



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005111223/06, 17.09.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.09.2003(30) Конвенционный приоритет:
17.09.2002 US 60/411,102

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2005

(45) Опубликовано: 10.11.2006 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: EP 0453059 A, 23.10.1991. US 6269624
B1, 07.08.2001. US 5517815 A, 21.05.1996. SU
1645573 A, 30.04.1991. SU 1758343 A1,
30.08.1992. SU 1702109 A, 30.12.1991.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
18.04.2005(86) Заявка РСТ:
IB 03/03980 (17.09.2003)(87) Публикация РСТ:
WO 2004/027220 (01.04.2004)

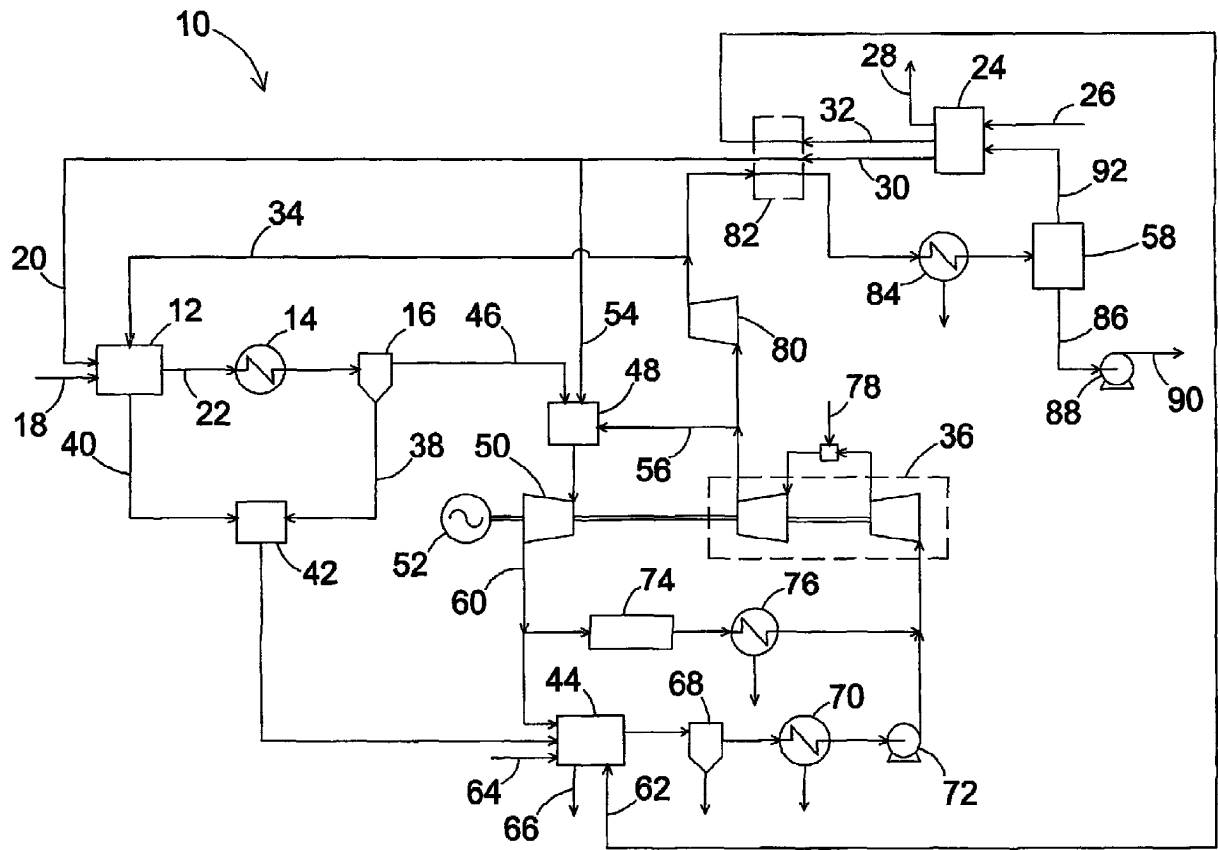
Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Г.Б. Егоровой, рег.№ 513

(72) Автор(ы):
ФАНЬ Чжень (US)(73) Патентообладатель(и):
ФОСТЕР УИЛЕР ЭНЕРДЖИ КОРПОРЕЙШН (US)(54) СИСТЕМА С ГИБРИДНЫМ ЦИКЛОМ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РЕЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ РАБОЧЕЙ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ И СПОСОБ ГЕНЕРИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к энергетике. Система генерирования электроэнергии с использованием гибридного цикла газификации, в которой CO₂ рециркулирует в газогенератор для использования в качестве газификационного реагента и рабочей текучей среды. Система генерирования электроэнергии включает источник свежего чистого кислорода, газогенератор, сепаратор частиц, расположенный с сообщением по потоку с газогенератором, камеру сгорания для сингаза,

газовую турбину, расположенную с сообщением по потоку с выходом газовой турбины, и газокompрессорную систему, которая выдает поток сжатого отходящего газа. Первую часть потока сжатого отходящего газа подают в газогенератор для регулирования температуры в газогенераторе для получения CO₂ и пара для газификации и для уменьшения потребности в нем в свежем чистом кислороде. Изобретение позволяет повысить эффективность получения электроэнергии. 2 н. и 19 з.п. ф-лы, 1 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005111223/06, 17.09.2003**

(24) Effective date for property rights: **17.09.2003**

(30) Priority:
17.09.2002 US 60/411,102

(43) Application published: **10.10.2005**

(45) Date of publication: **10.11.2006 Bull. 31**

(85) Commencement of national phase: **18.04.2005**

(86) PCT application:
IB 03/03980 (17.09.2003)

(87) PCT publication:
WO 2004/027220 (01.04.2004)

Mail address:
**129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. G.B. Egorovoj, reg.№ 513**

(72) Inventor(s):
FAN' Chzhen' (US)

(73) Proprietor(s):
FOSTER UILER EhNERDZhi KORPOREJShN (US)

(54) **SYSTEM WITH HYBRID CYCLE OF GASIFICATION OF COAL USING RECIRCULATING WORKING FLUID MEDIUM AND METHOD OF POWER GENERATION**

(57) Abstract:

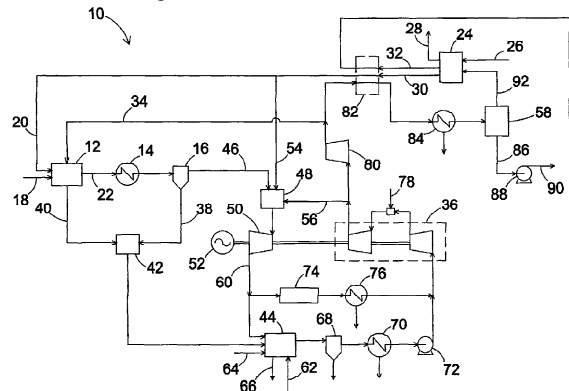
FIELD: power engineering.

SUBSTANCE: system is proposed in which hybrid cycle of gasification is used where carbon dioxide is recirculated in gas generator for use as gasification reagent and working fluid medium. System includes source of fresh clean oxygen, gas generator particles separator arranged for communication in flow with gas generator, combustion chamber for syngas, gas turbine arranged with communication in gas flow with output of gas turbine and gas compression system putting out flow of compressed outgoing gas. First part of compressed outgoing gas is delivered into gas generator to regulate temperature in gas generator and get carbon dioxide and steam for gasification and decrease

requirement of fresh clean oxygen.

EFFECT: increased efficiency of power generation.

21 cl, 1 dwg



RU 2 287 067 C2

RU 2 287 067 C2

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к системе с гибридным циклом газификации с использованием рециркулирующей рабочей текучей среды и к способу работы такой системы для генерирования электрической энергии.

5 Описание предшествующего уровня техники

Связь между глобальным изменением климата и выделением парниковых газов, таких как диоксид углерода (CO_2), документально подтверждена. Обычные электростанции на ископаемом топливе, такие как электростанции на угольной пыли, генерируют значительные количества CO_2 . Поэтому, очевидно, что существует постоянная тенденция к улучшению эффективности таких электростанций и к разработке усовершенствованных технологий для уменьшения выбросов ими CO_2 . Одно из основных решений, разработанных для достижения этих целей, основано на газификации угля в газификаторе для генерирования сингаза, который сгорает в камере сгорания, расположенной далее по ходу процесса. В недавно опубликованном исследовании М. De Lallo и др. "Оценка передовых циклов переработки ископаемого топлива, включающих извлечение CO_2 " ("Evaluation of Innovative Fossil Cycles Incorporating CO_2 Removal"), которое было представлено на конференции Технологии газификации 2000 в Сан-Франциско, Калифорния, 8-11 октября 2000 года, описано несколько известных способов извлечения/секвестрации CO_2 на электростанциях, работающих на угле. Исследование показало, что такие системы извлечения и/или секвестрации CO_2 , когда их применяют на выходном конце электростанции, работающей на угольной пыли, могут уменьшать эффективность электростанции на семь процентных точек при стоимости извлечения, достигающей 30 долларов США за тонну CO_2 . Для сравнения все суммы в долларах, указанные в исследовании, даны в долларах США 2003 года.

25 На обычных электростанциях с подачей кислорода и интегрированным комбинированным циклом газификации, например, угарный газ (CO) часто преобразуется водяным газом в водород (H_2) и CO_2 перед газовой турбиной. Этот CO_2 затем может быть извлечен и концентрирован посредством абсорбции и отгонки или при помощи мембран и затем сжат для секвестрации. Однако процесс такого типа является энергоемким, дорогим и снижает эффективность системы вследствие регенерации CO_2 из растворителя и потерь энергии, связанных с преобразованием. (Поскольку низшая теплотворная способность (LHV) водорода меньше, чем у CO при расчете на моль, 15% низшей теплотворной способности теряется, когда CO преобразуется в H_2). Таким образом, требуется генерирование большего количества сингаза при газификации для компенсации потерь на преобразование. Оценено, что для электростанций с интегрированным комбинированным циклом газификации, в которых используются такие процессы, потеря эффективности составляет шесть процентных точек в комбинации со стоимостью извлечения CO_2 , составляющей 15 долларов США за тонну.

40 В патенте США №6269624 описан способ генерирования электроэнергии с комбинированным циклом при сгорании газообразного топлива с кислородом, в котором часть диоксида углерода, содержащегося в отходящих газах газовой турбины, рециркулируют в камеру сгорания газовой турбины. Диоксид углерода, накопленный в рециркулирующем газе, конденсируется после газового компрессора, соединенного с газовой турбиной.

45 В патенте США №5572861 описан способ с интегрированным комбинированным циклом газификации с использованием рециркулирующего диоксида углерода в качестве разбавляющей текучей среды последовательно с камерами сгорания газовой турбины. Диоксид углерода, выходящий из газовых турбин, сжимается в многоступенчатом компрессоре, включая промежуточное извлечение части диоксида углерода и направление его в узел конденсации. Согласно патенту сингаз производят посредством газификации угля в газогенераторе под давлением при помощи смеси кислорода и пара. В этом способе используется очень сложное оборудование, такое как высокотемпературный компрессор для сингаза.

В патенте Великобритании №1298434 описан способ, согласно которому уголь газифицируют посредством использования чистого кислорода, и полученный газ сгорает в топке котла с кислородом. Водяной пар конденсируется из топочного газа топки котла, и часть оставшегося диоксида углерода рециркулируют назад в газогенератор и в топку для

5 регулирования их температур. Другая часть диоксида углерода сжимается в многоступенчатом компрессоре и охлаждается несколькими этапами для формирования сжиженного диоксида углерода. Однако тепловой коэффициент полезного действия такого цикла не очень высок, причем электроэнергия генерируется только низкоэффективной паровой турбиной на основе цикла Ренкина.

10 Краткое описание изобретения

Задачей настоящего изобретения является получение простой системы с гибридным циклом газификации с использованием рециркулирующей рабочей текучей среды и способа использования системы с гибридным циклом газификации для эффективного генерирования электрической энергии.

15 Другой задачей настоящего изобретения является получение простой системы с гибридным циклом газификации с использованием рециркулирующей рабочей текучей среды и системы с гибридным циклом газификации для исключения или уменьшения выбросов диоксида углерода в атмосферу.

20 Для достижения этой и других задач настоящего изобретения созданы новая система генерирования электроэнергии и способ, описанные в прилагаемой формуле изобретения.

Согласно одному варианту осуществления настоящее изобретение относится к системе генерирования электроэнергии, содержащей источник свежего чистого кислорода (O_2); газогенератор, имеющий вход для твердого топлива и вход для свежего чистого кислорода, работающий под повышенным давлением P_1 для преобразования твердого

25 топлива в сингаз, содержащий угарный газ (CO) и водород (H_2), и твердый остаток, содержащий полукокс; сепаратор частиц, расположенный с сообщением по потоку с газогенератором для отделения частиц полукокса от сингаза, выходящего из газогенератора; камеру сгорания для сингаза, имеющую вход для свежего чистого кислорода и вход для сингаза, выходящего из сепаратора частиц, для сжигания сингаза с

30 получением отходящего газа, содержащего диоксид углерода (CO_2), воду и избыточный кислород; газовую турбину, расположенную с сообщением по потоку с камерой сгорания для сингаза, для расширения отходящего газа для генерирования электроэнергии при помощи генератора, соединенного с газовой турбиной, и выпуска расширенного отходящего газа через выпускное отверстие газовой турбины; парогенератор,

35 расположенный с сообщением по потоку с выходом газовой турбины, содержащий выходное отверстие для выпуска отработавшего отходящего газа; газоконпрессорную систему, имеющую вход, сообщающийся по потоку с выходом парогенератора, и выход для выпуска потока сжатого отходящего газа и средство для подачи первой части потока сжатого отходящего газа в газогенератор для регулирования температуры в

40 газогенераторе для получения пара для газификации и для уменьшения потребности в свежем чистом кислороде.

Согласно другому варианту осуществления настоящее изобретение относится к способу генерирования электроэнергии, включающему следующие стадии: (a) подачу свежего чистого кислорода из источника кислорода; (b) подачу твердого топлива и свежего

45 чистого кислорода в газогенератор и преобразование твердого топлива в сингаз, содержащий угарный газ (CO) и водород (H_2), и твердый остаток, содержащий полукокс; (c) подачу сингаза, выходящего из газогенератора, в сепаратор частиц и отделение частиц полукокса от сингаза в сепараторе частиц; (d) сжигание сингаза, выпускаемого из сепаратора частиц, со свежим чистым кислородом в камере сгорания для сингаза с

50 получением отходящего газа, содержащего диоксид углерода (CO_2), воду и избыточный кислород; (e) расширение отходящего газа в газовой турбине, расположенной с сообщением по потоку с камерой сгорания для сингаза, генерирование электроэнергии при помощи генератора, соединенного с газовой турбиной, и выпуск расширенного отходящего

газа через выпускное отверстие газовой турбины; (f) подачу расширенного отходящего газа из газовой турбины в парогенератор и выпуск отработавшего отходящего газа из выпускного отверстия парогенератора; (g) подачу отработавшего отходящего газа из парогенератора в газокompрессорную систему и (h) подачу первой части потока сжатого отходящего газа в газогенератор для регулирования температуры в газогенераторе для получения CO₂ и пара для газификации и для уменьшения потребности в свежем чистом кислороде.

Используемый здесь термин "чистый кислород" следует толковать в широком смысле как включающий любой поток кислорода, генерируемого источником концентрированного кислорода, таким как криогенный воздушный сепаратор, некриогенный воздушный сепаратор, такой как разделительная мембрана или адсорбирующая система при колебании давления, резервуары для кислорода или подобные средства. Например, потоки кислорода, генерируемые криогенным воздушным сепаратором, в типичном случае имеют содержание кислорода, превышающее 95%, тогда как потоки, генерируемые некриогенным воздушным сепаратором, в типичном случае имеют концентрацию кислорода, составляющую от около 90% до около 95%. Однако потоки кислорода, имеющие концентрацию кислорода несколько меньше 90%, также относятся к термину "чистый кислород", поскольку они генерируются источником концентрированного кислорода. Термин "свежий" кислород означает кислород, который подают от источника свежего чистого кислорода в отличие от кислорода, рециркулирующего в системе.

Настоящее изобретение относится к усовершенствованному гибриднему циклу газификации, в котором CO₂ рециркулирует в газогенератор и используется в качестве реагента для газификации и в качестве рабочей текучей среды. Предпочтительно газогенератором является газогенератор с циркулирующим псевдооживленным слоем под давлением (PCFB), работающий, в типичном случае, под давлением до около 55 атмосфер или даже выше для газификации твердого топлива, такого как уголь. Соответственно, газокompрессорная система, которая подает сжатый газ, содержащий главным образом диоксид углерода, но также некоторое количество воды и кислорода, которые рециркулируют в газогенератор, повышает давление отходящего газа, предпочтительно, по меньшей мере, до уровня рабочего давления газогенератора.

Сингаз, выходящий из газогенератора, предпочтительно охлаждается в охладителе для сингаза до того, как полукокк и другие твердые частицы, увлеченные сингазом, отделяются сепаратором частиц. Предпочтительно сепаратор частиц представляет собой узел металлических свечевых фильтров. Если необходимо, сингаз можно очищать обычными средствами от других веществ, вредных для газовой турбины, до подачи сингаза в камеру сгорания.

Система генерирования электроэнергии, соответствующая настоящему изобретению, предпочтительно содержит средство для подачи второй части потока сжатого отходящего газа в камеру сгорания для сингаза, такое как канал, трубопровод и т.п. Поскольку отходящий газ содержит главным образом диоксид углерода, он может использоваться для регулирования температуры сгорания в камере сгорания для сингаза для контроля формирования окисей азота (NO_x) из небольшого количества азота, который может присутствовать в сингазе. Обычно сжатый отходящий газ содержит некоторое количество воды, которая также способствует регулированию содержания окисей азота. Газ также содержит некоторое количество избыточного кислорода, которое снижает потребность в свежем чистом кислороде для камеры сгорания для сингаза.

Преимущественно газокompрессорная система содержит компрессор газовой турбины, соединенный с валом газовой турбины, и поджимающий компрессор. Компрессор газовой турбины обычно сжимает отходящий газ до давления, которое пригодно для подачи газа в камеру сгорания для сингаза, и степень сжатия поджимающего компрессора подбирают таким образом, чтобы давление на его выходе соответствовало давлению в газогенераторе.

Предпочтительно компрессор газовой турбины является многоступенчатым

компрессором, содержащим промежуточную систему охлаждения впрыском воды для уменьшения потребления мощности компрессором и для увеличения влажности потока сжатого отходящего газа. В представленном цикле генерирования электроэнергии впрыск воды способствует регулированию образования окисей азота в камере сгорания для сингаза и усиливает газификацию в газогенераторе.

Согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения третью часть сжатого отходящего газа подают из выхода газокompрессорной системы на стадию конденсации диоксида углерода. Если отходящий газ сжат, например, до около 55 атмосфер, то есть давления, соответствующего рабочему давлению газогенератора, диоксид углерода в отходящем газе может конденсироваться просто посредством охлаждения газа до относительно высокой температуры, например, до около 15°C. Таким образом, в представленном комбинированном цикле стадия конденсации диоксида углерода может не требовать отдельных компрессоров для извлечения CO₂.

Для исключения формирования льда вода извлекается из отходящего газа на стадии конденсации диоксида углерода до окончательной конденсации диоксида углерода. Посредством извлечения диоксида углерода из отходящего газа создается вентиляционный поток, содержащий главным образом чистый кислород. Таким образом, стадия конденсации CO₂ создает отдельные потоки конденсированного диоксида углерода и воды, и остальной поток содержит главным образом кислород. Полученный сжиженный CO₂ может быть секвестрирован или использован для различных целей. Вентиляционный поток, содержащий главным образом чистый кислород, предпочтительно подают в воздухоразделительную установку, то есть в источник свежего чистого кислорода для повышения его эффективности. В некоторых вариантах осуществления может быть предпочтительно подавать вентиляционный поток непосредственно в камеру сгорания для сингаза для снижения потребности в ней в свежем чистом кислороде.

Согласно другому предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения система содержит котел, работающий на сжигании полукокса. В котле, работающем на сжигании полукокса, полукокс, накапливающийся как зольный остаток при работе газогенератора, а также накапливающийся как летучая зола в сепараторе частиц после газогенератора, может сгорать с чистым кислородом для производства пара. Котел, работающий на сжигании полукокса, обычно генерирует перегретый пар для генерирования электроэнергии при помощи паровой турбины. Котлом, работающим на сжигании полукокса, предпочтительно является котел с псевдооживленным слоем с циркуляцией воздуха (ACFB). Таким образом, требуется снижение давления потоков с зольными остатками, подаваемых из газогенератора под давлением и сепаратора частиц, при помощи блока снижения давления до подачи в котел, работающий на сжигании полукокса.

Система генерирования электроэнергии, соответствующая настоящему изобретению, предпочтительно содержит средство для подачи части отходящего газа, выходящего из газовой турбины, в котел, работающий на сжигании полукокса, причем такое средство для подачи может включать канал, трубопровод и т.п. Вследствие наличия CO₂ и воды в отходящем газе отходящий газ, подаваемый в котел, работающий на сжигании полукокса, регулирует рабочую температуру котла, работающего на сжигании полукокса. С другой стороны, избыточный кислород в отходящем газе уменьшает потребность в свежем чистом кислороде в котле, работающем на сжигании полукокса. Котел, работающий на сжигании полукокса, производит топочные газы, которые можно очищать газоочистителями или обычными средствами при охлаждении охладителем до температуры около 65°C и с подачей при помощи вытяжного вентилятора в газокompрессорную систему.

В некоторых вариантах осуществления может быть предпочтительно подавать часть отходящего газа, выходящего из газовой турбины, через парогенератор для регенерации тепла (HRSG) в газокompрессорную систему. Распределение расширенного отходящего газа между парогенератором для регенерации тепла и котлом, работающим на сжигании полукокса, может меняться в зависимости от режима работы системы. Обычно расширенный отходящий газ подают только или в парогенератор для регенерации тепла

или в котел, работающий на сжигании полукокса. Система может также содержать только средство для подачи расширенных отходящих газов из газовой турбины к котлу, работающему на сжигании полукокса, или средство для подачи расширенных отходящих газов из газовой турбины в парогенератор для регенерации тепла.

5 На чертеже изображена - схема технологического процесса, показывающая систему генерирования электроэнергии, основанную на гибридном цикле газификации угля в соответствии с изобретением.

Каждый из элементов, показанных в схеме, отдельно хорошо известен. Таким образом, детали этих элементов здесь не будут подробно описаны.

10 Описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения

Система, например электростанция 10, с гибридным циклом, показанная на фиг.1, представляет собой предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения. Система включает газогенератор 12 для частичной газификации, предпочтительно являющийся газогенератором с циркулирующим под давлением псевдооживленным слоем, охладитель 14 сингаза и сепаратор 16 частиц. Предпочтительно сепаратор 16 частиц
15 представляет собой барьерный фильтр из пористого металла. Потоки твердого топлива, такого как уголь 18, и чистого кислорода 20 подают в газогенератор 12 для преобразования в нем в поток сингаза 22 и твердый остаток, содержащий полукокс. Предпочтительно газогенератор 12 работает под повышенным давлением, в типичном
20 случае, под давлением, составляющим до около 55 атмосфер, но давление может быть меньше или даже больше 55 атмосфер.

Когда составляющие, подаваемые в газогенератор, вступают в реакцию, производится горячий сингаз. Обычно сингаз содержит угарный газ (CO) и водород (H₂). В

газогенераторе с циркулирующим псевдооживленным слоем сингаз несет часть твердых
25 остатков псевдооживленного слоя вертикально вверх через реактор и в циклон рециркуляции (не показан). Твердые частицы, захваченные из псевдооживленного слоя и содержащиеся в сингазе, накапливаются в циклоне и возвращаются по каналу (не показан) назад в плотный слой в нижней части газогенератора. Эта цепь рециркуляции горячих твердых частиц действует как тепловой маховик и способствует эффективной химической
30 реакции твердых частиц и газа. Если требуется, в газогенератор 12 с циркулирующим псевдооживленным слоем может быть добавлен песок для поддержания запаса слоя и для ускорения процесса газификации.

Поток 20 чистого кислорода поступает из источника 24 кислорода, который предпочтительно является криогенной воздухоразделительной установкой (ASU), в которой
35 поступающий поток 26 воздуха преобразуется в отдельные потоки азота (N₂) 28 и кислорода (O₂) 30. Предпочтительно воздухоразделительная установка 24 производит отдельные потоки кислорода 30 высокого давления и кислорода 32 с давлением, близким к давлению окружающей среды, для использования, соответственно, в процессах под повышенным давлением и под атмосферным давлением. В некоторых вариантах
40 осуществления настоящего изобретения источник 24 кислорода может быть источником какого-либо другого типа, отличного от криогенного сепаратора, таким как сепаратор, основанный на адсорбции при колебаниях давления или мембранной сепарации. Источником кислорода также может быть просто комплект резервуаров с жидким кислородом, которые регулярно пополняются из внешнего источника.

45 Предпочтительно поток 34 из компрессора 36 (описан ниже) газовой турбины, содержащий CO₂, O₂ и пар, также впрыскивается в газогенератор 12 для подачи составляющих для реакций газификации и для регулирования температуры процесса. Можно смешивать поток 34 из компрессора 36 газовой турбины и поток 20 чистого кислорода перед подачей в газогенератор 12. Рабочая температура в газогенераторе 12 в
50 типичном случае колеблется от около 900°C до около 1100°C в зависимости от типа топлива.

После выхода из циклона рециркуляции сингаз в типичном случае проходит через охладитель 14 сингаза огнетрубного типа в сепаратор 16 частиц, такой как барьерный

(свечевой) фильтр из пористого металла, который очищает сингаз от частиц веществ. Если необходимо, сингаз можно дополнительно очищать в ходе стадии очистки холодного газа (не показана) с использованием газоочистителей или другого обычного оборудования для очистки сингаза. Надлежащий тип оборудования для очистки сингаза зависит от
5 нескольких известных факторов, включающих тип и качество топлива, используемого в газогенераторе 12.

Поток 38 летучей золы, накопленной сепаратором 16 частиц, и/или поток 40 зольного остатка, извлеченного из газогенератора 12 с циркулирующим псевдоожиженным слоем, предпочтительно, поступает в устройство 42 снижения давления и направляется в котел
10 44, работающий на сжигании полукокса, где полукокс, содержащийся в золах, сгорает для образования пара для паровой турбины (не показана). Котел 44, работающий на сжигании полукокса, предпочтительно, является котлом с псевдоожиженным слоем с циркуляцией воздуха под атмосферным давлением, но он может быть также котлом какого-либо другого типа, таким как котел, работающий на сгорании суспензии.

Поток 46 очищенного сингаза подают в камеру 48 сгорания для газа для сжигания в ней для получения горячих газов, которые расширяются в газовой турбине 50 для
15 генерирования электроэнергии генератором 52. В представленной системе предпочтительно перед газовой турбиной 50 не осуществляется преобразование водяным газом или извлечение CO_2 из сингаза. Поэтому исключаются потери эффективности цикла и мощности газовой турбины, связанные с этими стадиями.

Сингаз сгорает в камере 48 сгорания с чистым кислородом 54, подаваемым из воздуходелительной установки 24. Предпочтительно в камеру 48 сгорания поступает поток сжатого газа 56 из компрессора 36 газовой турбины. Сжатый газ 56 содержит CO_2 и пар, что снижает температуру реакции сгорания и, таким образом, ограничивает
25 количество производимых окисей азота (NO_x). Сжатый газ 56 содержит также некоторое количество кислорода, которое уменьшает потребность в свежем чистом кислороде из воздуходелительной установки 24. Кроме того, увеличенное количество газа в камере сгорания обеспечивает более эффективное расширение газа и, следовательно, более эффективное генерирование мощности в газовой турбине 50. В некоторых вариантах в
30 камеру 48 сгорания для газа также может подаваться (не показано) поток, богатый O_2 , из установки 58 для конденсации CO_2 (описано ниже).

Отходящий газ 60 из газовой турбины является смесью главным образом CO_2 , пара и кислорода, причем содержание кислорода в типичном случае составляет около 3 об.%. Согласно настоящему изобретению этот неиспользованный кислород может
35 использоваться в газогенераторе 12, камере 48 сгорания для газа и котле 44, работающем на сжигании полукокса. Соответственно, поток отходящего газа 60 из газовой турбины 50 предпочтительно направляют в котел 44, работающий на сжигании полукокса.

В котле 44, работающем на сжигании полукокса, полукокс, извлекаемый из газогенератора 12 и/или сепаратора 16 частиц, и при снижении давления в устройстве 42
40 для снижения давления сжигают с использованием потока чистого кислорода 62, производимого в воздуходелительной установке 24, в качестве основного окислителя. Поток горячего отходящего газа 60 из газовой турбины 50 дает дополнительный кислород для сгорания полукокса. Благодаря высокому содержанию CO_2 отходящий газ регулирует температуру котла 44, работающего на сжигании полукокса. Предпочтительно котел 44,
45 работающий на сжигании полукокса, производит перегретый пар, который используется для приведения в действие паровой турбины (не показана) для генерирования мощности.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения газогенератор 12 работает с преобразованием углерода, составляющего от около 60% до около 80% с битумным углем и близкого к 95% с полубитумным углем. Например, при подаче в качестве
50 топлива угля Illinois #6 приблизительно 20-40% углерода угля будет оказываться в полукоксовом остатке, сжигаемом в котле 44, работающем на сжигании полукокса. Когда необходимо, в котел 44, работающий на сжигании полукокса, можно также подавать поток дополнительного твердого топлива, такого как уголь 64.

Предпочтительно в котел 44, работающий на сжигании полукокса, также подают известняк, аммиак и/или мочевины для регулирования производства диоксида серы (SO_2) и NO_x . Известняк обычно секвестрирует SO_2 посредством захвата его с получением сульфата кальция (CaSO_4). Аммиак и/или мочевина, с другой стороны, химически
5 восстанавливают NO_x с получением газообразного азота (N_2) и воды. Зольный остаток 66 предпочтительно извлекают из котла 44, работающего на сжигании полукокса, и удаляют из системы на мусорную свалку и т.п.

Отходящие газы из котла 44, работающего на сжигании полукокса, предпочтительно направляют через пылесборник 68, такой как пылеуловительная камера с рукавными
10 фильтрами, и охладитель 70. Пылеуловительная камера 68 с рукавными фильтрами, которая содержит серию фильтров, извлекает большую часть летучей золы, содержащейся в отходящих газах. Отходящий газ охлаждается в охладителе 70 до низкой температуры, например, составляющей 30°C . В охладителе 70 часть воды может конденсироваться и
15 извлекаться из отходящих газов. После охлаждения газ предпочтительно проходит через вытяжной вентилятор 72 перед подачей в компрессор 36 газовой турбины.

Отходящий газ 60 из газовой турбины 50 или его часть также может быть направлен в парогенератор 74 для регенерации тепла (HRSG), где производится перегретый пар для
приведения в действие паровой турбины (не показана) посредством извлечения тепла из горячего отходящего газа. При необходимости часть очищенного сингаза 46 можно
20 подавать (не показано) в парогенератор 74 для регенерации тепла и сжигать в нем для увеличения запаса энергии отходящего газа. Отходящий газ из парогенератора 74 для регенерации тепла наконец охлаждается в газоохладителе 76 до низкой температуры, например, составляющей около 30°C . На этой стадии охлаждения часть водяного пара, содержащегося в отходящем газе, удаляют из системы. Охлажденный отходящий газ затем
25 подают в компрессор 36 газовой турбины.

Предпочтительно компрессор 36 газовой турбины является многоступенчатым компрессором с промежуточным охлаждением посредством впрыска 78 воды. Впрыск 78
воды уменьшает потребность в мощности для сжатия и увеличивает влажность сжатого отходящего газа. Когда сжатый отходящий газ подают в газогенератор 12 и в камеру 48
30 сгорания для газа, повышенное содержание пара в сжатом газе усиливает газификацию в газогенераторе 12 и способствует регулированию образования NO_x в камере 48 сгорания для газа.

Сжатый отходящий газ, содержащий CO_2 , O_2 и пар, предпочтительно, разделяют на три части. Большую часть газа нагнетают в камеру 48 сгорания для газа, и он
35 расширяется в газовой турбине 50. Оставшаяся часть сжатого отходящего газа может быть дополнительно сжата последним компрессором 80 (поджимающим компрессором) перед разделением на часть, подаваемую в газогенератор 12, и часть, подаваемую в процесс 58 конденсации CO_2 .

Предпочтительно сжатый газ, подаваемый в процесс 58 конденсации CO_2 , сначала
40 охлаждают в теплообменнике 82 посредством передачи тепла холодным потокам O_2 30, 32, выпускаемым из воздухоразделительной установки 24. Сжатый газ дополнительно охлаждают в охладителе 84 сначала для извлечения воды из отходящего газа и затем для сжижения CO_2 , содержащегося в отходящем газе. Поскольку CO_2 находится под высоким давлением, температура, требуемая для сжижения CO_2 , довольно высока, например,
45 около 16°C при давлении 57 атм. Стадия 58 конденсации CO_2 создает поток 86 конденсированного CO_2 , который предпочтительно подвергается дополнительному сжатию насосом 88 и направляется по трубопроводу 90 для CO_2 для утилизации или дальнейшего использования.

После стадии конденсации CO_2 оставшийся отходящий газ представляет собой поток
50 холодного газа 92, содержащего главным образом кислород. Поток холодного газа 92 предпочтительно направляют в воздухоразделительную установку 24 для уменьшения нагрузки по производству O_2 для экономии мощности и для снабжения хладагентом воздухоразделительной установки. В альтернативном варианте богатый O_2 газ 92 может

подаваться (не показано) в камеру 48 сгорания для газа, что, таким образом, дополнительно снижает потребность в ней в свежем чистом кислороде.

Диоксид серы (SO_2), существующий в сжатом отходящем газе, поступающем, например, из котла 44, работающего на сжигании полукокса, может конденсироваться на этапе 58 конденсации CO_2 совместно с CO_2 . Таким образом, особенно когда удаляют в отходы производимый сжиженный CO_2 , можно исключить отдельное оборудование для захвата серы из гибридного цикла газификации.

Описанная выше система обеспечивает эффективное и экономичное использование широкого диапазона относительно недорогих углей при одновременном снижении вредного влияния CO_2 на внешнюю среду. Преимущества включают способность изолировать CO_2 без необходимости в дорогостоящем энергоемком преобразовании, химической/физической абсорбции и/или отгонки. Например, ожидаемые затраты на извлечение CO_2 с использованием установки, соответствующей настоящему изобретению, составляют менее 10 долларов США за тонну, в отличие от обычных установок, с использованием которых затраты могут колебаться от 30 долларов США за тонну для электростанции на угольной пыли до 15 долларов США за тонну для обычной электростанции с продувкой кислородом и интегрированной внутрицикловой газификацией.

Другие преимущества описанной выше системы (электростанции) включают (I) минимизацию общего потребления кислорода за счет рециркуляции избыточного кислорода, содержащегося в отходящих газах, (II) исключение потребности в большом количестве пара, необходимом на обычных электростанциях с интегрированной внутрицикловой газификацией для поддержания реакции преобразования водой, и (III) уменьшение потребности в мощности для извлекающего CO_2 компрессора посредством обеспечения доступности CO_2 при давлении на выходе газового компрессора или посредством устранения также необходимости в отдельном компрессоре для извлечения CO_2 , который в типичном случае используется на обычных электростанциях с интегрированной внутрицикловой газификацией.

Таким образом, система, соответствующая настоящему изобретению, будет обеспечивать систему для генерирования электроэнергии с более простыми, более надежными и менее дорогими средствами для устранения выбросов CO_2 электростанции на угольном топливе и будет значительно уменьшать потери эффективности работы электростанции, связанные с обычными технологиями извлечения CO_2 из отходящего газа и подготовки его к передаче в пункт изоляции от внешней среды.

Приведенные выше примеры являются типичными предпочтительными вариантами осуществления настоящего изобретения. Однако, как будет понятно специалистам в данной области техники, многие из описанных выше элементов настоящего изобретения, например, таких как подсистемы газогенератора и получения полукокса, могут иметь другие формы в зависимости от потребностей электростанции. Кроме того, хотя описанное выше устройство элементов представляет собой в данный момент предпочтительную конфигурацию, следует понимать, что различные элементы системы могут быть перегруппированы и/или использованы в других комбинациях друг с другом в зависимости от различных конструктивных соображений.

Формула изобретения

1. Система генерирования электроэнергии, содержащая:
источник свежего чистого кислорода (O_2),
газогенератор, имеющий вход для твердого топлива и вход для свежего чистого кислорода, работающий под повышенным давлением P_1 для преобразования твердого топлива в сингаз, содержащий угарный газ (CO) и водород (H_2), и твердый остаток,
содержащий полукокс,
сепаратор частиц, расположенный с сообщением по потоку с газогенератором, для отделения частиц полукокса от сингаза, выходящего из газогенератора,
камеру сгорания для сингаза, имеющую вход для свежего чистого кислорода (O_2) и

вход для сингаза, выходящего из сепаратора частиц, для сжигания сингаза с получением отходящего газа, содержащего диоксид углерода (CO_2), воду и избыточный кислород, газовую турбину, расположенную с сообщением по потоку с камерой сгорания для сингаза, для расширения отходящего газа для генерирования электроэнергии при помощи

5 генератора, соединенного с газовой турбиной, и выпуска расширенного отходящего газа через выпускное отверстие газовой турбины,

парогенератор, расположенный с сообщением по потоку с выходом газовой турбины, содержащий выходное отверстие для выпуска отработавшего отходящего газа, и

10 газокompрессорную систему, имеющую вход, сообщающийся по потоку с выходом парогенератора, и выход для выпуска потока сжатого отходящего газа,

отличающаяся тем, что она содержит средство для подачи первой части потока сжатого отходящего газа в газогенератор для регулирования температуры в газогенераторе для получения CO_2 и пара для газификации и для уменьшения потребности в свежем чистом кислороде.

15 2. Система по п.1, отличающаяся тем, что она содержит средство для подачи второй части потока сжатого отходящего газа в камеру сгорания для сингаза для регулирования температуры камеры сгорания для сингаза для уменьшения потребности в ней в свежем чистом кислороде.

3. Система по п.2, отличающаяся тем, что газокompрессорная система содержит 20 компрессор газовой турбины, соединенный с валом газовой турбины, и поджимающий компрессор, дополнительно сжимающий отходящий газ до давления, составляющего, по меньшей мере, давление P_1 в газогенераторе, причем средство для подачи второй части потока сжатого отходящего газа в камеру сгорания для сингаза соединено с выходом компрессора газовой турбины.

25 4. Система по п.3, отличающаяся тем, что компрессор газовой турбины содержит промежуточную систему впрыска воды, которая уменьшает потребность в мощности газокompрессорной системы и увлажняет поток сжатого отходящего газа, таким образом, обеспечивая регулирование производства NO_x в камере сгорания для сингаза и усиление газификации в газогенераторе.

30 5. Система по п.1, отличающаяся тем, что она выполнена с возможностью конденсации диоксида углерода с сообщением по потоку с выходом газокompрессорной системы для создания потока конденсированного CO_2 и остаточного потока, содержащего главным образом O_2 .

6. Система по п.5, отличающаяся тем, что источник свежего чистого кислорода 35 содержит криогенный воздушный сепаратор, при этом система содержит средство для подачи потока, содержащего главным образом O_2 , от конденсации диоксида углерода в криогенный воздушный сепаратор.

7. Система по п.1, отличающаяся тем, что она содержит котел, работающий на сжигание полуккокса, имеющий вход для свежего чистого кислорода и вход для полуккокса, 40 выходящего из, по меньшей мере, или газогенератора, или сепаратора частиц, для сжигания полуккокса для производства пара для генерирования мощности и топчного газа, подаваемого на вход газокompрессорной системы.

8. Система по п.7, отличающаяся тем, что котел, работающий на сжигании полуккокса, является котлом с циркулирующим псевдооживленным слоем при атмосферном давлении.

45 9. Система по п.7, отличающаяся тем, что парогенератор содержит котел, работающий на сжигании полуккокса.

10. Система по п.1, отличающаяся тем, что парогенератор содержит парогенератор для регенерации тепла.

50 11. Система по п.1, отличающаяся тем, что газогенератор является газогенератором с циркулирующим под давлением псевдооживленным слоем.

12. Система по п.1, отличающаяся тем, что сепаратор частиц содержит, по меньшей мере, один металлический свечевой фильтр.

13. Способ генерирования электроэнергии, содержащий следующие стадии:

(a) подачу свежего чистого кислорода из источника кислорода,
 (b) подачу твердого топлива и свежего чистого кислорода в газогенератор и преобразование твердого топлива в сингаз, содержащий угарный газ (CO) и водород (H₂), и твердый остаток, содержащий полукокс,

5 (c) подачу сингаза, выходящего из газогенератора, в сепаратор частиц и отделение частиц полукокса от сингаза в сепараторе частиц,

(d) сжигание сингаза, выпускаемого из сепаратора частиц, со свежим чистым кислородом в камере сгорания для сингаза с получением отходящего газа, содержащего диоксид углерода (CO₂), воду и избыточный кислород,

10 (e) расширение отходящего газа в газовой турбине, расположенной с сообщением по потоку с камерой сгорания для сингаза, генерирование электроэнергии при помощи генератора, соединенного с газовой турбиной, и выпуск расширенного отходящего газа через выпускное отверстие газовой турбины,

(f) подачу расширенного отходящего газа из газовой турбины в парогенератор и выпуск 15 отработавшего отходящего газа из выпускного отверстия парогенератора,

(g) подачу отработавшего отходящего газа из парогенератора на вход газокompрессорной системы и получение потока сжатого отходящего газа в газокompрессорной системе, отличающийся тем, что дополнительно включает:

(h) подачу первой части потока сжатого отходящего газа в газогенератор для 20 регулирования температуры в газогенераторе для получения CO₂ и пара для газификации и для уменьшения потребности в нем в свежем чистом кислороде.

14. Способ по п.13, отличающийся тем, что дополнительно включает:

(i) подачу второй части потока сжатого отходящего газа в камеру сгорания для сингаза для регулирования температуры в камере сгорания для сингаза и для снижения 25 потребности в ней в свежем чистом кислороде.

15. Способ по п.14, отличающийся тем, что на стадии (g) отработавший отходящий газ сначала сжимают в компрессоре газовой турбины, соединенном с валом газовой турбины, до давления P₂ и затем в поджимающем компрессоре до давления, составляющего, по меньшей мере, давление P₁ в газогенераторе, и на стадии (i) сжатый отходящий газ 30 подают из камеры сгорания газовой турбины под давлением P₂ в камеру сгорания для сингаза.

16. Способ по п.15, отличающийся тем, что дополнительно включает:

(j) впрыск воды в отходящий газ между ступенями компрессора газовой турбины для уменьшения потребности в мощности для сжатия и для увлажнения потока сжатого 35 отходящего газа для обеспечения регулирования производства NO_x в камере сгорания для сингаза и усиления газификации в газогенераторе.

17. Способ по п.13, отличающийся тем, что дополнительно включает:

(k) подачу третьей части потока сжатого отходящего газа на стадию конденсации диоксида углерода и получения потока конденсированного диоксида углерода и 40 остаточного потока, содержащего главным образом кислород.

18. Способ по п.13, отличающийся тем, что источником кислорода является криогенный воздушный сепаратор, причем способ дополнительно включает:

(l) подачу потока, содержащего главным образом кислород, от операции конденсации диоксида углерода в источник кислорода.

45 19. Способ по п.13, отличающийся тем, что дополнительно включает:

(m) производство пара для генерирования мощности и топочного газа в котле, работающем на сжигании полукокса, при помощи сжигания полукокса, поступающего, по 50 меньшей мере, или из газогенератора, или из сепаратора частиц, со свежим чистым кислородом, и подачу топочного газа на вход газокompрессорной системы.

20. Способ по п.19, отличающийся тем, что на стадии (f) парогенератор содержит котел, работающий на сжигании полукокса.

21. Способ по п.13, отличающийся тем, что на стадии (f) парогенератор содержит парогенератор для регенерации тепла.