



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F02C 3/00 (2025.01); F28B 5/00 (2025.01); F28B 7/00 (2025.01); B01D 5/00 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2024119381, 11.07.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.07.2024Дата регистрации:  
25.03.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.07.2024

(45) Опубликовано: 25.03.2025 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

125412, Москва, ул. Ижорская, 13, стр. 2,  
ФГБУН ОИВТ РАН, Сектор  
интеллектуальной собственности и инноваций,  
Ключенович Е.А.

(72) Автор(ы):

Косой Анатолий Александрович (RU),  
Крысов Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

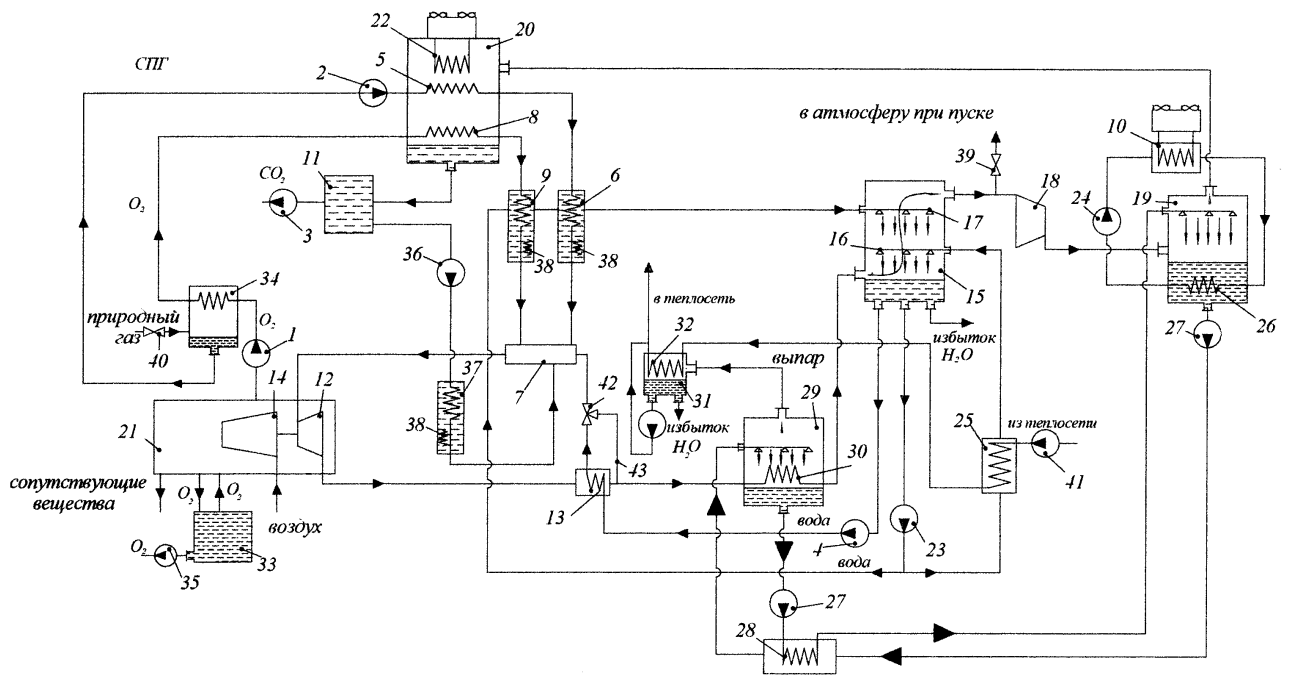
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Объединенный институт  
высоких температур Российской академии  
наук (ОИВТ РАН) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2805401 C1, 16.10.2023. RU  
2759793 C1, 17.11.2021. RU 2698865 C1,  
30.08.2019.

(54) Энергетическая установка и способ ее работы

(57) Реферат:

Изобретение относится к области теплоэнергетики. Энергетическая установка состоит из линий подачи сжиженных кислорода, природного газа и диоксида углерода, а также воды в камеру (7) сгорания, соединенную с по меньшей мере одной парогазовой турбиной (12), выход которой соединен с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, включающей рекуперативный охладитель (13) отработанных газов, выполненный с возможностью подогрева воды, подающейся насосом (4) воды в камеру (7) сгорания из контактного теплообменника (15) низкого давления по линии подачи воды, контактный теплообменник (15) низкого давления, компрессор (18), контактный теплообменник (19) высокого давления и устройство (20) ожижения диоксида углерода. Линия подачи сжиженного диоксида углерода в камеру (7) сгорания включает блок (11) хранения диоксида углерода, соединенный с устройством (20) ожижения диоксида углерода, насос (36) диоксида углерода и теплообменник (37)

подогрева пускового диоксида углерода, линия подачи воды в камеру (7) сгорания дополнительно включает клапан (42) перепуска воды, установленный ниже по потоку рекуперативного охладителя (13) отработанных газов и соединенный трассой (43) перепуска с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, которая включает клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу, при этом теплообменники (6, 9) подогрева природного газа и кислорода, установленные в линиях подачи сжиженных природного газа и кислорода, а также теплообменник (37) подогрева пускового диоксида углерода включают нагревательные элементы (38). Также раскрыт способ работы энергетической установки. Технический результат заключается в повышении надежности установки за счет повышения равномерности прогрева систем установки перед выводом ее на номинальный режим работы. 2 н. и 10 з.п. ф-лы, 1 ил.





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*F02C 3/00* (2006.01)  
*F28B 5/00* (2006.01)  
*F28B 7/00* (2006.01)  
*B01D 5/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*F02C 3/00 (2025.01); F28B 5/00 (2025.01); F28B 7/00 (2025.01); B01D 5/00 (2025.01)*(21)(22) Application: **2024119381, 11.07.2024**(24) Effective date for property rights:  
**11.07.2024**Registration date:  
**25.03.2025**

Priority:

(22) Date of filing: **11.07.2024**(45) Date of publication: **25.03.2025** Bull. № 9

Mail address:

**125412, Moskva, ul. Izhorskaya, 13, str. 2, FGBUN  
OIVT RAN, Sektor intellektualnoj sobstvennosti  
i innovatsij, Klyuchenovich E.A.**

(72) Inventor(s):

**Kosoj Anatolij Aleksandrovich (RU),  
Krysov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki Obedinennyj institut  
vysokikh temperatur Rossijskoj akademii nauk  
(OIVT RAN) (RU)**(54) **POWER PLANT AND METHOD OF ITS OPERATION**

(57) Abstract:

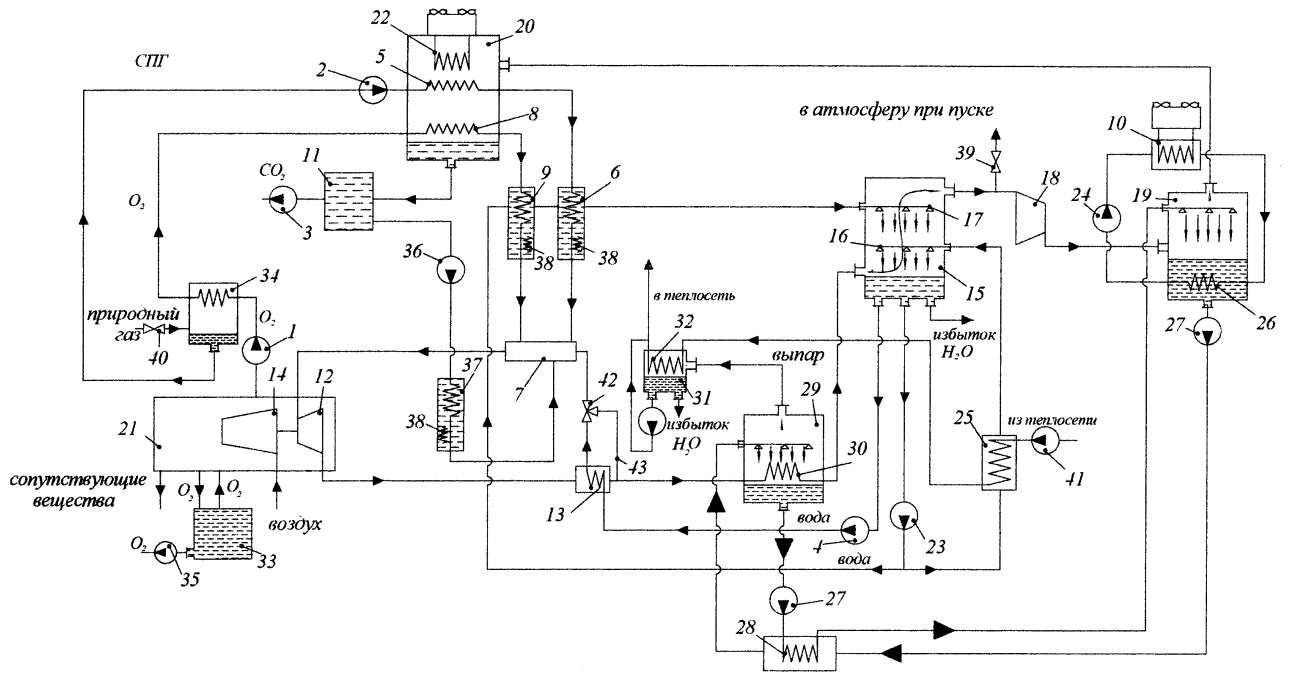
FIELD: heat power engineering.

SUBSTANCE: power plant consists of liquefied oxygen, natural gas and carbon dioxide supply lines, as well as water to combustion chamber (7) connected to at least one steam-gas turbine (12), outlet of which is connected to exhaust gas cooling and condensation line, which includes recuperative cooler (13) of exhaust gases, made with possibility of heating water supplied by water pump (4) to combustion chamber (7) from contact heat exchanger (15) of low pressure through water supply line, contact heat exchanger (15) of low pressure, compressor (18), high-pressure contact heat exchanger (19) and carbon dioxide liquefaction device (20). Liquefied carbon dioxide supply line to combustion chamber (7) includes carbon dioxide storage unit (11) connected to carbon dioxide liquefaction device (20), carbon dioxide pump (36) and starting

carbon dioxide heating heat exchanger (37), water supply line to combustion chamber (7) additionally includes water bypass valve (42) installed downstream of recuperative exhaust gas cooler (13) and connected by bypass route (43) to exhaust gas cooling and condensation line, which includes exhaust gas discharge valve (39), wherein natural gas and oxygen heating heat exchangers (6, 9), installed in liquefied natural gas and oxygen supply lines, as well as heat exchanger (37) for heating starting carbon dioxide include heating elements (38). Also disclosed is a method of operating a power plant.

EFFECT: increased reliability of the installation due to increased uniformity of heating systems of the installation before bringing it to the nominal operating mode.

12 cl, 1 dwg



Изобретение относится к области теплоэнергетики, в частности к теплофикационным парогазовым установкам и предназначено для централизованного теплоснабжения с генерацией электрической энергии на собственные нужды и отпуском в жидкой фазе кислорода и диоксида углерода внешним потребителям.

5 Известен способ работы теплосиловой паровой установки (патент РФ №2812135, опубл. 23.01.2024), в котором топливо сжигается в потоке воздуха в камере сгорания. Горячий газ из камеры сгорания в котле греет рабочее тело парового цикла Ренкина. Рабочее тело парового цикла - углекислый газ. Конденсация углекислого газа за паровой турбиной осуществляется в конденсаторе охлаждением водой, которая после  
10 конденсатора поступает в воздушный теплообменник-испаритель где охлаждается льдом и с помощью теплового парокомпрессионного насоса, передавая тепло потребителю тепла. Выхлопные газы после котла дополнительно охлаждаются водой из воздушного теплообменника-испарителя, после чего выбрасываются в атмосферу. К недостаткам данного способа следует отнести низкий уровень температур  
15 теплоносителя, передаваемый потребителям тепла (65-70 и 85-90°C), да и этот уровень температур достигается неэффективной работой теплового насоса, т.к. слишком большой подъем температур от ~0 до 65-70 или 85-90°C (низкий коэффициент преобразования). Установка также выбрасывает в атмосферу парниковый газ CO<sub>2</sub> - результат химической реакции углеводородного топлива и кислорода воздуха в камере  
20 сгорания котла.

Известна установка для выработки тепловой и механической энергии и способ ее работы, выбранная в качестве наиболее близкого аналога (патент РФ №2805401, опубл. 16.10.2023), состоящая из линий подачи сжиженных кислорода, природного газа и воды  
25 в камеру сгорания, соединенную с по меньшей мере одной парогазовой турбиной, выход которой соединен с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, включающей рекуперативный охладитель отработанных газов, выполненный с возможностью подогрева воды, поступающей в камеру сгорания, контактный теплообменник низкого давления, компрессор, контактный теплообменник высокого  
30 давления и устройство ожижения диоксида углерода. В камеру сгорания подают сжиженные СПГ и кислород, а также воду из контактного теплообменника низкого давления. Газы из камеры сгорания подают на парогазовую турбину, после которой отработанные газы поступают в линию охлаждения и конденсации отработанных газов (ОГ), где их ступенчатого охлаждают в рекуперативном охладителе, в контактных теплообменниках низкого и высокого давления до температур конденсации воды и  
35 далее в устройстве ожижения диоксида углерода до температуры конденсации диоксида углерода. Сконденсированную воду из контактного теплообменника низкого давления направляют к по меньшей мере одной секции подачи воды этого же контактного теплообменника через подогреватель сетевой воды.

К недостаткам наиболее близкого аналога можно отнести снижение надежности  
40 установки за счет быстрого перехода на номинальный режим работы с высокой температурой сгорания.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является устранение указанных недостатков наиболее близкого аналога.

Технический результат заключается в повышении надежности установки за счет  
45 повышения равномерности прогрева систем установки перед выводом ее на номинальный режим работы.

Технический результат достигается энергетической установкой, состоящей из линий подачи сжиженных кислорода, природного газа и диоксида углерода, а также воды в

камеру сгорания, соединенную с по меньшей мере одной парогазовой турбиной, выход которой соединен с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, включающей рекуперативный охладитель отработанных газов, выполненный с возможностью подогрева воды, подающейся насосом воды в камеру сгорания из контактного теплообменника низкого давления по линии подачи воды, контактный теплообменник низкого давления, компрессор, контактный теплообменник высокого давления и устройство ожижения диоксида углерода, один из выходов для сконденсированной воды контактного теплообменника низкого давления соединен с контуром низкого давления, выполненным с возможностью подачи воды циркуляционным насосом воды через теплообменники подогрева природного газа и кислорода к по меньшей мере одной секции подачи охлаждающей воды контактного теплообменника низкого давления, при этом линия подачи сжиженного диоксида углерода в камеру сгорания включает блок хранения диоксида углерода, соединенный с устройством ожижения диоксида углерода, насос диоксида углерода и теплообменник подогрева пускового диоксида углерода, линия подачи воды в камеру сгорания дополнительно включает клапан перепуска воды, установленный ниже по потоку рекуперативного охладителя отработанных газов и соединенный трассой перепуска с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, которая включает клапан сброса выхлопных газов в атмосферу, при этом теплообменники подогрева природного газа и кислорода, установленные в линиях подачи сжиженных природного газа и кислорода, а также теплообменник подогрева пускового диоксида углерода включают нагревательные элементы.

Дополнительно линия охлаждения и конденсации отработанных газов включает теплообменный аппарат, расположенный перед контактным теплообменником низкого давления и встроенный в выпарной аппарат, выход для воды которого соединен с по меньшей мере одной секцией подачи воды в контактный теплообменник высокого давления через теплообменник охлаждающей воды контактного теплообменника высокого давления, при этом выход для воды контактного теплообменника высокого давления соединен со входом для охлаждающей воды выпарного аппарата через по меньшей мере один питательный насос и теплообменник охлаждающей воды контактного теплообменника высокого давления, выход для пара выпарного аппарата соединен с конденсатором, имеющим поверхностный теплообменник для подогрева сетевой воды, выход которого соединен со входом в теплосеть, а вход - с выходом подогревателя сетевой воды, один из входов которого соединен с выходом из теплосети, а другой его вход соединен с выходом воды контактного теплообменника низкого давления, а другой выход - с по меньшей мере одной секцией подачи воды контактного теплообменника низкого давления через циркуляционный насос воды контура низкого давления.

Клапан сброса выхлопных газов в атмосферу установлен после контактного теплообменника низкого давления и перед контактным теплообменником высокого давления.

Теплообменники подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода выполнены с возможностью их нагрева нагревательными элементами через промежуточный теплоноситель.

Контактный теплообменник высокого давления дополнительно содержит поверхностный теплообменник охлаждения сконденсированной воды, соединенный с холодильной установкой, при этом указанная сконденсированная вода служит для охлаждения отработанных газов и циркулирует через контактный теплообменник

высокого давления и выпарной аппарат, и является раствором по меньшей мере одной гигроскопической соли одной из групп нитрата кальция, нитрата аммония, сульфата аммония, нитрата бария, перхлората бария, формиата калия, хлората натрия, нитрата натрия, нитрата калия, хлорида натрия, хлорида кальция, хлорида лития или их комбинации, а конденсатор включает по меньшей мере два выхода для сконденсированной воды, по меньшей мере один из которых соединен со входом в теплосеть через насос, а по меньшей мере один другой выход для сконденсированной воды служит для вывода избытков воды из установки.

Линия подачи сжиженного кислорода содержит установку криогенного разделения воздуха, по меньшей мере один компрессор которой приводится энергией, вырабатываемой с помощью по меньшей мере одной парогазовой турбины, при этом установка криогенного разделения воздуха дополнительно соединена с блоком накопления и хранения кислорода, при этом энергетическая установка выполнена с возможностью обеспечения передачи избытка воды из конденсатора и контактного теплообменника низкого давления, диоксида углерода и кислорода от блоков накопления и хранения диоксида углерода и кислорода, а также газов, полученных при сжижении кислорода в установке криогенного разделения воздуха, к внешнему потребителю.

Технический результат также достигается способом работы энергетической установки по любому из предыдущих пунктов, заключающийся в том, что при пуске включают циркуляционный насос контура низкого давления воды, нагревательные элементы для подогрева теплообменников подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода; открывают клапан сброса выхлопных газов в атмосферу; в линии подачи воды в камеру сгорания переключают клапан перепуска воды в положение перекрытия подачи воды в камеру сгорания и открытия направления воды в трассу перепуска и включают насос подачи воды из контактного теплообменника низкого давления; в камеру сгорания подают кислород в количестве, необходимом для розжига камеры сгорания, и подают диоксид углерода в количестве, необходимом для балластирования горячих газов при запуске; в камеру сгорания подают природный газ в количестве, необходимом для розжига камеры сгорания, с последующим увеличением расхода для прогрева систем; розжигают камеру сгорания.

Количество кислорода, природного газа и диоксида углерода, подаваемые в камеру сгорания, увеличивают до достижения газами, полученными от сгорания, рабочей температуры в течение заданного времени, необходимого для прогрева и раскрутки парогазовой турбины, и прогрева контактного теплообменника низкого давления.

Дополнительно включают питательные насосы для циркуляции воды через выпарной аппарат, теплообменник охлаждающей воды контактного теплообменника высокого давления и сам контактный теплообменник высокого давления.

По окончании заданного времени для прогрева отключают нагревательные элементы теплообменников подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода, закрывают клапан сброса выхлопных газов в атмосферу, запускают компрессор, переключают клапан перепуска воды в положение перекрытия направления воды в трассу перепуска и открытия направления воды в камеру сгорания и прекращают подачу диоксида углерода.

Далее включают холодильную установку и включают циркуляцию теплоносителя через поверхностный теплообменник контактного теплообменника высокого давления и холодильную установку, а также включают циркуляцию воды из тепловой сети через подогреватель сетевой воды и поверхностный теплообменник для подогрева сетевой

воды обратно в тепловую сеть.

На представленной фигуре показана принципиальная схема энергетической установки.

На фигуре представлены следующие обозначения:

1 - насос кислородный (O<sub>2</sub>);

5 2 - насос сжиженного природного газа (СПГ);

3 - насос диоксида углерода (CO<sub>2</sub>);

4 - насос воды (H<sub>2</sub>O);

5 - теплообменник-утилизатор холода СПГ;

10 6 - теплообменник для подогрева СПГ;

7 - камера сгорания;

8 - теплообменник-утилизатор холода кислорода;

9 - теплообменник для подогрева кислорода;

10 - установка холодильная воды контура высокого давления;

15 11 - блок накопления и хранения диоксида углерода;

12 - турбина парогазовая;

13 - охладитель отработанных газов рекуперативный линии подачи воды в камеру сгорания (7);

14 - компрессор установки криогенного разделения воздуха;

20 15 - теплообменник контактный низкого давления;

16 - первая секция подачи воды контактного теплообменника (15);

17 - вторая секция подачи воды контактного теплообменника (15);

18 - компрессор;

19 - теплообменник контактный высокого давления;

25 20 - устройство ожижения CO<sub>2</sub>;

21 - установка разделения воздуха криогенная (ВРУ);

22 - установка холодильная;

23 - насос циркуляционной воды контура низкого давления;

24 - насос циркуляционный;

30 25 - подогреватель сетевой воды;

26 - встроенный поверхностный теплообменник охлаждения сконденсированной воды контактного теплообменника (19) высокого давления;

27 - питательный насос охлаждающей воды контактного теплообменника (19) высокого давления;

35 28 - теплообменник охлаждающей воды контактного теплообменника (19) высокого давления

29 - выпарной аппарат;

30 - встроенный поверхностный теплообменный аппарат горячих газов;

31 - конденсатор;

40 32 - встроенный поверхностный теплообменник сетевой воды;

33 - блок накопления и хранения кислорода;

34 - установка ожижения природного газа;

35 - насос подачи кислорода к внешнему потребителю;

36 - насос диоксида углерода;

45 37 - теплообменник для подогрева пускового диоксида углерода;

38 - нагревательный элемент;

39 - клапан сброса выхлопных газов;

40 - задвижка природного газа от источника природного газа (магистральной, баллона,

цистерны или т.п.);

41 - насос тепловой сети;

42 - клапан перепуска воды в линии подачи воды в камеру (7) сгорания;

43 - трасса перепуска воды.

5 Стрелками показаны направления движения сред в установке.

Энергетическая установка состоит из камеры (7) сгорания, соединенной с источником (21) кислорода линией подачи кислорода, включающей теплообменник установки (34) ожижения природного газа, кислородный насос (1), теплообменник-утилизатор (8) холода кислорода, расположенный в устройстве (20) ожижения диоксида углерода, теплообменник (9) для подогрева кислорода. При этом, источником кислорода может  
10 являться установка (21) криогенного разделения воздуха, соединенная с блоком (33) накопления и хранения кислорода. Камера (7) сгорания также соединена с источником природного газа линией подачи природного газа, включающей задвижку (40) природного газа от источника природного газа, установку (34) ожижения природного  
15 газа, насос (2) сжиженного природного газа, теплообменник-утилизатор (5) холода СПГ и теплообменник (6) подогрева СПГ. Кроме того, камера (7) сгорания соединена с выходом для сконденсированной воды контактного теплообменника (15) низкого давления линией подачи воды, включающей насос (4) воды, рекуперативный охладитель (13) отработанных газов.

20 Один из выходов для сконденсированной воды контактного теплообменника (15) низкого давления соединен с контуром низкого давления, выполненным с возможностью подачи воды циркуляционным насосом (23) воды через теплообменники (6, 9) подогрева природного газа и кислорода к по меньшей мере одной секции (17) подачи охлаждающей воды контактного теплообменника (15) низкого давления.

25 Линия подачи сжиженного диоксида углерода в камеру (7) сгорания включает блок (11) хранения диоксида углерода, соединенный с устройством (20) ожижения диоксида углерода, насос (36) диоксида углерода и теплообменник (37) подогрева пускового диоксида углерода, что повышает надежность установки за счет использования в качестве балластного газа при пуске и прогреве установки диоксида углерода.

30 Линия подачи воды в камеру (7) сгорания дополнительно включает клапан (42) перепуска воды, установленный ниже по потоку рекуперативного охладителя (13) отработанных газов и соединенный трассой (43) перепуска с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, что повышает надежность установки за счет перепуска  
35 холодной воды в линию охлаждения и конденсации отработанных газов по меньшей мере часть которой возвращается в контактный теплообменник (15) низкого давления, нагреваясь от горячих газов в линии охлаждения и конденсации.

Также линия охлаждения и конденсации отработанных газов включает клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу, что повышает надежность установки за счет выпуска отработанных газов, содержащих большое количество воды в атмосферу.  
40 При этом клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу установлен после контактного теплообменника (15) низкого давления и перед контактным теплообменником (19), что дополнительно повышает надежность установки за счет выпуска отработанных газов, содержащих большое количество воды в атмосферу, исключая таким образом выход компрессора (18) из строя.

45 Каждый теплообменник (6, 9) подогрева природного газа и кислорода, установленные в линиях подачи сжиженных природного газа и кислорода, а также теплообменник (37) подогрева пускового диоксида углерода включает нагревательный элемент (38) для их подогрева во время пуска и прогрева, что повышает надежность установки за счет

повышения температуры сжиженных газов, подаваемых в камеру (7) сгорания. При этом подогрев теплообменников (6, 9 и 37) осуществляется нагревательным элементом (38) через промежуточный теплоноситель, в качестве которого может использоваться любой жидкий теплоноситель, например, вода, что дополнительно повышает надежность 5 установки за счет исключения прямого контакта нагревательного элемента (38) с теплообменниками (6, 9 и 37).

Выход камеры (7) сгорания соединен с по меньшей мере одной парогазовой турбиной (12), выработанная механическая энергия которой может передаваться по меньшей мере одному компрессору (14) установки (21) криогенного разделения воздуха и/или 10 генератору электрической энергии для обеспечения электрической энергией по меньшей мере собственных нужд заявленной энергетической установки. Кроме того, камера (7) сгорания может быть соединена с по меньшей мере одной другой парогазовой турбиной соединенной с генератором электрической энергии для обеспечения электрической энергией по меньшей мере собственных нужд заявленной энергетической установки.

Выход по меньшей мере одной парогазовой турбины (12) соединен с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, включающей рекуперативный охладитель (13) отработанных газов, выполненный с возможностью подогрева воды, поступающей в камеру (7) сгорания из контактного теплообменника (15) низкого 15 давления, контактный теплообменник (15) низкого давления, включающий по меньшей мере две секции (16, 17) подачи охлаждающей воды, компрессор (18), контактный теплообменник (19) высокого давления и устройство (20) ожижения диоксида углерода, выход диоксида углерода которого соединен с блоком (11) накопления и хранения диоксида углерода. При этом контактный теплообменник (19) высокого давления 20 включает по меньшей мере одну секцию подачи охлаждающей воды, а также дополнительно включает поверхностный теплообменник (26), соединенный с холодильной установкой (10) через циркуляционный насос (24). Кроме того, устройство (20) ожижения диоксида углерода дополнительно включает теплообменник холодильной 25 установки (22).

Линия охлаждения и конденсации отработанных газов дополнительно включает теплообменный аппарат (30), расположенный перед контактным теплообменником (15) низкого давления и встроенный в выпарной аппарат (29).

Выход для воды выпарного аппарата (29) соединен с по меньшей мере одной секцией подачи воды в контактный теплообменник (19) высокого давления через питательный насос (27) и теплообменник (28) охлаждающей воды контактного теплообменника (19) 35 высокого давления.

Выход для воды контактного теплообменника (19) высокого давления соединен со входом для охлаждающей воды выпарного аппарата (29) через другой питательный насос (27) и теплообменник (28) охлаждающей воды контактного теплообменника (19) 40 высокого давления.

Выход для пара выпарного аппарата (29) соединен с конденсатором (31), имеющим поверхностный теплообменник (32) для подогрева сетевой воды, выход которого (32) соединен со входом в теплосеть, а вход - с выходом подогревателя (25) сетевой воды.

Один из входов подогревателя (25) сетевой воды соединен с выходом из теплосети, а другой его вход соединен с выходом воды контактного теплообменника (15) низкого 45 давления, а другой выход - с по меньшей мере одной секцией (16) подачи воды контактного теплообменника (15) низкого давления через циркуляционный насос (23) воды контура низкого давления.

Конденсатор (31) включает по меньшей мере два выхода для сконденсированной

воды, по меньшей мере один из которых соединен со входом в теплосеть через насос, что дополнительно позволяет повысить эффективность установки за счет повышения использования тепла. По меньшей мере один другой выход для сконденсированной воды конденсатора (31) служит для вывода избытка воды из установки.

5 Вода для охлаждения отработанных газов, циркулирующая через контактный теплообменник (19) высокого давления, является раствором по меньшей мере одной гигроскопической соли, представляющей собой одну из групп нитрата кальция, нитрата аммония, сульфата аммония, нитрата бария, перхлората бария, формиата калия, хлората натрия, нитрата натрия, нитрата калия, хлорида натрия и хлорида кальция или их  
10 комбинации (см. RU 2809298), что дополнительно повышает надежность установки за счет повышения отбора тепла от отработанных газов и отбора влаги из отработанных газов.

Кроме того, энергетическая установка выполнена с возможностью обеспечения передачи избытка воды из конденсатора (31) и контактного теплообменника (15)  
15 низкого давления, диоксида углерода и кислорода от блоков (11 и 33) накопления и хранения диоксида углерода и кислорода, а также газов, таких как азот, первичный криптоксеноновый концентрат, аргон и неонгелиевая смесь, полученных при сжижении кислорода в установке (21) криогенного разделения воздуха, к внешнему потребителю, что повышает эффективность установки за счет сбора и последующей  
20 реализации полученных в установке веществ.

Энергетическая установка работает следующим образом.

При пуске включают циркуляционный насос (23) контура низкого давления воды, нагревательные элементы (38) для подогрева теплообменников (6, 9 и 37) подогрева  
25 природного газа, кислорода и диоксида углерода, что повышает надежность установки за счет повышения температуры сжиженных газов, подаваемых в камеру (7) сгорания.

Открывают клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу, что повышает надежность установки за счет выпуска отработанных газов, содержащих большое количество воды в атмосферу.

В линии подачи воды в камеру (7) сгорания переключают клапан (42) перепуска  
30 воды в положение перекрытия подачи воды в камеру (7) сгорания и открытия направления воды в трассу (43) перепуска и включают насос (4) подачи воды из контактного теплообменника (15) низкого давления, что повышает надежность установки за счет перепуска холодной воды в линию охлаждения и конденсации отработанных газов по меньшей мере часть которой возвращается в контактный  
35 теплообменник (15) низкого давления, нагреваясь от горячих газов в линии охлаждения и конденсации.

В камеру (7) сгорания подают кислород в количестве, необходимом для розжига камеры (7) сгорания, и подают диоксид углерода в количестве, необходимом для  
40 балластирования горячих газов при запуске, а также подают природный газ в количестве, необходимом для розжига камеры (7) сгорания и разжигают камеру (7) сгорания, например с помощью запального устройства (не показано).

Далее количество кислорода, природного газа и диоксида углерода, подаваемые в камеру (7) сгорания, увеличивают до достижения газами, полученными от сгорания, рабочей температуры в течение заданного времени, необходимого для прогрева и  
45 раскрутки парогазовой турбины (12), и прогрева контактного теплообменника (15) низкого давления, что дополнительно повышает надежность установки за счет равномерного нагрева наиболее теплонагруженных элементов систем установки. При этом температура может быть определена датчиками температуры, установленными

в по меньшей мере одном из таких элементов как: камера (7) сгорания, парогазовая турбина (12), контактный теплообменник (15) низкого давления, - а количество кислорода, природного газа и диоксида углерода, подаваемые в камеру (7) сгорания, изменяют соответствующими насосами (1, 2, 36), установленными в линиях подачи

5 кислорода, природного газа и диоксида углерода в камеру (7) сгорания.

Дополнительно включают питательные насосы (27) для циркуляции воды через выпарной аппарат (29), теплообменник (28) охлаждающей воды контактного теплообменника (19) высокого давления и сам контактный теплообменник (19) высокого давления, что дополнительно повышает надежность установки за счет равномерного

10 нагрева наиболее теплонагруженных элементов систем установки.

По окончании заданного времени для прогрева, которое определяется, например по температуре, определенной упомянутыми датчиками температуры, или определенное в ходе расчета или эксперимента, отключают нагревательные элементы (38) теплообменников (6, 9 и 37) подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода,

15 закрывают клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу, запускают компрессор (18), переключают клапан (42) перепуска воды в положение перекрытия направления воды в трассу (43) перепуска и открытия направления воды в камеру (7) сгорания и прекращают подачу диоксида углерода.

Включают холодильную установку (10) и включают циркуляцию теплоносителя

20 через поверхностный теплообменник (26) контактного теплообменника (19) высокого давления и холодильную установку (10), а также включают циркуляцию воды из тепловой сети через подогреватель (25) сетевой воды и поверхностный теплообменник (32) для подогрева сетевой воды обратно в тепловую сеть.

Далее осуществляют номинальный режим работы энергетической установки,

25 например по графику тепловой сети.

Таким образом, достигается повышение надежности установки за счет повышения равномерности прогрева систем установки перед выводом ее на номинальный режим работы.

#### 30 (57) Формула изобретения

1. Энергетическая установка, состоящая из линий подачи сжиженных кислорода, природного газа и диоксида углерода, а также воды в камеру (7) сгорания, соединенную с по меньшей мере одной парогазовой турбиной (12), выход которой соединен с линией

35 охлаждения и конденсации отработанных газов, включающей рекуперативный охладитель (13) отработанных газов, выполненный с возможностью подогрева воды, подающейся насосом (4) воды в камеру (7) сгорания из контактного теплообменника (15) низкого давления по линии подачи воды, контактный теплообменник (15) низкого давления, компрессор (18), контактный теплообменник (19) высокого давления и устройство (20) ожижения диоксида углерода, один из выходов для сконденсированной

40 воды контактного теплообменника (15) низкого давления соединен с контуром низкого давления, выполненным с возможностью подачи воды циркуляционным насосом (23) воды через теплообменники (6, 9) подогрева природного газа и кислорода к по меньшей мере одной секции (17) подачи охлаждающей воды контактного теплообменника (15) низкого давления, отличающаяся тем, что линия подачи сжиженного диоксида углерода

45 в камеру (7) сгорания включает блок (11) хранения диоксида углерода, соединенный с устройством (20) ожижения диоксида углерода, насос (36) диоксида углерода и теплообменник (37) подогрева пускового диоксида углерода, линия подачи воды в камеру (7) сгорания дополнительно включает клапан (42) перепуска воды,

установленный ниже по потоку рекуперативного охладителя (13) отработанных газов и соединенный трассой (43) перепуска с линией охлаждения и конденсации отработанных газов, которая включает клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу, при этом теплообменники (6, 9) подогрева природного газа и кислорода, установленные в линиях подачи сжиженных природного газа и кислорода, а также теплообменник (37) подогрева пускового диоксида углерода включают нагревательные элементы (38).

2. Установка по п. 1, отличающаяся тем, что дополнительно линия охлаждения и конденсации отработанных газов включает теплообменный аппарат (30), расположенный перед контактным теплообменником (15) низкого давления и встроенный в выпарной аппарат (29), выход для воды которого (29) соединен с по меньшей мере одной секцией подачи воды в контактный теплообменник (19) высокого давления через теплообменник (28) охлаждающей воды контактного теплообменника (19) высокого давления, при этом выход для воды контактного теплообменника (19) высокого давления соединен со входом для охлаждающей воды выпарного аппарата (29) через по меньшей мере один питательный насос (27) и теплообменник (28) охлаждающей воды контактного теплообменника (19) высокого давления, выход для пара выпарного аппарата (29) соединен с конденсатором (31), имеющим поверхностный теплообменник (32) для подогрева сетевой воды, выход которого (32) соединен со входом в теплосеть, а вход - с выходом подогревателя (25) сетевой воды, один из входов которого (25) соединен с выходом из теплосети, а другой его (25) вход соединен с выходом воды контактного теплообменника (15) низкого давления, а другой выход - с по меньшей мере одной секцией (16) подачи воды контактного теплообменника (15) низкого давления через циркуляционный насос (23) воды контура низкого давления.

3. Установка по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу установлен после контактного теплообменника (15) низкого давления.

4. Установка по п. 3, отличающаяся тем, что клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу установлен перед контактным теплообменником (19) высокого давления.

5. Установка по пп. 1-4, отличающаяся тем, что теплообменники (6, 9, 37) подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода выполнены с возможностью их нагрева нагревательными элементами (38) через промежуточный теплоноситель.

6. Установка по пп. 2-5, отличающаяся тем, что контактный теплообменник (19) высокого давления дополнительно содержит поверхностный теплообменник (26) охлаждения сконденсированной воды, соединенный с холодильной установкой (10), при этом указанная сконденсированная вода служит для охлаждения отработанных газов и циркулирует через контактный теплообменник (19) высокого давления и выпарной аппарат (29), и является раствором по меньшей мере одной гигроскопической соли одной из групп нитрата кальция, нитрата аммония, сульфата аммония, нитрата бария, перхлората бария, формиата калия, хлората натрия, нитрата натрия, нитрата калия, хлорида натрия, хлорида кальция, хлорида лития или их комбинации, а конденсатор (31) включает по меньшей мере два выхода для сконденсированной воды, по меньшей мере один из которых соединен со входом в теплосеть через насос, а по меньшей мере один другой выход для сконденсированной воды служит для вывода избытков воды из установки.

7. Установка по п. 6, отличающаяся тем, что линия подачи сжиженного кислорода содержит установку (21) криогенного разделения воздуха, по меньшей мере один компрессор (14) которой приводится энергией, вырабатываемой с помощью по меньшей мере одной парогазовой турбины (12), при этом установка (21) криогенного разделения воздуха дополнительно соединена с блоком (33) накопления и хранения кислорода,

при этом энергетическая установка выполнена с возможностью обеспечения передачи избытка воды из конденсатора (31) и контактного теплообменника (15) низкого давления, диоксида углерода и кислорода от блоков (11 и 33) накопления и хранения диоксида углерода и кислорода, а также газов, полученных при сжижении кислорода

5 в установке (21) криогенного разделения воздуха, к внешнему потребителю.

8. Способ работы энергетической установки по пп. 1-7, заключающийся в том, что при пуске включают циркуляционный насос (23) контура низкого давления воды, нагревательные элементы (38) для подогрева теплообменников (6, 9 и 37) подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода;

10 открывают клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу;

в линии подачи воды в камеру (7) сгорания переключают клапан (42) перепуска воды в положение перекрытия подачи воды в камеру (7) сгорания и открытия направления воды в трассу (43) перепуска и включают насос (4) подачи воды из контактного теплообменника (15) низкого давления;

15 в камеру (7) сгорания подают кислород в количестве, необходимом для розжига камеры (7) сгорания, и подают диоксид углерода в количестве, необходимом для балластирования горячих газов при запуске;

в камеру (7) сгорания подают природный газ в количестве, необходимом для розжига камеры (7) сгорания;

20 розжигают камеру (7) сгорания.

9. Способ по п. 8, отличающийся тем, что количество кислорода, природного газа и диоксида углерода, подаваемое в камеру (7) сгорания, увеличивают до достижения газами, полученными от сгорания, рабочей температуры в течение заданного времени, необходимого для прогрева и раскрутки парогазовой турбины (12) и прогрева

25 контактного теплообменника (15) низкого давления.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что дополнительно включают питательные насосы (27) для циркуляции воды через выпарной аппарат (29), теплообменник (28) охлаждающей воды контактного теплообменника (19) высокого давления и сам контактный теплообменник (19) высокого давления.

30 11. Способ по п. 9 или 10, отличающийся тем, что по окончании заданного времени для прогрева отключают нагревательные элементы (38) теплообменников (6, 9 и 37) подогрева природного газа, кислорода и диоксида углерода, закрывают клапан (39) сброса выхлопных газов в атмосферу, запускают компрессор (18), переключают клапан (42) перепуска воды в положение перекрытия направления воды в трассу (43) перепуска

35 и открытия направления воды в камеру (7) сгорания и прекращают подачу диоксида углерода.

12. Способ по п. 11, отличающийся тем, что включают холодильную установку (10) и включают циркуляцию теплоносителя через поверхностный теплообменник (26) контактного теплообменника (19) высокого давления и холодильную установку (10),

40 а также включают циркуляцию воды из тепловой сети через подогреватель (25) сетевой воды и поверхностный теплообменник (32) для подогрева сетевой воды обратно в тепловую сеть.

