

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039828**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.03.17

(21) Номер заявки
201890092

(22) Дата подачи заявки
2016.07.04

(51) Int. Cl. **C01B 3/38** (2006.01)
C01B 3/48 (2006.01)
C01B 3/50 (2006.01)

(54) СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА

(31) **15400030.1**

(32) **2015.07.10**

(33) **EP**

(43) **2018.04.30**

(86) **PCT/EP2016/025070**

(87) **WO 2017/008915 2017.01.19**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**Л'ЭР ЛИКВИД СОСЬЕТЕ АНОНИМ
ПУР Л'ЭТЮД И ЛЕКСПЛОТАСЙОН
ДЕ ПРОСИД ЖОРЖ КЛОД (FR)**

(72) Изобретатель:

Тадьелло Жан-Филипп, Чэнь Юэ (DE)

(74) Представитель:

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

(56) **US-A1-2009232729
US-A1-2011146991
EP-A1-2233433
US-A-3297408
US-A1-2003110694
EP-A1-2865638**

(57) Способ и установка для охлаждения синтез-газа, полученного каталитическим паровым риформингом углеводородсодержащего сырьевого газа, который охлаждается за счет теплообмена с котловой питательной водой для ее преобразования в водяной пар, путем отделения полученного в результате водного конденсата, при этом дальнейшее охлаждение осуществляется таким образом, что газ проходит через несколько последовательно соединенных ступеней охлаждения и включает теплообмен с сырьевым газом, с дегазированной и недегазированной котловой питательной водой для генерирования водяного пара, требуемого для парового риформинга, и с окружающим воздухом, и при этом конденсат, полученный после последней ступени охлаждения, отделяется от газа, и газ выпускается для дальнейшей обработки, при этом, по меньшей мере, после следующей ступени охлаждения, предшествующей по ходу технологического процесса последней ступени охлаждения, от газа отделяется горячий водный конденсат.

B1**039828****039828****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к способу и установке для охлаждения синтез-газа, получаемого каталитическим паровым риформингом углеводородсодержащего сырьевого газа и последующей каталитической конверсией монооксида углерода путем отделения полученного в результате водного конденсата, при этом охлаждение осуществляют таким образом, что газ проходит через несколько последовательно соединенных ступеней охлаждения, при этом охлаждение включает теплообмен с сырьевым газом, с дегазированной и недегазированной котловой питательной водой для генерирования водяного пара, требуемого для парового риформинга, и с окружающим воздухом, и при этом конденсат, полученный после последней ступени охлаждения, отделяется от газа, и газ выпускается для дальнейшей обработки.

Изобретение, кроме того, относится к применению конденсата.

Известный уровень техники

Способы получения синтез-газа, содержащего водород и монооксид углерода, посредством каталитического парового риформинга известны и описаны, например, в Энциклопедии Уллмана по промышленной химии, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, Vol. 15, Gas Production, Chapter 2. Сырьевые газы, углеводородсодержащий газ, такой как природный газ и водяной пар, пропускают через реакторные трубы с внешним обогревом, заполненные катализатором при повышенном давлении, например 20-35 бар, и высокой температуре, например 800-950°C. Сырьевые газы конвертируют в синтез-газ с высоким содержанием водорода и монооксида углерода. Такой реактор часто называется SMR, и процесс называется процессом SMR, что является сокращенным наименованием соответственно установки для парового риформинга метана. Для обеспечения экономичности процесса очень важно осуществлять достаточно эффективный теплообмен между синтез-газом, выходящим из SMR, и сырьевыми газами.

После выхода сгенерированного синтез-газа из SMR, он охлаждается за счет теплообмена с котловой питательной водой. Вследствие этого котловая питательная вода испаряется. Водяной пар применяют в качестве питательного пара для процесса SMR и избыточный пар выпускают в качестве так называемого отводимого пара, предназначенного для применения вне процесса SMR. Когда в качестве конечного продукта процесса SMR должен генерироваться синтез-газ, состоящий только из водорода, синтез-газ в дальнейшем подвергают обработке в установке для каталитической конверсии, в которой монооксид углерода подвергают конверсии водяным паром с получением в результате водорода и диоксида углерода. Эта конверсия описана в вышеупомянутом томе Энциклопедии Уллмана на стр. 382 и последующих страницах.

Способ, предлагаемый в соответствии с изобретением, относится к дальнейшему охлаждению синтез-газа вслед за этапами, которые уже описаны.

Синтез-газ первоначально охлаждают далее за счет теплообмена с углеводородсодержащим сырьевым газом. Затем осуществляют следующее охлаждение за счет теплообмена с котловой дегазированной питательной водой, которую после этого подают в испаритель, потом путем нагрева установки для дегазации котловой питательной воды и для предварительного нагрева пресной котловой питательной воды перед ее вводом в установку для дегазации. Дегазацию осуществляют только физически путем нагрева котловой питательной воды. Далее охлаждают синтез-газ с помощью воздухоохладителя и затем с помощью охладителя, работающего на охлаждающей воде, почти до температуры окружающей среды. В сепараторе конденсата конденсат, образовавшийся в предыдущих ступенях охлаждения, далее отделяют от синтез-газа и синтез-газ направляют на дальнейшую обработку. В этом способе конденсат применяют для генерирования водяного пара. В зависимости от чистоты конденсата и требований к чистоте отводимого пара его или содержат отдельно от пресной котловой питательной воды, выпаренной в отдельном испарителе для получения питательного пара, или пропускают в установку для дегазации котловой питательной воды и смешивают там с пресной котловой питательной водой.

Недостаток этого способа, соответствующего известному уровню техники, заключается в том, что конденсат отделяют от синтез-газа при температуре окружающей среды, и, соответственно, для его нагрева для осуществления испарения должно расходоваться много тепловой энергии.

Сущность изобретения

В связи с вышеуказанной целью изобретения является создание способа и установки, в которых для нагрева конденсата должно расходоваться меньше тепловой энергии.

Эта цель решается с помощью изобретения согласно признакам по пп.1-4 формулы изобретения.

В настоящем изобретении предлагается способ охлаждения синтез-газа, который получен каталитическим паровым риформингом углеводородсодержащего сырьевого газа и который охлаждают за счет теплообмена с котловой питательной водой для ее преобразования в водяной пар, путем отделения полученного в результате из синтез-газа водного конденсата, и синтез-газ обработан в установке для каталитической конверсии монооксида углерода водяным паром с получением водорода и диоксида углерода, при этом охлаждение осуществляют таким образом, что синтез-газ проходит через несколько последовательно соединенных ступеней охлаждения и включает теплообмен с сырьевым газом, с дегазированной и недегазированной котловой питательной водой для генерирования водяного пара, требуемого для парового риформинга, и с окружающим воздухом, и при этом охлажденный конденсат, полученный после

последней ступени охлаждения, отделяют от синтез-газа и синтез-газ выпускают для дальнейшей обработки, отличающийся тем, что, по меньшей мере, после ступени охлаждения, предшествующей по ходу технологического процесса последней ступени охлаждения, от синтез-газа дополнительно отделяют горячий водный конденсат в дополнение к конденсату, полученному после последней ступени охлаждения, причем первая ступень охлаждения в направлении потока синтез-газа представлена теплообменом с сырьевым газом, вторая ступень - теплообменом с дегазированной котловой питательной водой, третья ступень - теплообменом с окружающим воздухом с помощью воздухоохладителя, и последняя ступень - теплообменом с недегазированной котловой питательной водой, и горячий водный конденсат отделяют от синтез-газа после теплообмена с окружающим воздухом.

В частных вариантах осуществления способа все охлаждающие воды, применяемые для охлаждения синтез-газа, в дальнейшем применяют в качестве котловой питательной воды.

Оба конденсата, отделенные от синтез-газа, подают для дегазификации котловой питательной воды и объединяют в процессе нее с пресной котловой питательной водой, предварительно нагретой за счет теплообмена с синтез-газом.

Тепловую энергию для дегазификации котловой питательной воды, по меньшей мере частично, подводят за счет теплообмена котловой питательной воды, присутствующей в дегазаторе, с синтез-газом, подвергаемым охлаждению.

Для реализации способа может использоваться установка для охлаждения синтез-газа, полученного каталитическим паровым риформингом углеводородсодержащего сырьевого газа, который охлажден за счет теплообмена с котловой питательной водой для ее преобразования в водяной пар, путем отделения полученного в результате водного конденсата, и который обработан в установке для каталитической конверсии монооксида углерода водяным паром с получением водорода и диоксида углерода, содержащая несколько последовательно соединенных теплообменников, предназначенных для теплообмена с сырьевым газом, с дегазированной и недегазированной котловой питательной водой для генерирования водяного пара, требуемого для парового риформинга, и с окружающим воздухом, и при этом охлажденный конденсат, полученный после теплообменника последней ступени охлаждения, отделяется от газа с помощью сепаратора конденсата, и газ выпускается для дальнейшей обработки, характеризующаяся тем, что, по меньшей мере, после следующего теплообменника, предшествующего по ходу технологического процесса теплообменнику последней ступени охлаждения, установлен следующий сепаратор конденсата для отделения горячего водного конденсата от газа.

От части конденсата, который в соответствии с изобретением уже отделен от синтез-газа перед последней ступенью охлаждения, отводится меньше тепловой энергии и, соответственно, меньше тепловой энергии требуется для его нагрева.

Ниже для лучшего понимания концепции настоящего изобретения будут отдельно описаны и объяснены некоторые аспекты, относящиеся к настоящему изобретению.

Как описано выше, в общем, изобретение характеризуется тем, что все охлаждающие воды, применяемые для охлаждения синтез-газа, в дальнейшем применяют в качестве котловой питательной воды. Горячий конденсат, отделенный в соответствии с изобретением, не охлаждается. В результате этого можно исключить теплообменник, работающий на охлаждающей воде, который применяется согласно известному уровню техники для охлаждения синтез-газа до температуры окружающей среды. Может потребоваться небольшая адаптация предыдущих по ходу технологического процесса теплообменников. Отказ от применения охлаждающей воды, которая не применяется в качестве котловой питательной воды и поэтому служит для генерирования водяного пара, особо выгоден, в частности, в установках, размещенных в странах, испытывающих дефицит воды. Кроме того, это позволяет исключить стоимостные затраты и занимаемое пространство, требуемые для контура циркуляции охлаждающей воды, а также для насосов и градирни.

Другой аспект изобретения характеризуется тем, что первая ступень охлаждения в направлении потока синтез-газа представлена теплообменом с сырьевым газом, вторая ступень - теплообменом с дегазированной котловой питательной водой, третья ступень - теплообменом с окружающим воздухом с помощью воздухоохладителя, и последняя ступень - теплообменом с недегазированной котловой питательной водой. Вследствие такой последовательности действий тепловая энергия, заключенная в синтез-газе, эффективно передается к питающим потокам газа и воды.

Следующий аспект изобретения характеризуется тем, что первая ступень охлаждения в направлении потока синтез-газа представлена теплообменом с сырьевым газом, вторая ступень - теплообменом с дегазированной котловой питательной водой, третья ступень - теплообменом с недегазированной котловой питательной водой, и последняя ступень - теплообменом с окружающим воздухом с помощью воздухоохладителя. Вследствие такой последовательности действий тепловая энергия, заключенная в синтез-газе, аналогичным образом эффективно передается к питающим потокам газа и воды. В отдельном случае подлежащей проектированию и вводу в действие установки последовательность этапов охлаждения может быть адаптирована соответственно к существующим граничным условиям.

Другой аспект изобретения характеризуется тем, что горячий водный конденсат отделяется от синтез-газа после теплообмена с окружающим воздухом. На этой стадии конденсат охлажден в такой степе-

ни, что его повторное применение и перекачка могут осуществляться при отсутствии слишком больших затрат на технические средства. Кроме того, количество конденсата, которое получено, и его температура на этой стадии достаточно велики для того, чтобы сэкономить энергию для охлаждения и повторного нагрева конденсата в степени, целесообразной из экономических соображений.

Еще один аспект изобретения характеризуется тем, что оба конденсата, отделенные от синтез-газа, подают для дегазификации котловой питательной воды и объединяют в процессе нее с пресной котловой питательной водой, предварительно нагретой за счет теплообмена с синтез-газом. При этой процедуре допускается попадание примесей, которыми всегда загрязнен конденсат, в котловую питательную воду, а следовательно также и в генерируемый отводимый пар. Это возможно только тогда, когда разрешается применение такого отводимого пара. Преимущество этой процедуры заключается в том, что исключается отдельное генерирование водяного пара только из конденсата, а значит обеспечивается экономия стоимостных затрат и занимаемого пространства.

Следующий аспект изобретения характеризуется тем, что тепловую энергию для дегазации котловой питательной воды, по меньшей мере частично, подводят за счет теплообмена с синтез-газом, подвергаемым охлаждению. В этом варианте котловая питательная вода нагревается не только перед дегазацией синтез-газом и после нее, но также и во время дегазации. Это является альтернативой нагреву котловой питательной воды во время дегазации путем ввода водяного пара, сгенерированного в ходе технологического процесса.

Другой аспект изобретения заключается в применении дегазированной котловой питательной воды для генерирования отводимого пара и по меньшей мере части питательного пара, применяемого для каталитического парового риформинга, при котором котловую питательную воду предварительно нагревают в результате теплообмена с синтез-газом и затем испаряют в парогенераторе, нагреваемом также в результате теплообмена с синтез-газом. Во многих случаях тепловая энергия, подводимая синтез-газом, является недостаточной для нагрева парогенератора. Во многих случаях для этой цели дополнительно применяется тепловая энергия отходящих газов горелок, которые нагревают реактор для парового риформинга (SMR).

Еще один аспект изобретения заключается в применении конденсатов, генерируемых с помощью способа по изобретению, в качестве питающей воды для генерирования по меньшей мере части питательного пара, применяемого для каталитического парового риформинга, при котором оба конденсата объединяют, нагревают в подогревателе и затем испаряют в испарителе технологического конденсата. Испаритель во многих случаях нагревают водяным паром, генерируемым в ходе технологического процесса из пресной котловой питательной воды.

Иллюстративный вариант осуществления

Дополнительные признаки, преимущества и возможные виды применения изобретения также могут быть взяты из представленного ниже описания иллюстративного варианта осуществления и примера с числовыми значениями, а также из графического материала. Все описанные и/или проиллюстрированные признаки образуют сущность изобретения сами по себе или в любой комбинации независимо от их включения в формулу изобретения или обратных ссылок на них.

Способ в соответствии с изобретением поясняется ниже со ссылкой на фиг. 1-3 графического материала, в котором

на фиг. 1 показана технологическая схема известного из уровня техники технического решения,

на фиг. 2 и 3 показана технологическая схема иллюстративного варианта осуществления изобретения.

Фиг. 1.

Синтез-газ 1 охлаждают до температуры 360°C за счет теплообмена и испарения котловой питательной воды с получением питательного пара и отводимого пара (на фиг. 1 не показано) и вводят в теплообменник 2. Там он отдает тепло потоку 3 природного газа, который подают в качестве сырьевого газа на паровый риформинг (не показано). Затем синтез-газ пропускают через теплообменники 4, 5 и 6 и, тем самым, нагревают котловую питательную воду 7, полученную из пресной воды. Теплообменник 5, который служит для нагрева дегазатора 8, может обходить перепускное устройство 18. С помощью трубопровода 19 дегазатор 8 затем может нагреваться водяным паром из источника вне технологического процесса. Котловую питательную воду 7 дегазируют в дегазаторе 8 физически, а именно путем нагрева. Выделяемые газы 9 выпускаются из дегазатора 8 и подаются на дальнейшую обработку (не показано). После дополнительного прогрева дегазированной котловой питательной воды 7 в теплообменнике 4, ее подают для испарения (не показано), в процессе которого ее конвертируют в питающий пар для парового риформинга. Из теплообменника 6 синтез-газ 1 подают в воздухоохладитель 10, в котором происходит его дальнейшее охлаждение в результате отдачи тепла в окружающий воздух. В теплообменнике 11 синтез-газ 1 после этого дополнительно охлаждают охлаждающей водой 12 настолько, что его температура приближается к температуре окружающей среды, например становится равной 40°C. Затем синтез-газ 1 пропускают через сепаратор 13 конденсата. Конденсат 14, отделенный от синтез-газа 1, подают для дальнейшего применения (не показано). Дальнейшее применение во многих случаях заключается в том, что конденсат 14 применяют для генерирования питательного пара, предназначенного для парового ри-

форминга. После сепаратора 13 конденсата синтез-газ 1 подают для дальнейшей обработки (не показано).

Фиг. 2.

На фиг. 2 показано дополнительное отделение конденсата в соответствии с изобретением от синтез-газа 1 с помощью сепаратора 15 конденсата после того, как указанный синтез-газ был охлажден в теплообменнике 6 до температуры, приблизительно равной 95°C. Отделенный конденсат 16 аналогичным образом имеет температуру 95°C. После отделения конденсата в воздухоохладителе 10', синтез-газ 1 охлаждается настолько, что его температура приближается к температуре окружающей среды. В дальнейшем конденсат 14, полученный на этом последнем этапе охлаждения, отделяют от синтез-газа 1 в сепараторе 13 конденсата. Теплообменник, работающий на охлаждающей воде, исключен. Потоки холодного конденсата 14 и горячего конденсата 16 объединяют и подают в виде потока 17 конденсата для испарения с получением питательного пара (не показано).

Фиг. 3.

На фиг. 3 показан вариант охлаждения синтез-газа в соответствии с изобретением. По сравнению с конфигурацией по фиг. 2 изменен только на обратный порядок следования последних двух этапов охлаждения, т.е. после того, как синтез-газ нагрел дегазатор 8, его охлаждает воздухоохладитель 10, и затем на последнем этапе охлаждения осуществляется теплообмен с еще недегазированной котловой питательной водой, которая далее подается в дегазатор 8.

Согласно конкретному аспекту изобретения, который показан на фиг. 2 или 3, также может быть исключен теплообмен синтез-газа, подвергаемого охлаждению, с котловой питательной водой в дегазаторе (не показано). Это может осуществляться в результате срабатывания перепускного устройства 18 или даже в результате исключения теплообменника 5. Таким образом, может быть получен даже еще более горячий конденсат, тепловая энергия которого может быть восстановлена или, что еще лучше, повторно применена. Кроме того, когда исключается теплообменник 5, сокращаются капитальные затраты.

Промышленная применимость

Изобретение ведет к экономии энергии и капитальных затрат в технологическом процессе дальнейшего охлаждения синтез-газа при его широком применении в промышленных масштабах. Следовательно, оно является промышленно применимым.

Перечень ссылочных позиций.

- 1 - Синтез-газ,
- 2 - теплообменник,
- 3 - природный газ,
- 4 - теплообменник,
- 5 - теплообменник,
- 6 - теплообменник,
- 7 - котловая питательная вода, пресная,
- 8 - дегазатор,
- 9 - выделяемые газы,
- 10 - воздухоохладитель,
- 11 - теплообменник,
- 12 - охлаждающая вода,
- 13 - сепаратор конденсата
- 14 - конденсат,
- 15 - сепаратор конденсата,
- 16 - конденсат,
- 17 - конденсат,
- 18 - перепускное устройство с клапаном,
- 19 - водяной пар.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

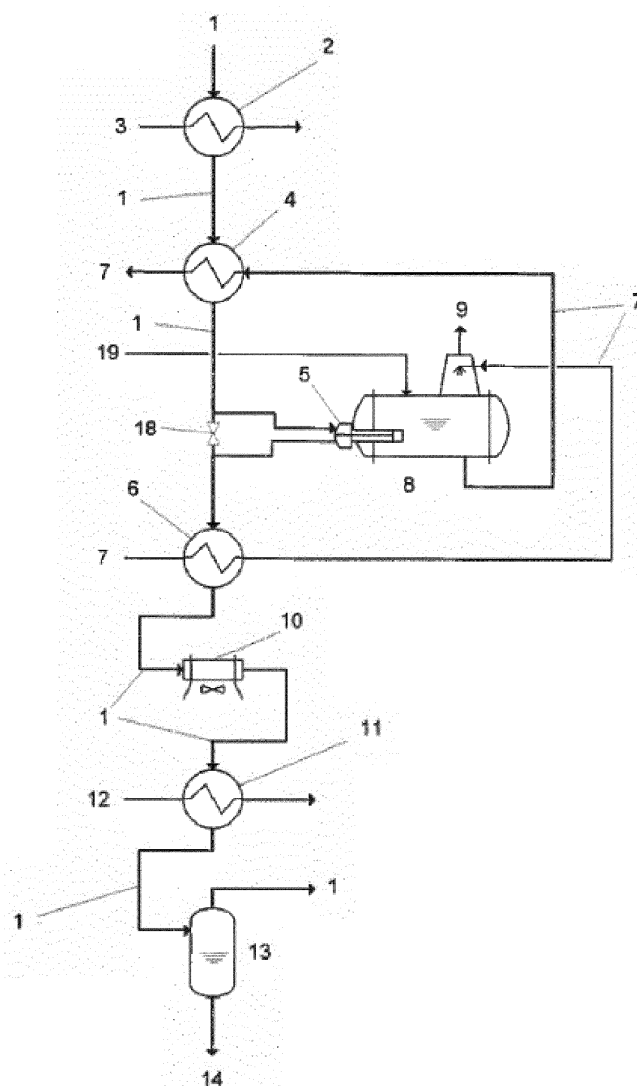
1. Способ охлаждения синтез-газа, который получен каталитическим паровым риформингом углеводородсодержащего сырьевого газа и который охлаждают за счет теплообмена с котловой питательной водой для ее преобразования в водяной пар, путем отделения полученного в результате из синтез-газа водного конденсата, и синтез-газ обработан в установке для каталитической конверсии монооксида углерода водяным паром с получением водорода и диоксида углерода, при этом охлаждение осуществляют таким образом, что синтез-газ проходит через несколько последовательно соединенных ступеней охлаждения и включает теплообмен с сырьевым газом (3), с дегазированной и недегазированной котловой питательной водой (7) для генерирования водяного пара, требуемого для парового риформинга, и с окружающим воздухом, и при этом охлажденный конденсат (14), полученный после последней ступени охлаждения, отделяют от синтез-газа (1) и синтез-газ (1) выпускают для дальнейшей обработки, отличающийся тем, что, по меньшей мере, после ступени охлаждения, предшествующей по ходу технологическо-

го процесса последней ступени охлаждения, от синтез-газа дополнительно отделяют горячий водный конденсат (16) в дополнение к конденсату, полученному после последней ступени охлаждения, причем первая ступень (2) охлаждения в направлении потока синтез-газа представлена теплообменом с сырьевым газом (3), вторая ступень (4) - теплообменом с дегазированной котловой питательной водой (7), третья ступень (10) - теплообменом с окружающим воздухом с помощью воздухоохладителя, и последняя ступень (6) - теплообменом с недегазированной котловой питательной водой (7), и горячий водный конденсат (16) отделяют от синтез-газа (1) после теплообмена с окружающим воздухом.

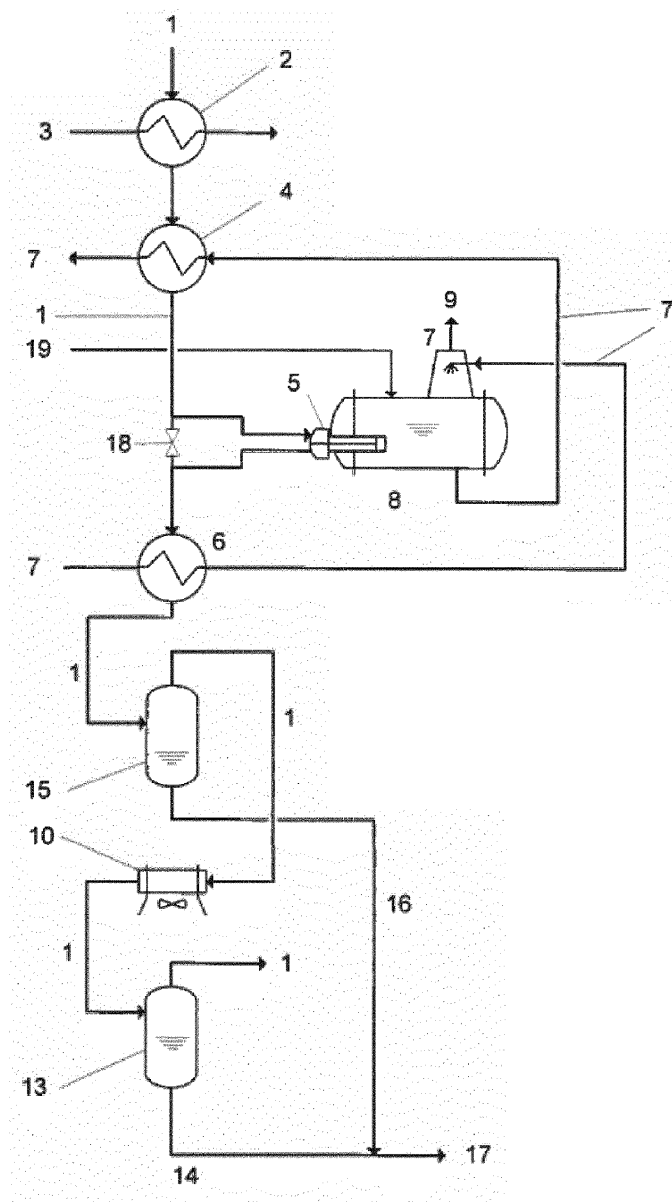
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что все охлаждающие воды, применяемые для охлаждения синтез-газа, в дальнейшем применяют в качестве котловой питательной воды.

3. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что оба конденсата (14, 16), отделенные от синтез-газа (1), подают для дегазификации котловой питательной воды и объединяют в процессе нее с пресной котловой питательной водой, предварительно нагретой за счет теплообмена с синтез-газом.

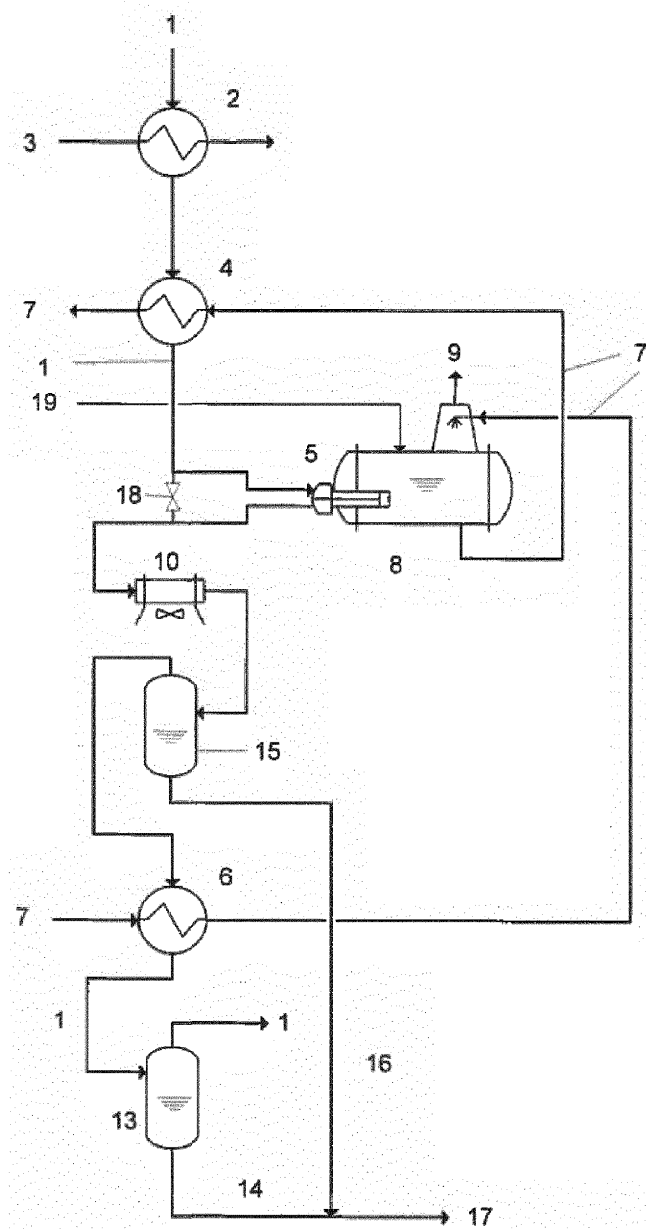
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что тепловую энергию для дегазификации котловой питательной воды, по меньшей мере частично, подводят за счет теплообмена котловой питательной воды (7), присутствующей в дегазаторе 8, с синтез-газом (1), подвергаемым охлаждению.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

