) **2015.06.03**

(33) **GB**

(43) **2018.05.31**

(86) **PCT/GB2016/051655**

(87) **WO 2016/193759 2016.12.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
КАСЛ ЮРОПИЭН ЛИМИТЕД (GB)

(72) Изобретатель:
Ковацевич Александар (RS)

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

(57) Система (200) выработки энергии включает в себя конденсационную паровую турбину (210) с подводом пара из котла (201), при этом воздух (202), подаваемый для процесса горения в котле, предварительно нагревается посредством теплонасосной системы (254), содержащей по меньшей мере один тепловой насос (258) по меньшей мере с одним компрессором, перед вводом в котел. Также описан способ выработки энергии, в котором используется система выработки энергии. Также описаны способ и устройство отбора тепла из газов из процесса горения.

B1

039670

039670
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к выполнению систем выработки энергии, в которых используется конденсационная паровая турбина с подводом пара из котла, в частности, к системам, в которых в качестве топлива или основного топлива для котла используется биомасса.

Предпосылки создания изобретения

Обычные энергетические установки с паровым циклом, в которых используются конденсационные паровые турбины, используют отбор пара от паровой турбины для нагрева питательной воды котла до температуры, подходящей для использования в котле.

В котлах, работающих на ископаемом топливе, подходящая температура имеет тенденцию быть сравнительно высокой для избежания конденсации кислоты на поверхностях на входе/выходе котла.

Топливо из биомассы имеет преимущество, заключающееся в том, что оно практически свободно от серы и других ацидилирующих веществ, и, таким образом, риск конденсации кислоты значительно уменьшается. Корпус котла находится под давлением, и температура пламени регулируется для предотвращения образования NO_x, которые могут создать риск конденсации кислоты. Следовательно, точка отклонения (температура конденсации) в системе остается равной сравнительно высокой температуре.

Современные котлы используют энергию от дымовых газов в наибольшей возможной степени. В ситуации, когда дымовой газ в достаточной степени свободен от ацидилирующих веществ, например, в случае систем сжигания биомассы, и при регулируемой температуре пламени система может даже обеспечить полную конденсацию дымового газа. Конденсация дымового газа обеспечивает возможность использования скрытого тепла топлива и позволяет получить термический КПД, превышающий 100%, при низкой теплотворной способности (LHV).

Тем не менее, несмотря на диапазон возможностей, имеющихся для получения энергии из энергетических установок с паровым циклом, сохраняется стремление обеспечить улучшения с точки зрения эффективности, гибкости, выбросов и масштабов применения.

Экологические соображения, в особенности связанные с выбросами диоксида углерода, также все в большей степени учитываются при проектировании энергетических установок.

Описание изобретения

Согласно настоящему изобретению предложена система выработки энергии, содержащая конденсационную паровую турбину с подводом пара из котла, при этом воздух, подаваемый для процесса горения в котле, предварительно нагревается посредством теплонасосной системы, содержащей, по меньшей мере, один тепловой насос, перед вводом в котел.

Предварительный нагрев подаваемого воздуха может быть выполнен посредством теплового насоса или тепловых насосов теплонасосной системы, отбирающей тепло из источника энергии, например, источника энергии низкого потенциала. Источником энергии низкого потенциала предпочтительно является система охлаждения, используемая для конденсации пара из конденсационной паровой турбины. В типовых системах с конденсационными паровыми турбинами данным источником тепла низкого потенциала, как правило, является система водяного охлаждения ("охлаждающая вода в паровом цикле"). Тепло, отбираемое из конденсируемого пара, обычно или теряется в охлаждающей установке, такой как градирня, или может быть использовано для локального нагрева (например, в системе централизованного теплоснабжения).

Любой другой источник энергии низкого потенциала (источник "отходящего тепла") может быть использован для подачи энергии низкого потенциала для повышения потенциала посредством теплонасосной системы. Более предпочтительно, если более одного источника энергии, как правило, источники энергии в системе выработки энергии используются для подачи энергии для повышения потенциала посредством теплонасосной системы. Например, энергия низкого потенциала может подаваться из процесса охлаждения и конденсации дымовых газов в системе выработки энергии, такого как дополнительно описанный в дальнейшем со ссылкой на конкретные варианты осуществления. Другие источники энергии, связанные с системой выработки энергии, могут включать одно или более из отходящего тепла от вращающегося оборудования (такого как генератор, снабжаемый энергией посредством паровой турбины, или генератор, снабжаемый энергией посредством двигателя или другого средства для запуска и/или увеличения мощности системы выработки энергии); отходящего тепла от трансформаторного оборудования (трансформатора или трансформаторов, подающих электроэнергию, вырабатываемую системой); тепла, отводимого при охлаждении самой паровой турбины (от системы смазки и т.д.), и тепла, отводимого при золоудалении.

Применение двух или более из данных источников энергии в качестве источника для теплонасосной системы повышает КПД.

Теплонасосная система может включать в себя устройство накопления энергии, такое как резервуар с водой, для накопления тепловой энергии. Это может повысить гибкость теплонасосной системы и, следовательно, системы выработки энергии в целом.

Другие источники тепла низкого потенциала могут быть использованы в качестве альтернативы или дополнения к теплу из системы охлаждения для конденсационной паровой турбины и другим опциям, описанным выше, которые получены из процессов в установках в системе выработки энергии. На-

пример, это энергия из гелиотермальных (например, от одной или более панелей солнечных батарей) или геотермальных источников или из систем охлаждения, используемых во внутризаводских процессах. Использование тепла из системы охлаждения, используемой для конденсации пара из конденсационной паровой турбины, предпочтительно повышает КПД парового цикла.

Предварительный нагрев воздуха, подаваемого в процесс горения в котле, обеспечивает ряд преимуществ. Котлы, как правило, выполнены с возможностью предварительного нагрева поступающего воздуха перед его вводом в процесс горения посредством теплообмена с дымовым газом в котле. Поскольку дымовой газ должен поддерживаться при достаточно высокой температуре для избежания проблем, например, связанных с коррозией, вызываемой конденсацией и кислотными газами, каждый котел спроектирован с возможностью адаптации к ожидаемым локальным условиям, связанным с температурой окружающего воздуха. Должна быть предусмотрена достаточная способность к нагреву воздуха даже при условиях пониженной температуры и поддержанию по-прежнему приемлемой температуры дымового газа для обеспечения возможности выпуска без возникновения затруднений.

Нагрев подаваемого воздуха до выбранной температуры или интервала температур с помощью средств, отличных от котла или дымового газа из котла, является предпочтительным, поскольку это обеспечивает возможность использования одинаковой конструкции котла для различных мест, имеющих разные климатические условия или высоту над уровнем моря.

Использование теплового насоса с регулируемым приводом (то есть теплового насоса с компрессором или компрессорами с регулируемым приводом) целесообразно при обеспечении возможности регулирования количества тепла, подводимого к воздуху, для обеспечения заданного ввода нагретого воздуха в котел независимо от климатических условий или других переменных.

В более общем случае используемая теплонасосная система, как правило, будет содержать множество тепловых насосов. Применение более одного теплового насоса является целесообразным. Тепловые насосы могут быть использованы параллельно и/или последовательно для обеспечения требуемого повышения качества тепла. Выход теплонасосной системы можно регулировать желательным образом посредством временного вывода одного или более насосов из эксплуатации или ввода одного или более насосов в эксплуатацию. Один или более насосов могут быть выведены из эксплуатации для ремонта или замены при отсутствии необходимости в останове теплонасосной системы. Каждый тепловой насос теплонасосной системы будет иметь один или более компрессоров. Для точного регулирования теплонасосной системы предпочтительно используется, по меньшей мере, один тепловой насос с регулируемым приводом. Более предпочтительно, если все используемые тепловые насосы имеют регулируемый привод (каждый имеет компрессор и/или компрессоры с регулируемым приводом). Количество и размер тепловых насосов зависят от требуемого режима, например, от размера котла или котлов системы выработки энергии. Котлы, как правило, имеют несколько элементов для ввода воздуха для содействия обеспечению процесса устойчивого и эффективного горения. Теплонасосная система предпочтительно включает в себя по меньшей мере один тепловой насос для каждого предназначенного для ввода воздуха элемента котла.

Рабочая среда для тепловых насосов, используемых в системе, может представлять собой охлаждающую среду нескольких видов, включая хладоновые текучие среды, органические текучие среды, аммиак и диоксид углерода. Для температурно-барических режимов, предусмотренных для систем выработки энергии по изобретению (как правило, с нагревом окружающего воздуха от 11°C до свыше 90°C), диоксид углерода является особенно целесообразным, поскольку он работает при более высоких рабочих давлениях и температурах, чем другие рабочие среды, обеспечивая эффективную передачу энергии. Поскольку тепловые насосы или теплонасосные системы, используемые в изобретении, могут работать при сравнительном коэффициенте производительности (COP), превышающем 3,6, когда имеется соответствующий перепад температур между входом и выходом, могут быть обеспечены высокие КПД по сравнению с другими технологиями утилизации энергии.

Нагрев подаваемого воздуха повышает температуру дымового газа, выходящего из котла. Регулирование температуры подаваемого воздуха приводит к температуре воздуха, которая является постоянной и не зависит от погодных условий и атмосферного давления. Это делает дымовой газ надежным источником энергии (тепла) высокого потенциала, которая может быть использована. Тепло от дымового газа предпочтительно используется для нагрева питательной воды котла (конденсата, возвращаемого из турбины, и, возможно, любой используемой подпиточной воды). Повышенная температура дымового газа может обеспечить возможность предварительного нагрева питательной воды котла от температуры, которая в противном случае была бы сравнительно низкой температурой воды, вводимой в котел, и доведения ее до температуры, требуемой/заданной для подачи в котел, без использования традиционного подхода, связанного с подводом дополнительной энергии пара, отбираемого из турбины, то есть пара, отводимого из турбины для нагрева питательной воды котла.

Это обеспечивает возможность создания конденсационной паровой турбины, которая не требует использования оборудования для отбора пара в системе. Это предпочтительно, поскольку конструкция турбины упрощается и обеспечивается возможность отбора большего количества энергии из заданного объема пара. Например, она не находится на увеличенной высоте для обеспечения возможности отбора

пара в направлении вниз. В остальном конденсационные паровые турбины систем, описанных в данном документе, могут быть традиционными. Как правило, в ступень высокого давления паровой турбины подводится пар высокого давления из котла. Используемый пар возвращается для повторного нагрева в котле и затем подается в ступени низкого давления турбины, как правило, в ступень "промежуточного давления" и затем в ступень "низкого давления". Пар, выходящий из ступеней турбины, затем конденсируется, и конденсат нагревается и подвергается повышению давления для повторного использования в котле для генерирования большего количества пара. В данной конструкции турбины больше полезной энергии отбирается из секции низкого давления, чем в обычной конструкции паровой турбины с отбором пара. Это предпочтительно, поскольку это обеспечивает возможность отбора энергии в таком виде, который соответствует профилю парообразования в котлах, предназначенных для низкокалорийного топлива, такого как биомасса. Данная конструкция также устраняет требование начинать процесс расширения пара в турбине при очень высоких давлениях и температуре пара. Это предпочтительно, поскольку это приводит к сравнительно более высокой эффективности парового цикла при умеренных параметрах пара и при отсутствии необходимости в специальных или высококалорийных конструкционных материалах.

Поскольку пар не отбирается из турбины, требуется меньше вводимого пара для обеспечения такой же выходной мощности, и, таким образом, котел может иметь сравнительно меньшие размеры и предусматривать использование меньшего количества материалов, чем при использовании обычной конструкции котла и турбины.

При использовании дымового газа для нагрева питательной воды котла конденсация воды, содержащейся в газе, энергоэффективна. Предпочтительно обеспечить полную или по существу полную конденсацию воды, содержащейся в газе. Это может быть обеспечено, например, посредством выполнения двухступенчатой установки, предпочтительно внешней по отношению к котлу, в виде отдельного блока, при этом конденсат, возвращаемый из турбины, сначала подвергается теплообмену в конденсаторной/скрубберной установке с конденсатором/скруббером для дымового газа и затем подвергается теплообмену с дымовым газом, выходящим из котла, в устройстве предварительного охлаждения для конденсатора/скруббера.

Конденсатор/скруббер обеспечивает конденсацию воды, имеющейся в дымовом газе, и может обеспечить удаление золы или других нежелательных загрязнителей из процесса горения. Таким образом, дымовой газ превращается в два потока, а именно поток газа и поток воды. Оба потока будут содержать некоторое количество тепла низкого потенциала, которое может быть, например, использовано для сушки или предварительного нагрева топлива, подаваемого для котла, особенно в том случае, если оно представляет собой топливо из биомассы, такое как древесная стружка. В более общем случае тепло низкого потенциала из системы охлаждения и конденсации дымового газа может быть использовано в качестве части теплонасосной системы в системе выработки энергии для любой задачи, такой как нагрев воздуха, подаваемого в котел, нагрев питательной воды или возможный подвод тепла для сушки биомассы.

Конструкции, описанные в данном документе, особенно подходят для котлов для сжигания биомассы, в частности, котлов с псевдоожиженным слоем, которые могут обеспечить сжигание биомассы, такой как (частично) высушенная древесная стружка, при отсутствии необходимости в специальных обработках, таких как измельчение, отличных от сушки до соответствующей степени.

Сжигание биомассы не вызывает образования значительных количеств кислотных газов, что имеет место в случае ископаемого топлива, и поэтому оборудование, такое как предпочтительные установки для предварительного охлаждения и конденсации/очистки, описанные в данном документе, необязательно должны быть спроектированы с возможностью "справляться" с такими коррозионно-активными материалами. Биомасса может использоваться в качестве единственного или основного топлива, например, котел может обеспечить сжигание биомассы, такой как древесина. Однако котел для биомассы также может обеспечить сжигание другого топлива вместе с биомассой (совместное сжигание в котле), например, угля, лигнита, твердых бытовых отходов (ТБО), топлива, полученного из отходов (RDF), других отходов и сельскохозяйственной биомассы/недревесной биомассы.

Если существует намерение совместно сжигать другое топливо вместе с древесной биомассой (такое как уголь, лигнит, топливо из сельскохозяйственных источников или отходов), это может быть осуществлено посредством изменения состава псевдоожиженного слоя котла до такой степени, чтобы он мог поглощать кислоту, содержащуюся в топливной смеси. В случае, когда можно ожидать каких-либо других дополнительных частиц в потоке дымового газа, соответствующий электрофильтр (ESP) может быть предусмотрен между элементом котла, предназначенным для выпуска дымового газа, и установкой для конденсации дымового газа.

Система выработки энергии пригодна для выработки электроэнергии, при этом конденсационная паровая турбина может быть соединена с электрогенератором обычным образом. В этом случае трансформаторная установка может быть использована для подачи энергии в сеть электроснабжения обычным образом. Дополнительное усовершенствование системы может состоять в использовании тепловой энергии, получаемой при охлаждении турбины и/или генератора и/или трансформатора, для предварительного нагрева конденсата (питательной воды) из конденсационной паровой турбины до того, как он будет нагрет посредством дымового газа. Этот дополнительный нагрев (утилизация энергии) может быть осу-

ществлен непосредственно (с помощью теплообменника) или посредством теплового насоса. Используемый (-е) тепловой (-ые) насос или насосы может/могут представлять собой автономный объект. Целесообразно, если тепловой насос или тепловые насосы являются частью теплонасосной системы, используемой для нагрева воздуха, подаваемого в котел.

Как правило, потенциал энергии (низкого потенциала), отбираемой из любой части системы выработки энергии, может быть повышен посредством тепловых насосов или теплонасосной системы, и энергия повышенного потенциала может быть использована для нагрева воздуха, подаваемого в котел, и/или использована для других задач, например, для (предварительного) нагрева конденсата (питательной воды) из конденсационной паровой турбины. Другие задачи могут включать сушку топлива и/или подачу тепла в районную теплоцентраль.

Таким образом, в теплонасосной системе также может использоваться тепло низкого потенциала из, по меньшей мере, одного из других мест, в которых тепло теряется/рассеивается/отводится, для подачи дополнительного тепла для предварительного нагрева питательной воды или воздуха для горения посредством тепловых насосов. Оно включает тепло, теряемое/рассеиваемое/отводимое от золы, другого вращающегося оборудования (вентиляторов для дымового газа, других вентиляторов, насосов для питательной воды, механических приводов и т.д.) и электрического оборудования (такого как сопротивление, трансформаторы и т.д.).

Гибкость при обеспечении переменных характеристик подводимого топлива и воздуха желательна для обеспечения возможности выполнения процесса/управления процессом стандартизированного горения в котле. Следовательно, для реагирования на меняющиеся характеристики топлива (влажность и химический состав), обеспечения регулируемой нагрузки и оптимизации эффективности при частичной нагрузке все электромеханические приводы могут быть снабжены устройствами частотного регулирования.

Таким образом, целесообразная установка, обеспечиваемая посредством другого аспекта изобретения, представляет собой систему выработки энергии, содержащую

котел с псевдооживленным слоем для сжигания биомассы; и

конденсационную паровую турбину с подводом пара от котла с псевдооживленным слоем;

при этом воздух, подаваемый для процесса горения в котле с псевдооживленным слоем, предварительно нагревается перед вводом в котел посредством теплонасосной системы, содержащей по меньшей мере один тепловой насос, который отбирает энергию по меньшей мере из одной из:

системы охлаждения, используемой для конденсации пара из турбины; и

системы охлаждения, используемой для утилизации тепла из дымового газа из котла; и

при этом дымовой газ из котла используется для нагрева питательной воды котла.

Основное топливо для котла в данной установке представляет собой биомассу, но может быть использовано другое топливо, совместно сжигаемое в котле, как рассмотрено выше.

Теплонасосная система может рациональным образом отбирать всю энергию, необходимую для нагрева подаваемого воздуха, из системы охлаждения, используемой для конденсации пара из турбины, или из системы охлаждения, используемой для утилизации тепла из дымового газа из котла. Как правило, теплонасосная система отбирает энергию из, по меньшей мере: системы охлаждения, используемой для конденсации пара из турбины, и из системы охлаждения, используемой для утилизации тепла из дымового газа из котла.

Теплонасосная система может подавать тепло для дополнительных задач помимо нагрева воздуха, подаваемого в котел, например, для нагрева конденсата, возвращаемого в котел, как правило, в качестве стадии предварительного нагрева перед дальнейшим нагревом посредством дымового газа, посредством системы охлаждения и конденсации дымового газа, описанной выше.

При таких конструкциях может быть предусмотрено уменьшение размера котла, например, на 20% или более по сравнению с обычной установкой с паровым циклом при той же выходной мощности.

Дополнительные возможные признаки, рассмотренные выше в отношении изобретения, также могут быть использованы вместе данной целесообразной конструкцией системы выработки энергии. Например, конденсационная паровая турбина может быть использована для приведения в действие электрогенератора обычным образом.

При сочетании использования теплового насоса для предварительного нагрева воздуха, подаваемого в котел, и конденсации дымовых газов может быть получено увеличение КПД по сравнению с КПД типичного парового цикла по предшествующему уровню техники, составляющее 92% до свыше 100%. Термический КПД при низкой теплотворной способности, составляющий вплоть до 110%, если учесть утилизацию тепла, может быть достигнут посредством систем, описанных в данном документе. Таким образом, система с котлом и конденсационной паровой турбиной, такая как описанная в данном документе, имеет повышенный КПД. Если предположить, что КПД турбины составляет 42% или более, система с котлом/турбиной может иметь повышение КПД от, например, 39% для обычной конструкции до 45% или более для конструкции, описанной в данном документе, в зависимости от состава и качеств выбранного оборудования.

Системы выработки энергии, описанные в данном документе, являются гибкими по сравнению с

установками по предшествующему уровню техники. Обычно возможности регулирования включают изменение скорости подачи топлива и воздуха для горения в котле и изменение скорости подачи воды для кипения. При комбинировании использования теплового насоса для предварительного нагрева воздуха, подаваемого в котел, и получения тепла посредством конденсации дымовых газов как температура вводимого воздуха, так и температура питательной воды также могут регулироваться для обеспечения их соответствия заданной выходной мощности. Гибкая установка может быть описана как интеграция цикла сжатия в тепловом насосе (для используемого охлаждающего средства) с основным паровым циклом для формирования "Co-integrated Steam and Compression Cycle (CSCC®)".

Особая гибкость достигается за счет неиспользования отбора пара из турбины для нагрева конденсата, возвращаемого в котел, особенно при сочетании как с использованием регулирования температуры воздуха, поступающего в котел, посредством теплонасосной системы, так и с возможностью использования теплового насоса для подвода некоторого количества тепла к конденсату. Может быть выполнена быстрая точная корректировка параметров воздуха и воды, подаваемых в котел, для поддержания условий горения в котле независимо от температуры вводимого (окружающего) воздуха и качества топлива. В то же время отпуск энергии в сеть легко регулируется, поскольку теплонасосная система может быть быстро регулируемой. Следовательно, установка с котлом и турбиной становится достаточно гибкой для отправки регулируемой электрической энергии в сеть, включая изменения коэффициента мощности и регулирование частоты.

Системы выработки энергии, описанные в данном документе, являются размерно варьируемыми. Может быть использована установка с котлом для сжигания биомассы и конденсационной паровой турбиной, базирующаяся на выходной мощности,

обеспечиваемой котлом, от, например, 85 МВт до 300 МВт или более. Системы с большими котлами и турбинами могут обеспечить повышение КПД. Также следует понимать, что системы выработки энергии не ограничены установками с одним котлом и одной конденсационной паровой турбиной. Таким образом, могут быть предусмотрены, например, комбинации с подачей в более чем одну турбину (например, в две турбины) из одного котла, а также установки, в которых более одного котла используется для подачи пара в более чем одну турбину. В каждой установке могут быть использованы нагрев воздуха для каждого котла и использование теплонасосных технических средств для утилизации тепла из систем охлаждения конденсата из турбины, систем охлаждения и конденсации дымового газа и других источников тепла низкого потенциала, описанных выше.

Когда используется котел для сжигания биомассы или котел, в котором биомасса используется в качестве основного топлива, и дымовые газы эффективно охлаждаются и конденсируются, выходящие дымовые газы имеют сравнительно высокую концентрацию диоксида углерода, содержат не очень много кислотных газов или других загрязнителей и имеют сравнительно низкую температуру, например, порядка 20-50°C или даже ниже, если они используются для режима сушки биомассы или другой задачи в качестве источника тепла для теплонасосной системы. Такой поток газа сам обуславливает необходимость в улавливании соединений углерода. Следовательно, система может дополнительно включать в себя установку улавливания соединений углерода для улавливания диоксида углерода. Например, при поглощении диоксида углерода в соответствующем растворителе поглощенный CO₂ может быть освобожден от растворителя и сжат для транспортировки и хранения. Могут быть использованы другие способы отделения CO₂, такие как фильтрация через мембрану под высоким давлением, процессы адсорбции/десорбции и криогенная сепарация. Поскольку котел для сжигания биомассы, в котором используется устойчивая биомасса, в принципе имеет нейтральный уровень выбросов углерода, добавление установки улавливания углеродных соединений может сделать систему выработки энергии имеющей отрицательный уровень эмиссии углерода. При улавливании CO₂ может быть использована утилизация тепла из данного процесса, при необходимости вместе с применением теплового насоса для повышения качества тепла, в системах выработки энергии, описанных в данном документе, или для других применений, требующих тепла.

Согласно настоящему изобретению также предложен способ выработки энергии, при этом способ включает выполнение генерирующей системы, содержащей конденсационную паровую турбину с подводом пара из котла, при этом воздух, подаваемый для процесса горения в котле, предварительно нагревают посредством теплонасосной системы, содержащей по меньшей мере один тепловой насос, перед вводом в котел.

В способе используются системы выработки энергии, описанные в данном документе, включающие в себя любой или все из возможных признаков. Например, тепловой насос используется для отбора тепла из источника энергии низкого потенциала. Источник энергии низкого потенциала может представлять собой систему охлаждения, используемую для конденсации пара из конденсационной паровой турбины, или любой из остальных источников энергии низкого потенциала, связанных с системами выработки энергии, описанными в данном документе.

Другие источники тепла низкого потенциала, не связанные напрямую с системой выработки энергии, могут быть использованы в качестве альтернативы или дополнения к теплу из системы охлаждения,

предназначенной для конденсационной паровой турбины. Например, может быть использована энергия из солнечных или геотермальных источников или из систем охлаждения, используемых во внутривозовских процессах.

Конденсация дымовых газов из системы сжигания обеспечивает возможность утилизации как тепла из системы охлаждения газов, так и скрытой теплоты фазового превращения при конденсации. Сочетание данной утилизации тепла с использованием теплового насоса или тепловых насосов для повышения потенциала тепла низкого потенциала, получаемого из процедуры охлаждения, и обеспечением эффективного активного охлаждения может найти применение в любой системе, в которой имеются дымовые газы.

Таким образом, согласно настоящему изобретению предложен способ отбора тепла из газов из процесса горения, при этом способ включает охлаждение газов посредством теплообмена для конденсации имеющейся воды и повышение потенциала тепла, отбираемого, по меньшей мере, из процесса фазового превращения при конденсации, посредством теплового насоса.

Предпочтительно используется активное охлаждение посредством применения по меньшей мере одного теплового насоса с регулируемым приводом и по меньшей мере одного насоса с регулируемой циркуляцией для теплообменника.

Двухэтапный способ целесообразно используется для охлаждения газов. Двухступенчатая установка, предпочтительно внешняя по отношению к котлу, вырабатывающему дымовой газ, или другому источнику газа из процесса горения, может быть предусмотрена в качестве отдельной установки. Газ сначала охлаждают для отбора тепла высокого потенциала посредством первой теплообменной системы и затем охлаждают до температуры конденсации посредством второй теплообменной системы.

Может быть использовано более двух ступеней теплообмена для достижения температуры конденсации.

Конденсаторная/скрубберная установка может быть использована в качестве второй теплообменной системы.

По меньшей мере один тепловой насос используется для повышения потенциала тепла, получаемого из ступени конденсации. Это позволяет утилизируемому теплу обеспечить выполнение большей полезной работы, например, описанной в данном документе в отношении систем выработки энергии с котлами для сжигания биомассы.

При необходимости может быть использовано тепло, остающееся в газе из процесса горения после его охлаждения до температуры конденсации. Когда газ становится двумя потоками, а именно потоками газа и воды, и оба потока содержат некоторое количество тепла низкого потенциала, данное тепло может быть использовано. Дополнительный теплообменник или теплообменники могут быть использованы для повышения потенциала остаточного тепла, получаемого из потоков газа или конденсата.

Данный способ отбора тепла может быть использован при газах из процессов горения в целом при преимуществах с точки зрения экономии энергии, зависящих от ситуации. Использование вместе с системами для биомассы, описанными в данном документе, особенно целесообразно и повышает гибкость энергетической установки.

Другие применения способа могут включать применение для газов из двигателей внутреннего сгорания ("выхлопных газов"). Когда двигатель внутреннего сгорания используется для приведения в действие генератора электроэнергии, тепло может быть отобрано из выхлопных газов, а также из системы охлаждения для двигателя. Пример описан ниже.

Системы выработки энергии, такие как установки с котлом и турбиной, описанные в данном документе, и энергетические установки в целом, в которых используется сжигание в системах котлов, требуют электропитания для запуска. Электроэнергия требуется до того, как котел и соответствующая турбина будут работать на эксплуатационном уровне. Электроэнергия может быть подана из сети электроснабжения, но только в том случае, если имеет подача электроэнергии из сети.

Желательно, чтобы установка для выработки электроэнергии обладала способностью к пуску после полного останова/автономному пуску. Установка выполнена с возможностью пуска при отсутствии необходимости в подаче электроэнергии из внешних источников. Это может быть обеспечено за счет наличия двигателя внутреннего сгорания (или турбины внутреннего сгорания, или топливного элемента), снабжающего энергией электрогенератор (все данные опции могут быть предусмотрены в одном или множестве узлов, работающих параллельно) для использования при процедурах запуска. Двигатель, как правило, газопоршневой двигатель имеет преимущество, заключающееся в его гибкости, при этом выходная мощность без труда регулируется для адаптации к изменяющейся нагрузке. Могут быть использованы другие виды жидкого или газообразного топлива, например, дизельное, биодизельное, природный газ, синтетический газ, биогаз, мазут (тяжелое топливо), жидкий нефтяной газ (LPG), сжиженный природный газ (СПГ), водород и т.д.

Двигатель внутреннего сгорания может быть использован для выработки энергии не только при пуске, но и в качестве средства повышения гибкости установки. Дополнительная мощность может быть добавлена к выходной мощности установки для выработки электроэнергии в целом посредством эксплуатации двигателя. Поскольку система с двигателем и генератором имеет "гибкую" выходную мощ-

ность, система с двигателем может обеспечить возможность пошагового приращения общей выходной мощности установки.

Предпочтительно тепло из системы охлаждения двигателя отбирается посредством теплообменника для использования при нагреве, например, для нагрева воздуха и/или воды, вводимых в котел. Способ, описанный выше и предназначенный для отбора тепла из газов из двигателя внутреннего сгорания, предпочтительно используется в случае выхлопного газа из двигателя. Таким образом, двигатель может быть предусмотрен с двухступенчатой установкой. Выхлопной газ сначала охлаждается для отбора тепла высокого потенциала посредством первой теплообменной системы и затем охлаждается до температуры конденсации посредством второй теплообменной системы. По меньшей мере один тепловой насос может быть использован для повышения потенциала тепла из ступени конденсации для обеспечения возможности выполнения полезной работы. Тепловой насос может представлять собой насос, используемый для отбора тепла из других источников тепла низкого потенциала, или может быть предназначен для данной задачи. Тепловой насос может быть автономным или быть частью теплонасосной системы энергетических систем по изобретению.

Согласно изобретению предложены как способ отбора тепла из дымовых газов, так и устройство для отбора тепла из газов из системы сжигания, содержащее теплообменную систему для охлаждения газов до температуры конденсации; и по меньшей мере один тепловой насос для повышения потенциала тепла, отбираемого по меньшей мере из процесса фазового превращения при конденсации.

Тепло, отбираемое из двигателя во время его работы, может быть использовано для нагрева воздуха для горения или питательной воды (конденсата) непосредственно и сразу же или может накапливаться в соответствующем устройстве аккумуляции тепла для более позднего использования. Тепло, отводимое от двигателя, может быть использовано для дополнения процесса выработки энергии в основном тепловом цикле установки, описанном выше.

Устройство может включать в себя любой или все из признаков, рассмотренных выше в отношении способа и систем выработки энергии, описанных в данном документе.

Краткое описание чертежей

- Фиг. 1 показывает систему выработки энергии на схематическом виде;
- фиг. 2 показывает упрощенный схематический чертеж системы выработки энергии в виде блок-схемы; и
- фиг. 3 показывает упрощенный схематический чертеж системы выработки энергии в виде блок-схемы, на котором выделена утилизация тепла низкого потенциала для повышения потенциала в теплонасосной системе.

Описание некоторых предпочтительных вариантов осуществления

Фиг. 1 представляет собой схематическую иллюстрацию системы 1 выработки энергии, которая включает в себя конденсационную паровую турбинную установку 2 с подводом пара из котла 4, в данном примере - котла с псевдооживленным слоем, обеспечивающего сжигание биомассы, такой как древесная стружка, по меньшей мере, в качестве основного топлива.

Паровой цикл

Паровой цикл, реализуемый в системе 1, может быть описан следующим образом. Топливо из биомассы из топливного бункера 6 сжигается в воздухе в котле 4 с псевдооживленным слоем. Тепло используется в котле для кипения воды и образования пара высокого давления, который подается из котла 4 по магистрали 8 для приведения в действие турбины 10 высокого давления (HP. TURB.) в турбине 2. Использованный пар возвращается в котел 4 по магистрали 12 для повторного нагрева обычным образом. Повторно нагретый пар затем подается по магистрали 14 в турбину(-ы) 16 низкого давления (LP. TURB.) в турбине 2. Как правило, используется системы с турбинами "промежуточного" и "низкого" давления для максимизации отбора энергии. Пар, выходящий из турбины (турбин) 16 низкого давления, конденсируется в конденсаторе 18 посредством использования системы с охлаждающей водой, показанной посредством магистрали 20.

Конденсированный пар нагревается конденсатным насосом 22 через теплообменник 24 для предварительного нагрева, который использует тепло, отобранное из систем охлаждения, предназначенных для электрогенератора 26 и трансформатора 28, как показано посредством магистралей 30, 32.

Затем конденсат подается по магистрали 34 для его дополнительного нагрева в системе 36 утилизации тепла, в которой дымовой газ из котла 4 используется, как дополнительно описано в дальнейшем под заголовком "Дымовой газ". В завершение, нагретый конденсат подвергается повышению давления и возвращается посредством магистрали 38, бака 39 хранения ("барабана"), насоса 40 для питательной воды и магистрали 42 - в котел 4 для превращения снова в пар. Любая необходимая подпиточная вода подается из установки 44 обработки питательной воды.

Топливо

Подаваемое топливо в данном примере представляет собой древесную стружку. В котле 4 используется система сжигания с псевдооживленным слоем, которая не требует специальной обработки исходного топлива, такой как измельчение. Однако исходное топливо 46 высушивается в установке 48 сушки топлива перед подачей в бункер 6, который обеспечивает подвод в процесс сжигания в котле 4. Содержит

жание влаги в диапазоне от приблизительно 9 до 50% является подходящим для предусмотренной системы, но не является критичным.

Подача воздуха

Воздух подается в котел 4 через воздухоподогреватель 50. Воздух нагревается в воздухоподогревателе 50 посредством теплового насоса или тепловых насосов 52 с регулируемым приводом, который (-е) отбирает (-ют) тепло из системы с охлаждающей водой (магистральной 20) для конденсатора 18 турбины 2. Затем нагретый воздух нагнетается в котел 4 посредством вентилятора или вентиляторов 54. Другие источники тепла сравнительно низкого потенциала могут быть использованы в качестве альтернативы или дополнения. Однако использование системы с охлаждающей водой для конденсационной турбины обеспечивает увеличение отбора энергии из парового цикла, что повышает КПД. Данная конструкция обеспечивает возможность подачи воздуха в котел 4 при соответствующей температуре по существу независимо от температуры окружающего воздуха и при отсутствии необходимости в, как правило, использовании теплообмена с выходящим газом внутри котла.

Дымовой газ

Дымовой газ выходит из котла 4 по магистрали 56 в установку 36 утилизации тепла. Как следствие подачи нагретого воздуха в котел 4, дымовой газ имеет соответствующую температуру и иногда является до некоторой степени более горячим, чем в обычной установке, в которой воздух с температурой окружающей среды подается в котел и нагревается выходящим дымовым газом. Установка 36 утилизации тепла обеспечивает обработку дымового газа в двух ступенях. В ступени I дымовой газ, выходящий из котла 4, предварительно охлаждается посредством теплообмена с конденсатом, возвращаемым в котел из конденсационной турбины 18. В ступени II установка с конденсатором и скруббером обеспечивает конденсацию пара в дымовом газе и удаление золы. Охлаждение и конденсация дымового газа в ступени II установки 36 утилизации тепла обеспечиваются посредством нагрева конденсированного пара, возвращаемого в котел по магистрали 34.

Таким образом, дымовой газ превращается в два потока, а именно поток газа и поток воды. Оба потока содержат некоторое количество тепла низкого потенциала (имеют, например, температуру, составляющую приблизительно 40°C), и любой или оба из них подаются в установку 48 сушки топлива (посредством магистралей 58, 60 и насоса 62) для сушки топлива, подаваемого для котла.

Выходная мощность

В данном примере конденсационная паровая турбина 2 приводит в действие генератор 26 для выработки электроэнергии, которая преобразуется трансформатором 28 в форму, подходящую для подачи в сеть 64. Часть выработанной энергии используется для "собственного потребления" 64, например, для снабжения энергией насосов, таких как 22, 42, 54 и 62, и теплового насоса 52.

Энергоэффективность и отсутствие чувствительности установки по фиг. 1, описанной выше, к окружающим условиям обеспечивают возможность использования стандартизированной и более компактной системы выработки энергии для получения заданной выходной мощности по сравнению с той, которая может быть реализована при ранее известных установках.

Фиг. 2 показывает систему выработки энергии, похожую на систему по фиг. 1, в виде блок-схемы, показывающей, по существу, потоки массы и энергии.

На фиг. 2 топливо 100 и нагретый воздух 101 подаются в котел 102. Пар 104, образованный посредством сжигания топлива в котле 102, подается в турбину 106. Механическая энергия 108 от турбины 106 приводит в действие генератор для выработки электроэнергии 112, которая регулируется трансформатором 114, чтобы она соответствовала электроэнергии 116, подаваемой в сеть 118.

Отработанный пар из турбины 106 конденсируется посредством контура 120 охлаждения для получения конденсата 122, который возвращается в котел 102 через устройство 124 предварительного нагрева и установки II (126) и I (128) утилизации тепла дымового газа. Конденсат 120 также будет подвергнут повышению давления для получения материала, подаваемого в котел, который имеет соответствующие температуру и давление.

Контур 120 охлаждения (как правило, контур водяного охлаждения) обеспечивает тепло 130 сравнительно низкого потенциала, которое используется в установке 132 утилизации тепла (посредством теплонасосной установки) для нагрева воздуха 134, поступающего в котел 102, для получения нагретого воздуха 101. Тепло 130 от контура 120 охлаждения также может быть использовано в качестве внешнего источника 136 тепла, например, для централизованного теплоснабжения. Еще одно дополнительное применение тепла 130 может заключаться в подводе тепла через установку 138 утилизации тепла в устройство 124 предварительного нагрева, которое обеспечивает нагрев конденсата 122 из турбины 106. Установка 138 утилизации тепла также может снабжаться теплом 140 из контура охлаждения для генератора 110. В данном примере тепло 142 также утилизируется из контура охлаждения, используемого для охлаждения трансформатора 114, и подается посредством другой установки 144 утилизации тепла в устройство 124 предварительного нагрева.

Дымовой газ 146, выходящий из котла 102, предварительно охлаждается в установке I (128) утилизации тепла возвращаемым конденсатом 122. Предварительно охлажденный дымовой газ 148 затем дополнительно охлаждается, и вода, имеющаяся в потоке, конденсируется в установке II (126) утилизации

тепла, в которой возвращаемый конденсат 122 также используется в качестве охладителя. Охлажденный высушенный дымовой газ 150, выходящий из установки II (126) утилизации тепла, затем может быть использован дополнительно для сушки топлива, как показано в установке по фиг. 1. Затем охлажденный высушенный дымовой газ 150 может быть обработан в установке 151 улавливания соединений углерода для улавливания диоксида углерода. Конденсат 152, полученный из дымового газа, также может быть использован, например, для сушки топлива, как показано на фиг. 1.

В данном примере утилизация тепла в установке 132 осуществляется посредством теплового насоса как части теплонасосной системы. Следует понимать, что другая утилизация тепла в системах по изобретению может в каждом случае осуществляться посредством использования теплообменников, тепловых насосов или как теплообменников, так и тепловых насосов в комбинации.

Например, в устройствах утилизации тепла в любой из установок 126, 128, 138 и 144, показанных на фиг. 2, могут использоваться теплообменники, тепловые насосы или как теплообменники, так и тепловые насосы.

Фиг. 3 показывает элементы упрощенной блок-схемы системы 200 выработки энергии общего типа, аналогичной системе по фиг. 1. На иллюстрации основное внимание уделено утилизации энергии низкого потенциала для теплонасосной системы. В данном примере теплонасосная система обеспечивает отбор тепла низкого потенциала из нескольких источников и, в свою очередь, использует тепловые насосы для повышения потенциала тепла для выполнения ряда полезных функций нагрева.

Паровой цикл

Система выработки энергии включает в себя котел 201 для сжигания с подводом воздуха 202, топлива 204 и нагретой воды 206 под давлением. Пар, образованный в котле 200, подается по магистрали 208 в паровую турбину 210. Отработанный пар конденсируется в конденсаторе 212 и возвращается по магистрали 214, включающей в себя компрессор 216, в котел 201 для повторного использования.

Дымовой газ

Дымовой газ (магистраль 218) из котла 201 охлаждается и конденсируется в установке 220, такой как двухступенчатая установка 36 утилизации тепла, описанная выше в отношении фиг. 1. Оставшиеся газы (большей частью азот и углекислый газ) после конденсации могут поступать в возможную, но необязательную установку 222 улавливания соединений углерода.

Выходная мощность

В данном примере конденсационная паровая турбина 210 приводит в действие генератор 224 для выработки электроэнергии, которая преобразуется трансформатором 226 в форму, пригодную для подачи в сеть 228. Часть генерированной мощности используется для "собственного потребления" 230, например, используется для приведения в действие насосов.

В данном примере имеется пусковая мотор-генераторная установка 232, предназначенная для использования при запуске системы 200. Мотор может представлять собой, например, газопоршневой двигатель или газовую турбину. Мотор-генераторная установка 232 также может быть использована более рутинно для получения дополнительной выходной мощности системы 200 при ее эксплуатации так, как требуется для выработки электроэнергии. Это повышает гибкость системы 200.

Теплоутилизационная и теплонасосная система

Пунктирная линия 234 показывает использование тепла от установки утилизации тепла и конденсации дымового газа для нагрева конденсата, возвращаемого по магистрали 214 в котел 201.

Все остальные пунктирные линии на фигуре иллюстрируют утилизацию тепла низкого потенциала из различных источников, повышение потенциала тепла посредством тепловых насосов теплонасосной системы и использование тепла повышенного потенциала для различных задач.

Таким образом, как показано пунктирными линиями 236, 238, 240, 242, 244, 248 и 250, утилизируется тепло низкого потенциала соответственно от трансформатора 226, генератора 238, системы охлаждения турбины 240, конденсатора для турбины 212, установки 220 утилизации тепла и конденсации дымового газа, установки 222 улавливания углеродных соединений из дымового газа и моторно-генераторной установки 232.

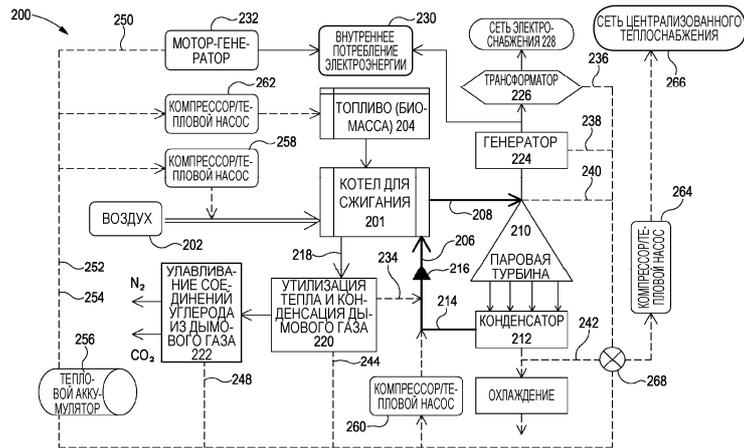
В данном примере все утилизированное тепло низкого потенциала "объединяется", как показано посредством соединительной магистрали 252 как части теплонасосной системы 254. Теплонасосная система включает в себя возможный, но необязательный аккумулятор 256 тепла, например, резервуар с водой.

Теплонасосная система включает в себя компрессоры/тепловые насосы с регулируемым приводом. Один или более тепловых насосов используются для каждой задачи следующим образом: обозначенный 258 - для нагрева воздуха 202, вводимого в котел, обозначенный 260 - для нагрева конденсата, возвращаемого в котел по магистрали 214, и обозначенный 262 - для сушки топлива 204 из биомассы.

На данной фигуре также предусмотрено возможное, но необязательное применение другого (-их) теплового (-ых) насоса или насосов 264 для подачи тепла повышенного потенциала в систему централизованного теплоснабжения (сеть 266 централизованного теплоснабжения), доступную, если желательно, посредством системы 268 управления.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система выработки энергии, содержащая конденсационную паровую турбину с подводом пара из котла,
при этом воздух и/или питательная вода, подаваемый(ая) для процесса горения в котле, предварительно нагревается посредством теплонасосной системы, содержащей по меньшей мере один компрессор с регулируемым приводом, перед вводом в котел;
электрогенератор для выработки электроэнергии;
трансформатор соединенный с электрогенератором для подачи электроэнергии в сеть; и
причем система выполнена так, что энергия, получаемая по меньшей мере из одного - из охлаждения электрогенератора и охлаждения трансформатора, используется для предварительного нагрева конденсата, возвращаемого из конденсационной паровой турбины, посредством прямого теплообмена или посредством теплонасосной системы.
2. Система выработки энергии по п.1, в которой теплонасосная система отбирает тепло из системы охлаждения, используемой для конденсации пара из конденсационной паровой турбины.
3. Система выработки энергии по п.1 или 2, в которой теплонасосная система отбирает тепло из процесса охлаждения и конденсации дымового газа в системе выработки энергии.
4. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой теплонасосная система отбирает тепло по меньшей мере из одного - из отходящего тепла от вращающегося оборудования; отходящего тепла от трансформаторного оборудования; тепла, отходящего при охлаждении паровой турбины, или тепла, отходящего при золоудалении.
5. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой теплонасосная система или другая теплообменная система отбирает тепло по меньшей мере от одного - из источника или источников энергии, выбранных из группы, состоящей из источника солнечной энергии, источника геотермальной энергии или источника энергии, выделяющейся при заводских процессах.
6. Система выработки энергии по п.1, в которой во всех тепловых насосах теплонасосной системы используются компрессоры с регулируемым приводом.
7. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой котел представляет собой котел для сжигания биомассы.
8. Система выработки энергии по п.7, в которой котел представляет собой котел с псевдооживленным слоем для сжигания биомассы.
9. Система выработки энергии по п.8, в которой котел представляет собой котел с псевдооживленным слоем для сжигания биомассы и температура горения регулируется для минимизации образования NO_x.
10. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой тепло дымового газа из котла используется для нагрева питательной воды котла.
11. Система выработки энергии по п.7, в которой конденсационная паровая турбина не снабжена оборудованием для отбора пара, предназначенным для предварительного нагрева питательной воды котла.
12. Система выработки энергии по п.10 или 11, в которой вода, содержащаяся в дымовом газе, конденсируется посредством охлаждения от питательной воды котла и/или посредством охлаждения со стороны отбора тепла в тепловом насосе или тепловом насосе теплонасосной системы.
13. Система выработки энергии по п.12, в которой обеспечивается, по существу, полная конденсация воды, содержащейся в дымовом газе.
14. Система выработки энергии по п.12 или 13, в которой вода, содержащаяся в дымовом газе, конденсируется в двухступенчатой установке, при этом конденсат, возвращаемый из конденсационной паровой турбины, сначала подвергается теплообмену в конденсаторной/скрубберной установке для дымового газа непосредственно или посредством теплонасосной установки и затем подвергается теплообмену с дымовым газом, выходящим из котла, в устройстве предварительного охлаждения для конденсатора/скруббера.
15. Система выработки энергии по п.14, в которой тепло по меньшей мере от одного/одной из газа и воды из дымового газа после устройства предварительного охлаждения и конденсатора/скруббера используется для сушки или нагрева топлива, подаваемого в котел.
16. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой конденсационная паровая турбина соединена с электрогенератором для выработки электроэнергии.
17. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой конденсат, возвращаемый из конденсационной паровой турбины, нагревается только посредством тепла от дымового газа из котла перед подачей в котел.
18. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой предусмотрено более одной конденсационной паровой турбины.
19. Система выработки энергии по любому предшествующему пункту, в которой предусмотрено более одного котла.



Фиг. 3

