

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040401**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.05.27**

(51) Int. Cl. **F24J 3/08** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201792353**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.04.26**

---

(54) **СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ  
ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА НА ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

---

(31) **580/15**

(32) **2015.04.27**

(33) **CH**

(43) **2018.04.30**

(86) **PCT/CH2016/000072**

(87) **WO 2016/172807 2016.11.03**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФОН ДЮРИНГ МЕНЕДЖМЕНТ АГ  
(CH)**

(56) US-A1-2011272166  
BASIC ET AL.: "Improved utilization of low  
temp thermal water rich in hydrocarbon gases",  
GHC BULLETIN, 1990, XP002761787, cited in the  
application figure 2c page 16, last paragraph  
US-A-4522728  
US-A-5970714  
WO-A1-2014015307  
US-A1-2010043433  
US-A-5582011

(72) Изобретатель:  
**Фон Дюринг Бодо (CH)**

(74) Представитель:  
**Баталин А.В., Фелицына С.Б. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к способу использования внутренней энергии текучей среды (A) водоносного горизонта, содержащей геотермальную горячую воду (T), смешанную с газом (G) и, необязательно, сырой нефтью (E), в замкнутой системе. Задачей изобретения является создание экологически безвредного, без выбросов углекислого газа, использования текучей среды (A) водоносного горизонта и экологически чистого источника электрической и тепловой энергии. Для достижения этого текучую среду (A) отводят из водоносного горизонта (0) с помощью отводящего оборудования (10), газ (G) отделяют путем дегазации текучей среды (A) водоносного горизонта в устройстве (11) газовой сепарации, необязательно отделяют сырую нефть (E), если это необходимо, тепловую энергию термальной воды (T) используют по меньшей мере в одной системе (12-14) для использования тепловой энергии, извлеченный газ (G) и, необязательно, отделенную сырую нефть сжигают по меньшей мере в одном устройстве (24, 24а) сжигания, и внутреннюю энергию газа (G) используют в работе генератора (25), причем CO<sub>2</sub> удаляют из отходящего газа и рециркулируют в водоносный горизонт.

---

**B1**

**040401**

**040401**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Изобретение относится к способу использования внутренней энергии содержащего газ водного раствора из существующих или новых месторождений сырой нефти и/или природного газа. В частности, такие месторождения включают водоносные горизонты, а также залежи сырой нефти и природного газа, частично разработанные традиционными способами добычи сырой нефти и природного газа и стабилизированные закачиванием воды, в частности закачиванием минерализованной воды. В рамках настоящего изобретения все эти залежи для простоты будут называться водоносными горизонтами, и все жидкости, извлекаемые из водоносного горизонта, будут называться текучими средами водоносного горизонта. Текучая среда водоносного горизонта согласно настоящему изобретению является в большей или меньшей степени содержащей соли или минералы водой (далее называемой "геотермальная вода" или "геотермальная горячая вода", или "термальная вода"), смешанной с газом и, возможно, сырой нефтью, и нагретой за счет геотермальной энергии. В способе согласно изобретению используется внутренняя энергия текучей среды водоносного горизонта в замкнутой системе. Другим объектом настоящего изобретения является гибридная геотермальная электростанция для использования внутренней энергии геотермальной воды, смешанной с газом и, необязательно, сырой нефтью из водоносного горизонта, в замкнутой системе, а также способ модернизации существующих геотермальных электростанций для лучшей утилизации энергии текучей среды водоносного горизонта.

### **Уровень техники**

Тепловая энергия геотермальной горячей воды или горячего рассола из водоносных горизонтов используется уже давно. Подземные слои водоносных проницаемых горных пород, известные как водоносные горизонты, находятся на разной глубине в земной коре в различных геологических формациях. Кроме термальной воды, водоносные горизонты часто также содержат залежи газа. Из-за высокого давления на этих глубинах газ растворен в термальной воде, и такой раствор в настоящем описании называется текучей средой водоносного горизонта. Газы, растворенные в термальной воде, как правило, являются горючими газами, самостоятельное энергетическое и химическое использование которых не является выгодным с экономической точки зрения. Газы, растворенные в термальной воде, включают метан и другие газообразные углеводороды, водород и/или монооксид углерода, а также негорючие компоненты, такие как водяной пар и/или углекислый газ. После добычи текучей среды водоносного горизонта газ расширяется, вытесняется из раствора, и его нужно сжигать или стравливать на факеле, что вызывает эмиссию парниковых газов, за исключением тех случаев, когда газ утилизируется.

С помощью современной технологии бурения скважин могут быть разработаны глубокие водоносные горизонты, благодаря этому текучая среда водоносного горизонта с исходной температурой более 60°C может быть добыта с глубины до нескольких километров. Кроме использования для отопления зданий термальная вода также используется для выработки электроэнергии. После утилизации теплоты охлажденную термальную воду рециркулируют в водоносный горизонт с помощью устройства рециркуляции.

Как можно видеть, например, из работы "Improved utilization of low temp thermal water rich in hydrocarbon gases", Basic et al, GNC Bulletin, Summer 1990, в прошлом текучая среда водоносного горизонта, содержащая растворенный газ, предварительно очищалась перед утилизацией тепловой энергии. При этом метан выделяли из текучей среды водоносного горизонта с помощью устройства газовой сепарации. Энергию термальной воды использовали в устройстве для утилизации тепловой энергии, и энергию отделенного метана утилизировали с помощью последующего процесса сжигания. Этот процесс сжигания, с одной стороны, включает сжигание отделенного метана в газовом двигателе с подключенным к нему генератором для выработки электроэнергии, с другой стороны, - утилизацию тепловой энергии, полученной путем прямого сжигания метана, для дополнительного нагрева полученной термальной воды. После утилизации энергии термальной воды и метана охлажденную термальную воду обратно закачивали в водоносный горизонт, при этом энергию, необходимую для обратной закачки, получали за счет сжигания метана. В данном способе энергия, содержащаяся в текучей среде водоносного горизонта, используется хорошо, но не оптимально.

Сжигание метана согласно Basic приводит к образованию топочных газов, благодаря этому, в иных случаях экологически безопасное использование внутренней энергии текучей среды водоносного горизонта, из-за выбросов топочных газов приводит к загрязнению окружающей среды, аналогичному сбросу на факел.

Кроме того, на сегодняшний день многие залежи сырой нефти уже отработаны, и все еще существующие запасы сырой нефти могут быть добыты только с большими усилиями, что делает востребованным (экономически) эффективным способ добычи. Эти залежи активно заводняются, таким образом, они являются подходящими водоносными горизонтами в смысле настоящего изобретения.

Благодаря способу добычи, использующему закачку воды, не только в значительной степени отработанные, но и совсем новые залежи сырой нефти являются подходящими водоносными горизонтами.

### **Раскрытие сущности изобретения**

Задача, решаемая настоящим изобретением, заключается в оптимизации использования внутренней энергии геотермальной горячей воды, смешанной с газом и, необязательно, сырой нефтью, при которой

достигаются экологически безвредная, без выбросов  $\text{CO}_2$ , утилизация текучей среды водоносного горизонта и экологически чистое получение электрической и тепловой энергии. В рамках настоящего изобретения замкнутая система означает способ, в котором почти не образуются выбросы, однако, при этом газ и, необязательно, сырую нефть удаляют (и, как вариант, используют где-либо еще) и  $\text{CO}_2$  (необязательно также из других антропогенных источников) рециркулируют.

В тех случаях, когда природный газ и сырая нефть рассматриваются вместе, и когда отсутствует разница в употреблении терминов "природный газ" или "сырая нефть", - далее будет использоваться термин "углеводороды".

Способ использования внутренней энергии текучей среды водоносного горизонта, содержащего геотермальную горячую воду, смешанную с природным газом (ниже также называется просто "газ") и, необязательно, сырой нефтью, характеризуется следующими этапами:

- добыча текучей среды из водоносного горизонта с помощью отводящего оборудования,
  - отделение газа путем дегазации текучей среды водоносного горизонта в устройстве газовой сепарации, с образованием дегазированной термальной воды,
  - необязательное отделение сырой нефти в устройстве для сепарации нефти с образованием дегазированной и не содержащей нефти термальной воды,
  - утилизация тепловой энергии дегазированной термальной воды по меньшей мере в одном теплообменнике для нагревания по меньшей мере одного циркулирующего теплоносителя или для опреснения минерализованной воды, например морской воды, а также
  - осуществление по меньшей мере одного процесса сжигания отделенных углеводородов в присутствии воздуха по меньшей мере в одном устройстве сжигания и использование внутренней энергии углеводородов для работы по меньшей мере одного генератора,
  - удаление нежелательных веществ из топочного (отработавшего) газа с помощью устройства для очистки топочного газа, включающего газовый скруббер, в частности аминовое скрубберное оборудование, для удаления  $\text{CO}_2$  из охлажденных топочных газов, и
  - обратная закачка  $\text{CO}_2$  и охлажденной термальной воды в водоносный горизонт.
- Обратная закачка  $\text{CO}_2$  и термальной воды могут осуществляться или раздельно (после перевода  $\text{CO}_2$  в сверхкритическое состояние) или после подачи  $\text{CO}_2$  в охлажденную термальную воду.

В зависимости от сепаратора отделение газа и сырой нефти может осуществляться в одном и том же сепараторе, однако в настоящем изобретении два отдельных сепаратора являются предпочтительными.

В случае водоносных горизонтов, находящихся в условиях очень высокого давления, перед подачей текучей среды водоносного горизонта по меньшей мере в один сепаратор, целесообразно или нужно осуществлять сброс давления до такой степени, чтобы после этого текучая среда была в условиях избыточного давления, предусмотренного для системы. Это можно осуществить выше по потоку от сепаратора, пропуская текучую среду водоносного горизонта через устройство для выработки электроэнергии. Подходящими устройствами являются турбины, соединенные с генератором, или реверсивные компрессоры.

В случае водоносных горизонтов, текучая среда которых содержит как газ, так и сырую нефть, сырая нефть может удаляться со станции и направляться для других применений или, - что может быть особенно целесообразно в случае малых количеств сырой нефти, - может непосредственно сжигаться на станции и использоваться аналогично газу.

Очистка топочного газа может, например, быть оптимизирована тем, что перед устройством сжигания предусмотрено смесительное устройство для смешивания газа и, необязательно, сырой нефти с воздухом для горения, при этом коэффициент смешивания в смесительном устройстве регулируется с помощью лямбда-зонда, помещенного в дымовой поток, а также необязательно может быть предусмотрено предварительное нагревание смеси газ-(нефть)-воздух до ее подачи в устройство сжигания. Альтернативная или дополнительная возможность оптимизировать состав топочного газа заключается в использовании устройства очистки топочного газа, в частности катализатора, который находится ниже по потоку от устройства сжигания и выше по потоку от газового скруббера. Однако в большинстве случаев, оказывается достаточно, соответственно, очистки топочного газа или отделения  $\text{CO}_2$  с помощью газового скруббера.

При использовании газа наряду с нефтью также возможно и в зависимости от состава нефти может быть даже предпочтительнее сжигать газ и нефть в разных устройствах сжигания. Это может быть целесообразно, например, если другое (каталитическое) устройство очистки топочного газа должно быть предусмотрено после устройства сжигания нефти, а не после устройства сжигания газа.

В качестве альтернативы или дополнительно очистка сырой нефти может быть предусмотрена перед сжиганием, благодаря чему вещества, которые могут оказывать влияние на очистку топочного газа или сжигание, такие как тяжелые металлы, соединения серы и т.д., удаляются перед сжиганием и, соответственно, не осаждаются в устройстве сжигания или не попадают в поток топочного газа. Такие способы известны специалисту в области переработки сырой нефти.

С помощью настоящего способа обеспечивается производство электроэнергии и утилизация тепла

местных ископаемых залежей текучих сред водоносного горизонта, без выброса топочных газов.

Другой задачей настоящего изобретения является геотермальная электростанция для использования внутренней энергии геотермальной горячей воды, смешанной с горючими газами и, необязательно, сырой нефтью из водоносного горизонта, в замкнутой системе, включающая в себя: по меньшей мере одно отводящее оборудование для текучей среды водоносного горизонта; газовый и необязательно нефтяной сепаратор для разделения текучей среды водоносного горизонта на термальную воду, газ и, необязательно, сырую нефть; по меньшей мере один теплообменник для утилизации тепловой энергии, содержащейся в термальной воде, для нагревания циркулирующего теплоносителя или в опреснительной установке; устройство сжигания для отделенного газа и, необязательно, устройство сжигания для нефти, вместе с по меньшей мере одним генератором для выработки электроэнергии, соединенным с каждым устройством сжигания; газовый скруббер для отделения  $\text{CO}_2$ , в частности аминовый скруббер, расположенный в потоке топочного газа после устройств для утилизации его тепла; подводящая линия/трубопровод для подачи  $\text{CO}_2$ , полученного после очистки газа, в рециркуляционную линию/трубопровод для термальной воды, выходящей из по меньшей мере одного теплообменника, или линия/трубопровод непосредственно в по меньшей мере одно рециркуляционное оборудование для обратной закачки углекислого газа и охлажденной термальной воды через скважину обратной закачки в водоносный горизонт.

Обратная закачка  $\text{CO}_2$  может быть выполнена двумя способами.

Когда термальная вода в достаточной степени охлаждена,  $\text{CO}_2$  может быть сжат и затем закачан под давлением в рециркуляционную линию/трубопровод для термальной воды, которая выходит из по меньшей мере одного теплообменника, и обратно закачан в водоносный горизонт посредством рециркуляционного оборудования вместе с водой. Этот способ особенно подходит, если тепловая энергия водоносного горизонта использовалась очень интенсивно, т.е. термальная вода была охлаждена до температуры менее  $35^\circ\text{C}$  и особенно предпочтительно до примерно  $27^\circ\text{C}$  или менее.

В случае менее интенсивного использования термальной воды, т.е. при температурах выше  $27^\circ\text{C}$ , особенно по меньшей мере  $35^\circ\text{C}$ , также возможно и предпочтительно сжимать  $\text{CO}_2$  до достижения им сверхкритического состояния ( $\text{scCO}_2$ ) и рециркулировать его в водоносный горизонт отдельно от термальной воды. Эта рециркуляция или обратная закачка осуществляется через реинжекционную скважину до глубин, где давление в водоносном горизонте примерно соответствует давлению  $\text{scCO}_2$  (как правило, по меньшей мере 73 бар (7,30 МПа)). Это можно осуществить с помощью устьевого оборудования, которое в дополнение к линии обратной закачки для термальной воды содержит линию для  $\text{scCO}_2$ . Такая линия для  $\text{scCO}_2$  может представлять собой линию, концентрически расположенную внутри линии обратной закачки, например, концентрическую трубу, в частности трубу, изготовленную из хрома или хромового сплава. После растворения  $\text{CO}_2$  в термальной воде раствор может подаваться еще глубже в водоносный горизонт, например, до глубин 2000-2500 м.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения гибридная геотермальная электростанция дополнительно включает в себя по меньшей мере одно смесительное устройство для смешивания газов и, необязательно, сырой нефти с воздухом для горения, причем указанное смесительное устройство расположено выше по потоку от по меньшей мере одного устройства сжигания и/или устройства очистки топочного газа, например катализатора, который расположен ниже по потоку от устройства сжигания.

В еще одном предпочтительном варианте осуществления изобретения геотермальная электростанция дополнительно включает в себя по меньшей мере один теплообменник, расположенный в потоке топочного газа после устройства очистки топочного газа.

В еще одном предпочтительном варианте осуществления изобретения возможное смешивание  $\text{CO}_2$  с охлажденной термальной водой осуществляется в оросительном скруббере, в частности в оросительном скруббере, который, по меньшей мере, частично заполнен насадкой, при этом газ присутствует при желаемом высоком давлении и "орошается" водой до тех пор, пока вода не станет насыщенной  $\text{CO}_2$ .

Топочный газ, который в установке повышения качества/очистки очищается с помощью аминовой промывки/очистки, обычно имеет два признака, которые являются существенными для отделения  $\text{CO}_2$ : относительно большой объемный поток и относительно низкое содержание  $\text{CO}_2$ . Это означает, что для абсорбции  $\text{CO}_2$  требуется очень большая величина активной поверхности для реакции топочного газа с амином.

Активная поверхность - это область, где топочный газ и аминовый промывочный раствор осуществляют массообмен, т.е. где  $\text{CO}_2$  химически поглощается промывочным/скрубберным раствором. Эта активная поверхность предпочтительно охватывает более одной, например две, секции структурированной насадки, каждая из которых снабжена средствами сбора и перераспределения текучей среды. Сбор и перераспределение обеспечивают более равномерную концентрацию промывочного раствора во всех областях структурированных насадок.

Еще один аспект, который следует учитывать, заключается в том, что аминовый промывочный раствор имеет определенную скорость реакции. Это требует точно определенного, достаточно длинного расстояния протекания реакции, которое должно быть определено с учетом температуры и давления. При температуре аминового промывочного раствора, например, примерно  $35^\circ\text{C}$  и небольшом избыточном давлении примерно 16 бар (1,60 МПа) предпочтительная высота колонны будет составлять пример-

но 30 м. Для обеспечения хорошей абсорбции топочный газ пропускают в противотоке с промывочным раствором. Топочный газ и промывочный/скрубберный раствор должны иметь достаточное время и пространство для реакции, что обеспечивается высотой колонны и активной поверхностью. Для достижения требуемого содержания  $\text{CO}_2$  менее 1 об. % и высокой эффективности абсорбции в очищаемом топочном газе необходимо оптимизировать описанные выше параметры и обеспечить соответствие с ними.

Подходящая промывочная/скрубберная колонна содержит следующие компоненты:

донная часть колонны для сбора обогащенного  $\text{CO}_2$  промывочного раствора, который отводится из донной части и подается на разложение карбоната аммония,  
впускные отверстия для жидкости,  
секции абсорбции и промывки со структурированной насадкой,  
коллекторы и перераспределители жидкости между промывочными секциями,  
каплеотбойник,  
несколько соединений для трубопроводов и измерительных устройств, а также предпочтительно смотровые люки.

Таким образом, для указанных выше параметров и промывочной колонны, содержащей две секции абсорбции, минимальная высота конструкции составляет 30 м.

Чтобы снизить потери амина в обедненном  $\text{CO}_2$  газе на выходе из промывочной колонны предпочтительно последующее промывочное устройство устанавливают наверху колонны.

В этом последующем промывочном устройстве аминсодержащий пар в обедненном  $\text{CO}_2$  газе охлаждается с помощью теплообменника, в результате чего происходит конденсация аминного парового раствора. Этот раствор преимущественно рециркулируют в систему с помощью каплеотбойника.

В результате также минимизируется потеря воды из процесса реакции, что также значительно снижает потребность в воде в процессе промывки.

Для указанных выше параметров подходящий последующий скруббер имеет высоту примерно 6 м, таким образом, промывочная/скрубберная колонна, включающая последующий скруббер, имеет в результате общую высоту примерно 36 м.

Еще одной задачей настоящего изобретения является использование специфических газовых сепараторов, необязательно, в сочетании с последующими устройствами для использования тепловой энергии, содержащейся в горячем газе, и/или устройством сжигания с дополнительным оборудованием для обеспечения оптимально чистого сжигания. Такие устройства могут быть приспособлены для модификации существующих установок и оптимизированы для использования в соответствующих способах модификации.

#### **Краткое описание чертежей**

Дальнейшие варианты осуществления, преимущества и применения изобретения вытекают из прилагаемой формулы изобретения, а также из приведенного ниже описания со ссылкой на фигуры.

На фиг. 1 схематично показано изображение геотермальной электростанции, включающей устройства/оборудование, необходимое или очень желательное для осуществления способа согласно изобретению;

на фиг. 2 - изображение геотермальной электростанции, оснащенной дополнительными устройствами/оборудованием для осуществления способа согласно изобретению;

на фиг. 3 - изображение части геотермальной электростанции, показанной на фиг. 1, для способа, включающего добычу сырой нефти;

на фиг. 4 - изображение части геотермальной электростанции, показанной на фиг. 2, для способа, включающего добычу сырой нефти;

на фиг. 5 - изображение части геотермальной электростанции, показанной на фиг. 2 и фиг. 4, с раздельным сжиганием природного газа и сырой нефти;

на фиг. 6 - изображение части геотермальной электростанции, показанной на фиг. 1 или фиг. 2, с альтернативной раздельной обратной закачкой  $\text{CO}_2$  в виде  $\text{scCO}_2$  и термальной воды; и

на фиг. 7 - изображение части геотермальной электростанции, показанной на фиг. 1 или фиг. 2, с альтернативным использованием термальной воды для опреснения морской воды.

#### **Осуществление изобретения**

На фигурах схематично показана гибридная геотермальная электростанция 1, соединенная с водоносным горизонтом 0 в геологическом пласте. Этот водоносный горизонт 0 содержит текучую среду А водоносного горизонта, которая представляет собой термальную воду Т, содержащую газ G и, необязательно, сырую нефть Е. Текучая среда А водоносного горизонта предпочтительно имеет исходную температуру  $T_i$  60°C и более, а также исходное давление  $p_i$  в водоносном горизонте 0, которое выше, чем атмосферное давление.

В принципе, любая текучая среда А водоносного горизонта является подходящей текучей средой А водоносного горизонта, при этом текучие среды А водоносного горизонта, имеющие высокую температуру и высокое содержание газа и, необязательно, высокое содержание сырой нефти, являются предпочтительными. В случае текучих сред водоносного горизонта с настолько низким содержанием солей, что после рециркуляции охлажденной термальной воды, необязательно обогащенной  $\text{CO}_2$ , не происходит

кристаллизации, которая может вызвать закупорку рециркуляционной линии, работа по техническому обслуживанию в целом является незначительной. Меры, которые обычно предотвращают закупорку скважин и трубопроводов, описаны ниже.

С помощью по меньшей мере одной и предпочтительно нескольких, например 4, отводящих скважин 100, которые могут проходить на глубину от нескольких метров до нескольких километров от поверхности, осуществлен по меньшей мере один вход в водоносный горизонт 0. С помощью отводящего оборудования 10 в зоне соответствующей отводящей скважины 100 текучая среда А водоносного горизонта подается на геотермальную электростанцию 1.

Предпочтительно каждая отводящая скважина 100 содержит отводящее оборудование 10, а каждое отводящее оборудование 10 содержит откачивающий насос. Отведение через более чем одну, предпочтительно 4, отводящие скважины с помощью одного насоса на скважину имеет преимущество, заключающееся в том, что в процессе обычной работы насосы могут работать с уменьшенной мощностью, например, составляющей в случае 4 насосов 2/3 от их максимальной мощности. В связи с этим, срок службы насосов может быть повышен, и в случае отключения одного насоса, например для обслуживания, пропускную способность можно легко сохранять постоянной за счет увеличения мощности других насосов.

Текучая среда А водоносного горизонта, отведенная из водоносного горизонта 0 с помощью по меньшей мере одного отводящего оборудования 10, подается в устройство 11 газовой сепарации. В данном устройстве 11 газовой сепарации газ G и, в частности, часть чистого метана или горючих углеводородов, соответственно, выделяются из текучей среды А водоносного горизонта и далее обрабатываются и используются отдельно от термальной воды T.

Разделение текучей среды А водоносного горизонта на термальную воду T и (обогащенный метаном) газ G предпочтительно осуществляется с помощью устройства 11 сепарации. В одном варианте осуществления такого устройства 11 сепарации площадь поверхности текучей среды А водоносного горизонта значительно увеличивается. Благодаря большой площади поверхности, высокой температуре текучей среды водоносного горизонта, соответствующей температуре  $T_i$ , обнаруживаемой в водоносном горизонте (часто 60°C или более), и сбросу давления текучей среды А водоносного горизонта от величины  $p_i$  до гораздо более низкого давления, такого как небольшое избыточное давление, например 20-500 гПа (вся информация о давлении относится к избыточному давлению по отношению к давлению окружающей среды), газ G полностью или по меньшей мере почти полностью выделяется из термальной воды. Дополнительные меры не требуются. Повышение площади поверхности в устройстве 11 сепарации может быть получено разными способами, в частности, подвергая текучую среду водоносного горизонта сильным перемещениям, например, с помощью энергичного перемешивания, или с помощью распыления текучей среды А водоносного горизонта в устройстве 11 сепарации в виде мелких капель. Отведение газа осуществляется предпочтительно непрерывно.

Поскольку отделенный газ G имеет высокое содержание воды, его осушают в осушителе 22 перед подачей в устройство сжигания. Таким образом, на сжигание подается минимально разбавленный газ. Поскольку газ имеет повышенную температуру, аналогичную  $T_i$ , его тепловая энергия может использоваться по меньшей мере в одном устройстве для использования тепловой энергии, таком как теплообменник 21, например, для (предварительного) нагревания теплоносителя, который впоследствии получает свою конечную температуру в теплообменниках 12, 13, 14, работающих с термальной водой.

В альтернативном устройстве 11 газовой сепарации разделение выполняется не при небольшом избыточном давлении, а при значительном избыточном давлении, обычно примерно 3 бар (3000 гПа) при 104°C. Избыточное давление приводит к тому, что меньшее количество воды находится в газообразной форме и отводится вместе с газом, что приводит к значительно меньшей нагрузке конденсатора. Тем не менее, для того чтобы добиться быстрого разделения газа и воды, предпочтительным является лежачий цилиндрический сосуд высокого давления, т.е. сепаратор, протяженность которого в горизонтальном направлении больше его вертикальной протяженности. Текучая среда водоносного горизонта также может быть распылена внутри данного сепаратора, однако чаще всего достаточно просто подавать ее с одной стороны, например сверху, и отводить дегазированную термальную воду, как можно дальше от впускного отверстия, на противоположной стороне сосуда высокого давления снизу. Кроме того, при использовании данного сепаратора отведение газа предпочтительно осуществляется непрерывным образом, причем с этим газовым сепаратором 11, приспособленным для работы под высоким давлением, предпочтительно соединяют расположенный ниже по потоку конденсатор.

Если текучая среда А водоносного горизонта также содержит сырую нефть E, предпочтительно, чтобы нефть отделялась в дополнительном сепараторе, как правило в сепараторе, расположенном после газового сепаратора. В зависимости от количества сырая нефть может быть удалена из системы, или она может быть подана на сжигание внутри системы.

В том случае, когда текучие среды А водоносного горизонта находятся в условиях очень высокого давления, может потребоваться сбросить часть давления, т.е. до избыточного давления, желательного в системе, перед газовым сепаратором 11. Высвобождаемая при этом энергия в подходящем случае также используется, например, для выработки электроэнергии с помощью устройства, как турбина, соединенная с электрогенератором или реверсивным компрессором.

Тепловая энергия, соответственно, не содержащей газа или дегазированной и, необязательно, отделенной от сырой нефти термальной воды Т на геотермальной электростанции 1 используется таким образом, что термальная вода Т подается в по меньшей мере одно устройство 12-16 для использования тепловой энергии с помощью насоса 18. Это по меньшей мере одно устройство для использования тепловой энергии может быть, в частности, по меньшей мере одним теплообменником (показаны три теплообменника 12, 13, 14) или оборудованием для выработки электроэнергии, например паровым двигателем низкого давления или энергоустановкой, утилизирующей отработанное тепло, или энергоустановками 15, 16, работающими по органическому циклу Ренкина (ОЦР) (см. ниже). Это использование может представлять собой нагревание по меньшей мере одного циркулирующего теплоносителя или теплопередающей среды. На последующих этапах технологического процесса теплоноситель/теплопередающая среда, выходящая из теплообменников 12, 13, 14, используется, в частности, в системе централизованного теплоснабжения для обогрева квартир, теплиц и т.д., или для выработки электроэнергии.

В альтернативном применении теплообменник используется для работы установки низкотемпературного термического опреснения (НТТО). В этом процессе минерализованная вода разделяется на водяной пар и концентрированную соленую воду первоначально в одном или более теплообменниках 12, 13, 14, работающих с термальной водой, и далее, необязательно, в одном или более теплообменниках 19, 19а, нагреваемых водяным паром (см. фиг. 7). При этом следует учитывать, что энергосодержание, соответственно, термальной воды или водяного пара уменьшается после теплообменника 12 и что предпочтительно также уменьшается давление, чему может способствовать использование насоса 18а. На последнем этапе данного способа используется конденсатор, который конденсирует водяной пар, остающийся на выходе из последнего теплообменника. Этот конденсатор может, например, охлаждаться свежей морской водой в качестве охлаждающей среды.

Если такого источника воды, как море, поблизости нет, вместо морской воды также можно использовать охлажденную термальную воду или другой источник недостаточно чистой воды, в то же время морская вода является предпочтительной.

По усмотрению и предпочтительно термальная вода может использоваться для выработки электроэнергии или в теплообменнике 15 выше по потоку от теплообменников 12, 13, 14, или, необязательно, в теплообменнике, интегрированном в процесс опреснения, например, для конденсации водяного пара на последнем этапе (не показано на фигурах). В подходящем способе для выработки электроэнергии используется, например, паровой двигатель низкого давления или энергоустановка, утилизирующая отработанное тепло, или ОЦР-энергоустановка (15, 16). Особенно подходящим и предпочтительным способом выработки электрической энергии является ОЦР-процесс (на основе органического цикла Ренкина) для газовых турбин. В ОЦР-процессе теплопередающая среда нагревается выше температуры кипения в теплообменнике 15, эта теплопередающая среда используется для работы газовой турбины 16 и после конденсации рециркулируется в теплообменник 15. Для такого процесса подходящей является теплопередающая среда с температурами кипения, которые примерно на 15-25°C ниже температуры термальной воды, например находятся в диапазоне от 45°C до 50°C, например 49°C. Хотя эффективность таких ОЦР-процессов является низкой (обычно < 20%, чаще всего < 15%), было обнаружено, что электроэнергия, вырабатываемая в расположенном выше по потоку теплообменнике, чаще всего, является достаточной для мощности насоса, необходимой, например, для поддержания нагревательных контуров в последующих теплообменниках 12, 13, 14.

В зависимости от энергосодержания термальной воды режимы использования можно комбинировать, т.е. использовать для выработки электроэнергии в ОЦР-процессе и/или для создания централизованного теплоснабжения, и/или для опреснения.

Для оптимизации процесса сжигания устройство 24 сжигания может снабжаться не чистым газом G, а газом G, предварительно смешанным с воздухом в смесительном устройстве 23.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения газ G, который необязательно был предварительно смешан с воздухом, предварительно нагревают перед его поступлением в устройство 24 сжигания. Это может быть осуществлено с помощью теплообменника 26, теплоноситель которого, например вода, был нагрет топочными газами, образовавшимися в результате сжигания газа, в теплообменнике 29, расположенном в потоке топочных газов.

Кроме того, в альтернативном способе, в котором, кроме природного газа, также сжигается сырая нефть, предварительное смешивание с воздухом может иметь результатом улучшенное сжигание. Однако в этом случае может быть целесообразно предусмотреть дополнительное впрыскивание сырой нефти или смеси сырой нефти и природного газа в виде мелких капель.

В еще одном варианте осуществления изобретения с сжиганием отделенной сырой нефти часто не осуществляется предварительное смешивание с воздухом, хотя такое предварительное смешивание также может здесь применяться, в частности, если сырая нефть может быть распылена в смесительную камеру в виде мелких капель и затем немедленно подана в устройство сжигания.

В одном варианте осуществления способа согласно изобретению остаточное содержание кислорода в топочном газе измеряется с помощью лямбда-зонда, и после этого отношение подаваемого воздуха для горения к газу G, в частности к метану, и, необязательно, сырой нефти E надлежащим образом регулируется.

ется в смесительном устройстве 23 и/или непосредственно в устройстве 24 сжигания. Соотношение можно регулировать таким образом, чтобы сжигание протекало с высокой эффективностью и с минимально возможным количеством вредных газов. Для того чтобы предотвратить любые повреждения в водоносном горизонте 0 после дальнейшей обратной закачки в водоносный горизонт 0, в первую очередь следует проследить, чтобы в топочном газе отсутствовал кислород, поскольку кислород может привести к повреждениям в водоносном горизонте 0, в частности, из-за химического разложения углеводородов, например деградации метана. Это может быть достигнуто с помощью очистки газа в газовом скруббере, в частности в аминовом скруббере 30, с которым соединено устройство 31 для разложения карбоната аммония (см. ниже), необязательно, вместе с регулируемым сжиганием и/или последующей очисткой топочного газа в устройстве 27 очистки топочного газа, например, с помощью катализатора.

Ниже по потоку по меньшей мере от одного устройства 24, 24а сжигания по меньшей мере один генератор 25, 25а (предпочтительно один генератор на одно устройство сжигания) работает с помощью сжигания газа G и, необязательно, сырой нефти E, осуществляемого в устройстве сжигания, причем указанный генератор обеспечивает электроэнергию, которая может использоваться для работы таких устройств, как насосы на геотермальной электростанции, или которая может подаваться в энергосистему. В качестве устройства 24 сжигания могут использоваться газовые двигатели или газовые турбины, в качестве устройства 24а сжигания - дизельные двигатели.

Необязательное устройство 27 очистки топочного газа, расположенное ниже по потоку от по меньшей мере одного устройства 24, 24а сжигания и по меньшей мере одного генератора 25, 25а, гарантирует, что достигается лучшее сжигание газа G и, необязательно, сырой нефти E и атмосферного кислорода и что предпочтительно также удаляются монооксид углерода и оксиды азота, благодаря чему образующиеся в результате и направляемые далее топочные газы предпочтительно не содержат или содержат малые количества, соответственно, кислорода, углеводородов, оксидов азота и монооксида углерода, и преимущественно содержат углекислый газ, азот и воду. В качестве устройства 27 очистки топочного газа могут использоваться, например, лямбда-зонды с различными известными катализаторами для топочного газа. Выбор подходящего катализатора осуществляется на основе типа используемого топлива и используемого устройства сжигания. Для устройств сжигания, которые работают при значениях лямбда, равных 1, например, подходят регулируемые катализаторы, такие как трехкомпонентный катализатор, окислительный нейтрализатор для двигателей, работающих на бедных смесях, и т.д. В случае сжигания сырой нефти катализаторы и фильтры частиц, известные для дизельных двигателей, могут использоваться самостоятельно или в дополнение к катализаторам, предпочитаемым для газа.

В случае использования более чем одного устройства 24, 24а сжигания, потоки топочного газа объединяются после устройства сжигания или между, или ниже по потоку от одного или нескольких катализаторов с различной областью применения.

Энергосодержание потока топочного газа, выходящего из по меньшей мере одного устройства 24, 24а сжигания, дополнительно используются в по меньшей мере одном расположенном ниже по потоку устройстве использования энергии топочного газа, необязательно после каталитической обработки. Поток топочного газа, образующийся в результате процесса сжигания, имеет температуру в несколько сотен градусов Цельсия, как правило выше 500°C, и его энергосодержание может использоваться в качестве источника тепла или для выработки дополнительной электроэнергии, например, в одном или более ОЦР-процессах. В данном изобретении использование в качестве источника тепла является предпочтительным.

Для использования в качестве источника тепла поток топочных газов может использоваться непосредственно для нагревания теплоносителя, например термомасла или воды, в одном или более теплообменниках 28, 29. Например, топочный газ, выходящий из устройства сжигания или по меньшей мере одного катализатора, соответственно, с температурой более 500°C, например 520°C, может использоваться сначала в теплообменнике 28 для нагревания теплоносителя, который может применяться для извлечения CO<sub>2</sub> после аминовой очистки (см. ниже), и топочный газ, который был охлажден до температуры ниже 200°C, например 140°C, может использоваться в дополнительном теплообменнике 29 для нагрева теплоносителя, который, например, используется для предварительного нагрева воздушно-газовой смеси или смеси воздух-газ-сырая нефть, или смеси газ-сырая нефть перед ее подачей в устройство 24 сжигания, или возможно, смеси воздух-сырая нефть перед ее подачей в устройство 24а сжигания, соответственно, если такое предварительное нагревание предполагается. На этой стадии, как правило, требуется лишь незначительное дополнительное охлаждение, т.е. до температуры немного выше 100°C, например 120°C, чтобы в линиях/трубопроводах не происходила конденсация.

Вместо использования энергии горячего топочного газа в качестве средства нагревания она может непосредственно использоваться после устройства 24 сжигания или устройства 27 очистки топочного газа, соответственно, или после по меньшей мере одного или между несколькими теплообменниками 28, 29 для дополнительной выработки электроэнергии. Выработка электроэнергии может, например, осуществляться в одном или более ОЦР-процессах (на основе органического цикла Ренкина) для паровых турбин, как уже было описано выше, но необязательно с теплопередающей средой с более высокой температурой кипения (в случае нескольких ОЦР-процессов, расположенных один за другим, с понижением

температуры кипения), но также и с помощью других устройств для выработки электроэнергии, таких как паровые двигатели низкого давления или энергоустановки, утилизирующие отработанное тепло. Как описано выше, после выработки электроэнергии отработанное тепло газов сжигания может использоваться для нагревания воздушно-газовой смеси или для нагревания охлажденной термальной воды или охлажденного циркулирующего теплоносителя для централизованного теплоснабжения.

Весь охлажденный и энергетически использованный топочный газ, который в основном состоит из углекислого газа, подается, необязательно после предварительной промывки, в газовый скруббер 30 для удаления других газов, таких как азот и, возможно, незначительных остатков оксидов азота, монооксида углерода и кислорода. В этом газовом скруббере  $\text{CO}_2$  удаляется из газового потока. Предпочтительным газовым скруббером 30 является аминовый скруббер, в котором  $\text{CO}_2$  удаляется из газового потока с помощью амина, такого как амин с формулой  $\text{NR}_x\text{H}_{3-x}$ , например алкиламин. Раствор, содержащий растворенный карбонат аммония, далее разлагается при температуре выше  $100^\circ\text{C}$ , например при  $140^\circ\text{C}$ , в устройстве 31 для разложения карбоната аммония  $(\text{HNR}_x\text{H}_{3-x})_y\text{H}_{2-y}\text{CO}_3$  (устройстве термической регенерации амина, предпочтительно нагреваемом с помощью теплоносителя, который был нагрет топочным газом, например, в теплообменнике 28). Амин, высвобожденный в устройстве 31, рециркулируют в газовый скруббер 30. Влажный  $\text{CO}_2$  подают в компрессор 33 через конденсатор 32 (возможно, в теплообменник и расположенный после него конденсатор 32). В одном варианте осуществления изобретения сжатый  $\text{CO}_2$  смешивают с охлажденной термальной водой, подлежащей рециркуляции в рециркуляционную линию/трубопровод 17, посредством смесительного устройства, такого как оросительный скруббер 34. В другом варианте осуществления изобретения  $\text{CO}_2$  сжимают до сверхкритического состояния в компрессоре и непосредственно закачивают в водоносный горизонт 0 через рециркуляционную линию/трубопровод 17а, рециркуляционное оборудование 40 и рециркуляционную скважину 400 на глубину, где гидростатическое давление соответствует давлению  $\text{scCO}_2$ . Вода, удаленная в конденсаторе 32 и имеющая температуру обычно менее  $170^\circ\text{C}$ , может необязательно быть подана в термальную воду, которая используется в процессе получения электроэнергии, например в ОЦП-процессе 15, 16, и/или для создания централизованного теплоснабжения в один или несколько теплообменников 12, 13, 14 для извлечения содержащейся в ней тепловой энергии. Если теплообменник предусмотрен перед конденсатором 32, полученная в нем энергия может использоваться, например, для нагрева термальной воды для использования в ОЦП-процессе 15, 16, или для непосредственного дополнительного нагревания теплопередающей среды в ОЦП-процессе.

Тепло, содержащееся в топочных газах, образующихся в результате процесса сжигания, может, в том случае, если оно присутствует в избытке, в любой момент использоваться в одном или более теплообменниках опреснительной установки (традиционной или в соответствии со способом НТГО, описанным на фиг. 7).

Ниже по потоку от последнего теплообменника, например теплообменника 14, охлажденная термальная вода T имеет температуру  $T_f$ , на основе которой может быть определено давление, необходимое для растворения углекислого газа в термальной воде. Было установлено, что подходящие значения температуры  $T_f$  и температуры  $T_g$  рециркулирующей термальной воды составляет менее  $35^\circ\text{C}$ , в частности  $32^\circ\text{C}$  или менее, гораздо предпочтительнее  $30^\circ\text{C}$  или менее, например  $27^\circ\text{C}$  или менее. Давление и температуру следует выбирать так, чтобы  $\text{CO}_2$  полностью растворялся в охлажденной термальной воде. Для растворения всего образующегося при сжигании углекислого газа в охлажденной термальной воде, например, при температуре  $27^\circ\text{C}$ , обычно требуется давление 9 бар (0,90 МПа).

В процедурном отношении растворение углекислого газа должно выполняться таким образом, чтобы предотвратить образование пузырьков газа, что может быть достигнуто с помощью охлаждения термальной воды, выбора давления, как указано выше, и подходящего смесительного устройства, в частности оросительного скруббера 34. Давление  $p_g$  рециркуляции/обратной закачки для термальной воды, смешанной с топочным газом или с  $\text{CO}_2$ , соответственно, обычно соответствует по меньшей мере исходному давлению  $p_i$  текучей среды A в водоносном горизонте 0. Опасность взрыва при подаче топочного газа в термальную воду исключена, поскольку во время сжигания были предприняты меры, чтобы в топочных газах отсутствовали горючие углеводороды или кислород, а также за счет полностью изолированного проведения процесса, исключаяющего любой доступ кислорода из окружающей среды. Для подачи углекислого газа в термальную воду или для его растворения в термальной воде, соответственно, давление газа и уровень жидкости в оросительном скруббере 34 должны регулироваться.

Через по меньшей мере одну и предпочтительно столько же скважин 400 обратной закачки, сколько и отводящих скважин 100, каждая из которых соединена с рециркуляционным оборудованием 40 по меньшей мере с одним насосом 35 обратной закачки, термальная вода, смешанная с углекислым газом и имеющая температуру  $T_g$  рециркуляции и давление  $p_g$  рециркуляции, может быть рециркулирована в водоносный горизонт 0. Различные измерения показали, что с помощью рециркуляции образованного углекислого газа стимулируется высвобождение газа G из слоев породы водоносного горизонта 0, в связи с чем продолжительность использования водоносного горизонта 0 при применении данного способа может быть увеличена.

В частности, когда температура  $T_f$  после последнего теплообменника все еще составляет  $35^\circ\text{C}$  или

более, оказалось предпочтительным сжимать  $\text{CO}_2$  до сверхкритического состояния ( $\text{scCO}_2$ ) и закачивать его в водоносный горизонт отдельно от термальной воды. Подача в термальную воду далее происходит при давлении в водоносном горизонте, которое соответствует давлению  $\text{scCO}_2$  (при примерно  $31^\circ\text{C}$ , обычно около 74 бар (7,4 МПа)). Такое давление чаще всего обнаруживается на глубине 700-800 м. После подачи  $\text{scCO}_2$  в термальную воду Т или растворения его в термальной воде Т, соответственно, этот раствор может быть подан глубже в водоносный горизонт.

Повышенное содержание  $\text{CO}_2$  в отводимой текучей среде водоносного горизонта из-за обратной закачки содержащей  $\text{CO}_2$  термальной воды не ожидается, поскольку охлажденная содержащая  $\text{CO}_2$  термальная вода, закачиваемая обратно, имеет более высокую плотность, чем горячая текучая среда водоносного горизонта и, соответственно, опускается вниз водоносного горизонта 0, при этом текучая среда водоносного горизонта, отводимая в верхнюю область водоносного горизонта, остается обедненной  $\text{CO}_2$ , а также в результате расстояния между рециркуляцией и отведением. Основываясь на расчетах, в случае средних размеров водоносных горизонтов, использование в течение нескольких лет становится возможным, без необходимости принимать во внимание увеличение содержания  $\text{CO}_2$  более чем на 2%.

Представленный здесь способ (с рассматриваемыми исключениями) является замкнутой системой, в которой использование энергии отведенной текучей среды А водоносного горизонта максимально увеличивается, и термальную воду и образованные топочные газы после использования рециркулируют в водоносный горизонт 0 через по меньшей мере одну скважину 400 обратной закачки. По меньшей мере одна скважина 400 обратной закачки предпочтительно удалена от по меньшей мере одной отводящей скважины 100 в водоносном горизонте 0 на расстояние L. Для минимизации нарушения водоносного горизонта 0 предпочтительно размещать отводящую скважину 100 и скважину 400 обратной закачки на расстоянии от нескольких сотен метров до нескольких километров друг от друга. Предпочтительно, отводящее оборудование 10 и рециркуляционное оборудование 40 независимы друг от друга, при этом одно насосное оборудование используется для отведения текучей среды А водоносного горизонта, а другое - для обратной закачки термальной воды и  $\text{CO}_2$ , отдельно друг от друга.

Чтобы избежать засорения отводящих скважин или скважин обратной закачки в данном способе возможно и предпочтительно, чтобы направление процесса было обратимым, т.е. чтобы отводящая скважина 100 становилась скважиной 400 обратной закачки, а скважина 400 обратной закачки становилась отводящей скважиной 100. Это может быть достигнуто за счет того, что каждая скважина или каждое отводящее оборудование и оборудование обратной закачки оснащены двумя насосами, один из которых служит для отведения, а другой - для обратной закачки, и за счет того, что каждая скважина оснащена трубами, которые позволяют осуществлять подачу в устройство 11 сепарации или рециркуляцию в водоносный горизонт 0, и поскольку их можно регулировать по мере необходимости. Еще одна необходимость заключается в том, чтобы отводящие скважины 100 и скважины 400 обратной закачки были близко расположены к геотермальной станции и находились бы на близком расстоянии друг от друга на поверхности, что может быть достигнуто с помощью наклонного бурения скважин, например, при котором расстояние на поверхности составляет от 5 до 15 м, например примерно 10 м, а расстояние в водоносном горизонте 0 составляет до 2 км.

В одном из вариантов осуществления изобретения, кроме  $\text{CO}_2$ , образующегося в устройстве 24 сжигания, также антропогенный  $\text{CO}_2$  из промышленных или других источников может быть растворен в термальной воде и подан в водоносный горизонт 0 через скважину 400 обратной закачки для геологического захоронения. При этом становится возможна дополнительная секвестрация  $\text{CO}_2$ .

Возможное поступление дополнительного антропогенного  $\text{CO}_2$  предпочтительно происходит выше по потоку от газового скруббера, так что данный  $\text{CO}_2$  также очищается.

В некоторых случаях рециркуляция термальной воды, необязательно смешанной с топочным газом, приводит к стимуляции водоносного горизонта 0, тем самым расширяя возможности использования ресурсов.

В зависимости от конструкции отдельных частей геотермальной станции и энергосодержания водоносного горизонта может присутствовать более чем одно из описанных выше устройств/оборудования, работающих параллельно или последовательно, и они также охватываются настоящим изобретением, даже если это не указано явным образом.

### Модернизация

Для некоторых уже существующих геотермальных станций может быть целесообразна модернизация, чтобы способ утилизации энергии приблизительно соответствовал описанному выше оптимизированному способу утилизации энергии, или даже чтобы данный оптимизированный способ мог быть осуществлен. Существующая геотермальная станция для использования внутренней энергии термальной воды Т, содержащей газ G и, необязательно, сырую нефть E из водоносного горизонта 0, на сегодняшний день обычно включает отводящее оборудование 10 для текучей среды А водоносного горизонта, устройство 11 газовой сепарации, устройство 24 сжигания для отделенного газа, а также рециркуляционное оборудование 40 для обратной закачки охлажденной термальной воды Т в водоносный горизонт 0.

С одной стороны, такие станции могут быть модернизированы одним из особенно подходящих устройств 11 сепарации:

(i) в которых выделение газа G из термальной воды T осуществляется с помощью создания большой площади поверхности, температуры и, необязательно, сброса давления текучей среды водоносного горизонта, добываемой под давлением, или

(ii) в которых выделение газа G из термальной воды T осуществляется под давлением в сепараторе с большой поверхностью, и в которых газ G выделяется при температуре, близкой к T<sub>i</sub> и может необязательно использоваться по меньшей мере в одном устройстве для использования тепловой энергии, в частности в теплообменнике 21.

В качестве альтернативы или в дополнение, существующие станции могут быть модернизированы с помощью установки очистки/утилизации топочного газа, содержащей по меньшей мере одно из следующего дополнительного оборудования:

(i) по меньшей мере одно устройство для выработки электроэнергии, такое как газовый двигатель с расположенным ниже по потоку генератором и/или ОЦР-энергоустановка,

(ii) по меньшей мере один теплообменник для использования энергии, содержащейся в топочном газе,

(iii) газовый скруббер 30, соединенный с компрессором для (a) подачи CO<sub>2</sub> в охлажденную термальную воду перед ее обратной закачкой в водоносный горизонт 0, или (b) для сжатия CO<sub>2</sub> до достижения им сверхкритического состояния и его прямой обратной закачка в водоносный горизонт 0, при этом газовый скруббер является в частности, аминовым скруббером 30, соединенным с расположенным ниже по потоку устройством 31 (термической регенерации амина) путем разложения карбоната аммония, образованного в аминовом скруббере,

(iv) оросительный скруббер 34 для смешивания CO<sub>2</sub> и термальной воды,

(v) смесительное устройство 23 для смешивания газа и, необязательно, сырой нефти с воздухом для горения выше по потоку от устройства 24 сжигания и/или устройства 27 очистки топочного газа, расположенного ниже по потоку от устройства 24, 24а сжигания, причем указанное устройство 27 очистки топочного газа содержит по меньшей мере один катализатор и лямбда-зонд для регулирования сжигания/предварительного смешивания газа с воздухом для горения,

(vi) если текучая среда водоносного горизонта не содержит сырой нефти и не содержит или не содержит достаточного количества газа, соединительный трубопровод к трубопроводу природного газа или к трубопроводу для сырой нефти для подачи природного газа или сырой нефти в смесительное устройство 23 или в устройство 24, 24а сжигания, благодаря чему геотермальная станция может использоваться для процесса улавливания и хранения углерода (УХУ),

(vii) соединение с опреснительной установкой, такой как опреснительная установка, работающая в соответствии со способом НТТО, в частности, установка для опреснения морской воды,

(viii) если водоносный горизонт находится в условиях очень высокого давления, устройство сброса давления, расположенное выше по потоку от устройства сепарации, преобразующее давление в электро-энергию.

Если по меньшей мере одно, предпочтительно более одного, в частности все указанные выше устройства (i)-(v) и, необязательно, (vi)-(viii) соединены с существующей геотермальной станцией, энерго-содержание текучей среды А водоносного горизонта может в большей степени или практически полностью использоваться, и рециркуляция содержащей CO<sub>2</sub> термальной воды может осуществляться без негативного воздействия на водоносный горизонт 0.

Способ по изобретению или геотермальная станция по изобретению, соответственно, могут также использоваться для водоносных горизонтов, содержащих мало или совсем не содержащих горючих газов и/или содержащих мало или совсем не содержащих сырой нефти, при условии, что имеется внешний источник газа, в частности источник природного газа, например, газопровод. Такая станция не имеет устройства 11 газовой сепарации, и текучая среда водоносного горизонта/термальная вода подается непосредственно в устройства 12-16 утилизации тепловой энергии. Газ из внешнего источника подается непосредственно в устройство сжигания или в расположенное перед ним устройство для улучшения сжигания. В качестве альтернативы, но менее предпочтительно, также может использоваться внешний источник сырой нефти.

Хотя были показаны и описаны предпочтительные в настоящее время варианты осуществления изобретения, следует четко понимать, что изобретение не ограничивается этим, а может быть осуществлено и практически реализовано иными путями в пределах объема следующей формулы изобретения.

Перечень ссылок:

0 - водоносный горизонт,

1 - геотермальная станция,

10 - отводящее оборудование/отводящее устройство,

100 - отводящая скважина,

11 - устройство газовой сепарации (сепаратор),

11а - устройство сепарации сырой нефти (сепаратор нефти),

12-14 - устройства или оборудование, соответственно, для использования тепловой энергии термальной воды, в частности теплообменники,

15, 16 - устройства/оборудование/установки для использования тепловой энергии термальной воды для выработки электроэнергии, например паровой двигатель низкого давления или оборудование для выработки электроэнергии на основе отработанного тепла, или, в частности, ОЦР-установка для выработки электроэнергии,

17 - рециркуляционный трубопровод/трубопровод обратной закачки,

18 - насос,

18а - насос для небольшого снижения давления в НТТО-процессе,

19, 19а - теплообменники для использования энергии, содержащейся в водяном паре, в НТТО-процессе,

20 - конденсатор или ОЦР-оборудование для выработки электроэнергии,

21 - устройство (теплообменник) для утилизации тепловой энергии газа,

22 - устройство (конденсатор) для осушки газа с удалением водяного конденсата и, необязательно, для использования тепловой энергии газа,

23 - смесительное устройство,

24, 24а - устройства сжигания (газа),

25, 25а - генераторы (электроэнергии),

26 - теплообменник для предварительного нагрева газа,

27 - оборудование для очистки топочного газа/устройство очистки топочного газа/катализатор для топочного газа и лямбда-зонд,

28, 29 - устройство для использования/утилизации тепловой энергии топочного (отработавшего) газа, в частности теплообменник,

30 - газовое скрубберное оборудование, газовый скруббер (аминовый скруббер, аминовое скрубберное оборудование),

31 - устройство для разложения карбоната аммония (термической регенерации амина),

32 - конденсатор,

33 - компрессор,

34 - смесительное устройство, в частности оросительный скруббер,

35 - насос обратной закачки,

40 - устройство рециркуляции/устройство секвестрации,

400 - скважина обратной закачки,

A - текучая среда водоносного горизонта/термальная вода, содержащая газ (Т+G),

T<sub>i</sub> - исходная температура текучей среды водоносного горизонта,

p<sub>i</sub> - исходное давление,

T - термальная вода,

T<sub>f</sub> - температура охлажденной дегазированной термальной воды,

T<sub>г</sub> - температура рециркулируемой термальной воды, содержащей CO<sub>2</sub>,

p<sub>г</sub> - давление обратной закачки термальной воды, содержащей топочный газ,

G - газ,

E - сырая нефть,

L - расстояние между отводящей скважиной и скважиной обратной закачки.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ использования внутренней энергии текучей среды (A) водоносного горизонта, содержащей геотермальную горячую воду (T), смешанную с растворенным газом (G), характеризующийся следующими этапами:

добыча текучей среды (A) из водоносного горизонта (0) с помощью отводящего оборудования (10) через более чем одну отводящую скважину,

отделение газа (G) путем дегазации текучей среды (A) водоносного горизонта в устройстве (11) газовой сепарации с образованием дегазированной термальной воды (T),

утилизация тепловой энергии дегазированной термальной воды (T) по меньшей мере в одном устройстве/оборудовании для утилизации тепловой энергии, а также

осуществление по меньшей мере одного процесса сжигания отделенного газа (G) в присутствии воздуха по меньшей мере в одном устройстве (24, 24а) сжигания, которое является газовым двигателем, с образованием топочного газа и использование внутренней энергии газа (G) для работы по меньшей мере одного генератора (25, 25а),

удаление нежелательных веществ из топочного газа с помощью устройства очистки топочного газа, содержащего аминовый скруббер (30) с расположенным ниже по потоку устройством (31) для разложения карбоната аммония, нагретого с помощью теплоносителя, который был нагрет топочным газом, для отделения CO<sub>2</sub> и рециркуляция амина в аминовый скруббер (30), и

обратная закачка отделенного CO<sub>2</sub> и охлажденной термальной воды (T) в водоносный горизонт (0) через более чем одну скважину обратной закачки, удаленную от более чем одной отводящей скважины

для минимизации нарушения водоносного горизонта,

при этом смесительное устройство (23) для смешивания газа (G) с воздухом для горения расположено выше по потоку по меньшей мере от одного устройства (24, 24a) сжигания, причем отношение компонентов смеси регулируют с помощью лямбда-зонда, помещенного в потоке топочного газа,

при этом указанная смесь газ-воздух перед подачей по меньшей мере в одно устройство (24, 24a) сжигания предварительно нагревают в теплообменнике (26) для предварительного нагрева газа,

при этом очистку топочного газа осуществляют в устройстве (27) очистки топочного газа, которое содержит катализатор и расположено ниже по потоку от устройства (24) сжигания,

при этом обратную закачку CO<sub>2</sub> и охлажденной термальной воды выполняют

либо путем сжатия CO<sub>2</sub> и затем его закачки под давлением в рециркуляционную линию/трубопровод для термальной воды, которая выходит по меньшей мере из одного устройства/оборудования для утилизации тепловой энергии, содержащейся в термальной воде (T), и путем его обратной закачки в водоносный горизонт посредством рециркуляционного оборудования вместе с водой,

либо путем сжатия CO<sub>2</sub> до достижения им сверхкритического состояния (scCO<sub>2</sub>) и его рециркулирования в водоносный горизонт отдельно от термальной воды через скважину обратной закачки до глубин, где давление в водоносном горизонте примерно соответствует давлению scCO<sub>2</sub>, растворения CO<sub>2</sub> в одновременно закачиваемой обратно термальной воде и подачи раствора глубже в водоносный горизонт, для окончательной секвестрации.

2. Способ по п.1, в котором текучая среда (A) водоносного горизонта дополнительно содержит сырую нефть (E), при этом способ дополнительно включает следующие этапы:

отделение сырой нефти (E) с образованием дегазированной и не содержащей нефти термальной воды (T),

осуществление по меньшей мере одного процесса сжигания с отделенной сырой нефтью (E) в дизельном двигателе и утилизация внутренней энергии сырой нефти (E) для работы по меньшей мере одного генератора (25, 25a),

при этом смесительное устройство (23) предназначено для смешивания газа (G) и сырой нефти (E) с воздухом для горения,

при этом смесь сырая нефть-воздух или смесь сырая нефть-газ перед подачей в по меньшей мере одно устройство (24, 24a) сжигания предварительно нагревают в теплообменнике (26).

3. Способ по п.1 или 2, в котором кроме работы по меньшей мере одного генератора (25) использование внутренней энергии газа (G) или газа и сырой нефти (E) включает утилизацию тепловой энергии отработанных топочных газов после выработки электроэнергии по меньшей мере в одном дополнительном устройстве утилизации энергии топочного газа.

4. Способ по п.3, в котором по меньшей мере одно дополнительное устройство утилизации энергии топочного газа является по меньшей мере одним дополнительным теплообменником (28, 29).

5. Способ по любому из пп.1-4, в котором по меньшей мере одно устройство/оборудование для утилизации тепловой энергии, содержащейся в термальной воде (T), является по меньшей мере одним теплообменником (12, 13, 14) для использования тепловой энергии для нагревания по меньшей мере одного циркулирующего теплоносителя, используемого в системе централизованного теплоснабжения, и/или по меньшей мере одним оборудованием для утилизации тепловой энергии для выработки электроэнергии, которое является энергоустановкой (15, 16), работающей по органическому циклу Ренкина, и/или по меньшей мере одним устройством для использования тепловой энергии для работы опреснительной установки, работающей в соответствии с процессом низкотемпературного термического опреснения.

6. Способ по любому из пп.1-5, в котором каждая скважина снабжена отводящим оборудованием или оборудованием (10, 40) обратной закачки соответственно.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором CO<sub>2</sub> сжимают до сверхкритического состояния перед обратной закачкой, при этом обратную закачку scCO<sub>2</sub> и охлажденной термальной воды в водоносный горизонт (0) осуществляют раздельно на глубину, где давление в водоносном горизонте является таким, что CO<sub>2</sub> остается в сверхкритическом состоянии.

8. Способ по любому из пп.1-5, в котором CO<sub>2</sub> подают в охлажденную термальную воду (T) с помощью смесительного устройства (34), которое является оросительным скруббером, после чего осуществляют обратную закачку термальной воды, смешанной с CO<sub>2</sub>, в водоносный горизонт (0), при этом CO<sub>2</sub> подают в охлажденную термальную воду, причем образование пузырьков газа при обратной закачке термальной воды, смешанной с углекислым газом, предотвращают тем, что давление (p<sub>г</sub>) рециркуляции углекислого газа и температуру (Tr) рециркуляции выбирают таким образом, что CO<sub>2</sub> полностью растворяется в термальной воде.

9. Способ по любому из пп.1-8, в котором перед подачей в устройство (11) сепарации давление текучей среды (A) водоносного горизонта сбрасывают в устройстве сброса давления, которое выполнено с возможностью преобразования давления в электроэнергию и расположено выше по потоку от устройства (11) сепарации.

10. Геотермальная электростанция для использования внутренней энергии термальной воды (T), смешанной с растворенным газом (G), из водоносного горизонта (0), в замкнутой системе, содержащая:

по меньшей мере одно отводящее оборудование (10) для текучей среды (А) водоносного горизонта в зоне соответствующей отводящей скважины из более чем одной скважины,

устройство (11) газовой сепарации для разделения текучей среды (А) водоносного горизонта на термальную воду (Т) и газ (G),

по меньшей мере одно устройство для утилизации тепловой энергии, содержащейся в термальной воде (Т), которое является по меньшей мере одним теплообменником (12, 13, 14) для утилизации тепловой энергии для нагревания циркулирующего теплоносителя, используемого в системе централизованного теплоснабжения, и/или по меньшей мере одно оборудование для использования тепловой энергии для выработки электроэнергии, которое является энергоустановкой (15, 16), работающей по органическому циклу Ренкина, и/или по меньшей мере одно устройство для утилизации тепловой энергии для работы опреснительной установки, работающей в соответствии с процессом низкотемпературного термического опреснения,

устройство (24) сжигания для отделенного газа в присутствии воздуха, которое является газовым двигателем и соединено по меньшей мере с одним генератором (25) для выработки электроэнергии,

по меньшей мере одно устройство (28, 29) для утилизации тепловой энергии в потоке топочного газа,

аминовый скруббер (30) с расположенным ниже по потоку устройством для разложения карбоната аммония, нагретого с помощью теплоносителя, который был нагрет топочным газом, для отделения  $\text{CO}_2$ , причем указанный аминовый скруббер предназначен для отделения  $\text{CO}_2$  и расположен в потоке топочного газа по потоку после по меньшей мере одного устройства (28, 29) для утилизации его тепловой энергии,

линию подачи/подведения  $\text{CO}_2$ , получаемого после аминового скруббера, либо в компрессор и далее через смесительное устройство, которое является оросительным скруббером (34), в рециркуляционную линию (17) для термальной воды, выходящей по меньшей мере из одного теплообменника (14), или выходящей из энергоустановки, работающей по органическому циклу Ренкина, или выходящей из опреснительной установки, либо в компрессор для приведения  $\text{CO}_2$  в сверхкритическое состояние и затем в линию (17а) подачи/подведения  $\text{scCO}_2$ , которая является отдельной от линии (17b) подачи/подведения термальной воды (Т), причем обе эти линии ведут в водоносный горизонт (0),

по меньшей мере одно рециркуляционное оборудование (40) для обратной закачки углекислого газа и охлажденной термальной воды в водоносный горизонт (0) через более чем одну скважину (400) обратной закачки, удаленную от более чем одной отводящей скважины для минимизации нарушения водоносного горизонта,

смесительное устройство (23) по потоку перед по меньшей мере одним устройством (24, 24а) сжигания для смешивания газа с воздухом для горения и

устройство (27) обработки/очистки топочного газа, которое содержит катализатор и расположено ниже по потоку от устройства сжигания,

при этом указанное рециркуляционное оборудование является таким, что

либо  $\text{CO}_2$ , который сжат и закачан под давлением в рециркуляционную линию (17) для термальной воды, закачивается обратно в водоносный горизонт вместе с водой,

либо  $\text{CO}_2$ , который сжат до достижения им сверхкритического состояния ( $\text{scCO}_2$ ), рециркулируется в водоносный горизонт отдельно от термальной воды через скважину обратной закачки до глубин, где давление в водоносном горизонте примерно соответствует давлению  $\text{scCO}_2$ , затем растворяется в одновременно закачиваемой обратно термальной воде, при этом раствор подается глубже в водоносный горизонт.

11. Геотермальная электростанция по п.10, которая предназначена для утилизации внутренней энергии термальной воды (Т), смешанной с растворенным газом (G) и сырой нефтью (E), из водоносного горизонта (0) и содержит

в дополнение к устройству (11) газовой сепарации для разделения текучей среды (А) водоносного горизонта на термальную воду (Т) и газ (G), устройство (11а) сепарации для выделения сырой нефти из еще не или уже дегазированной термальной воды (Т),

в дополнение к устройству (24) сжигания для отделенного газа, которое является газовым двигателем и соединено по меньшей мере с одним генератором (25) для выработки электроэнергии, устройство (24а) сжигания для отделенной сырой нефти, которое является дизельным двигателем и соединено по меньшей мере с одним генератором (25а) для выработки электроэнергии,

смесительное устройство (23) по потоку перед по меньшей мере одним устройством (24, 24а) сжигания для смешивания газа и сырой нефти с воздухом для горения.

12. Геотермальная электростанция по п.10 или 11, в которой устройство (24) сжигания представляет собой газовый двигатель, а устройство (27) обработки топочного газа содержит катализатор и лямбда-зонд, при этом смесительное устройство (23), регулирующее добавление в смесь кислорода в зависимости от показаний лямбда-зонда, расположено выше по потоку от устройства (24) сжигания, обеспечивая тем самым регулируемое сжигание.

13. Геотермальная электростанция по любому из пп.10-12, в которой по меньшей мере один тепло-

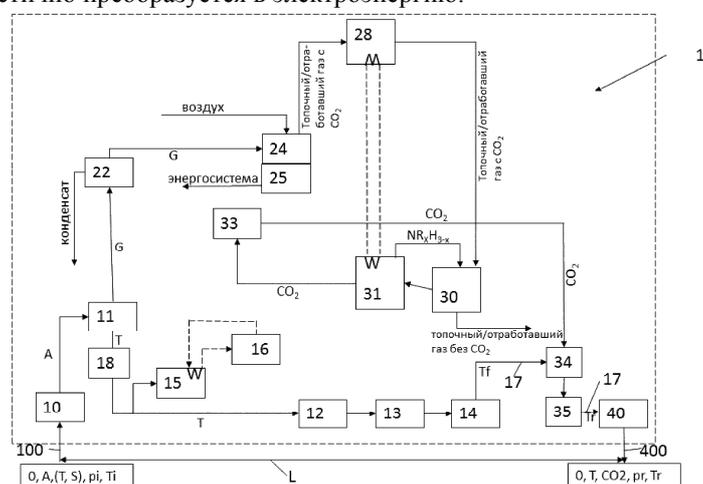
обменник (28, 29) расположен в потоке топочного газа.

14. Геотермальная электростанция по любому из пп.10-13, которая содержит линию подачи/подведения дополнительного углекислого газа из антропогенного источника таким образом, что он может быть подан в топочный газ выше по потоку от газового скруббера (30), вследствие чего он может быть растворен в охлажденной термальной воде вместе с  $\text{CO}_2$  из топочного газа с помощью смесительного устройства, которое является оросительным скруббером (34), и может быть рециркулирован в водоносный горизонт (0) с помощью рециркуляционного оборудования (40), или таким образом, что он может быть подан в компрессор для приведения в сверхкритическое состояние вместе с  $\text{CO}_2$  из топочного газа и далее рециркулирован в водоносный горизонт (0) через рециркуляционную линию/трубопровод (17а) для  $\text{scCO}_2$ .

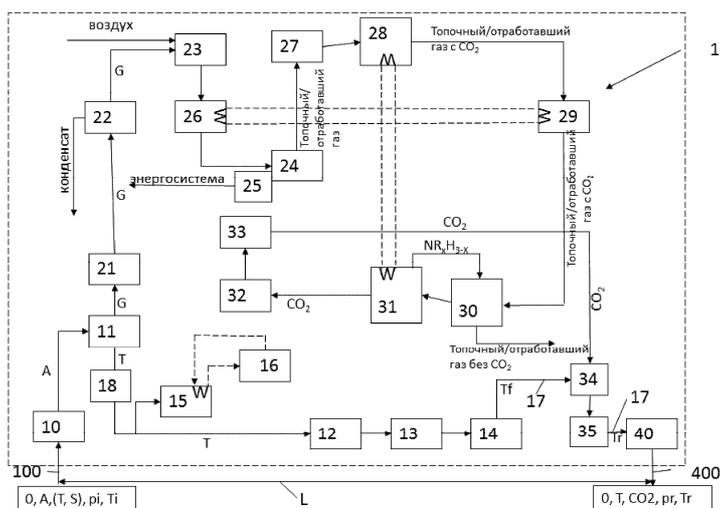
15. Геотермальная электростанция по любому из пп.10-14, в которой оборудование для выработки электроэнергии расположено ниже по потоку от сепаратора (11), причем указанное оборудование является энергоустановкой (15, 16), работающей по органическому циклу Ренкина.

16. Геотермальная электростанция по любому из пп.10-15, в которой по меньшей мере один из теплообменников (12, 13, 14) для утилизации тепловой энергии термальной воды и/или теплообменник, расположенный в потоке топочного газа, являются частью опреснительной установки, работающей в соответствии с процессом низкотемпературного термического опреснения.

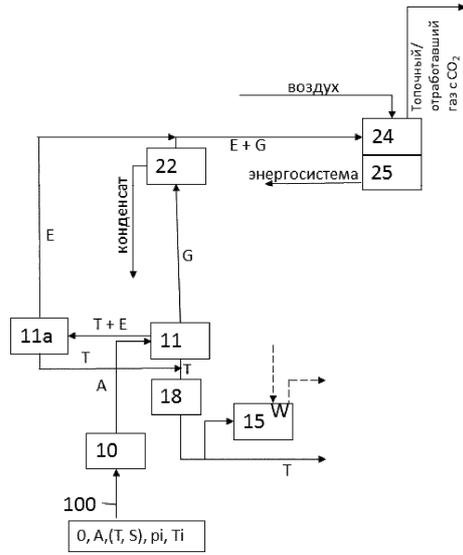
17. Геотермальная электростанция по любому из пп.10-16, в которой устройство сброса давления расположено выше по потоку от устройства (11) сепарации, при этом давление в текущей среде (A) водоносного горизонта частично преобразуется в электроэнергию.



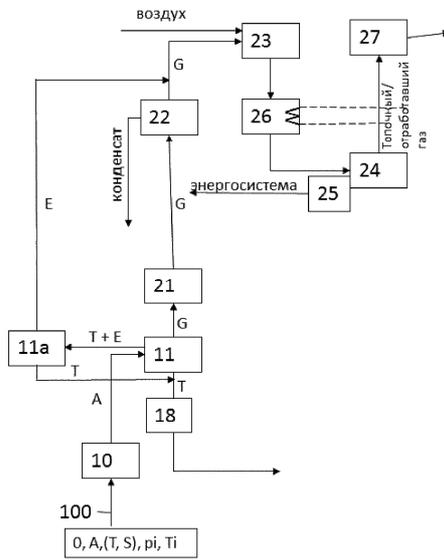
Фиг. 1



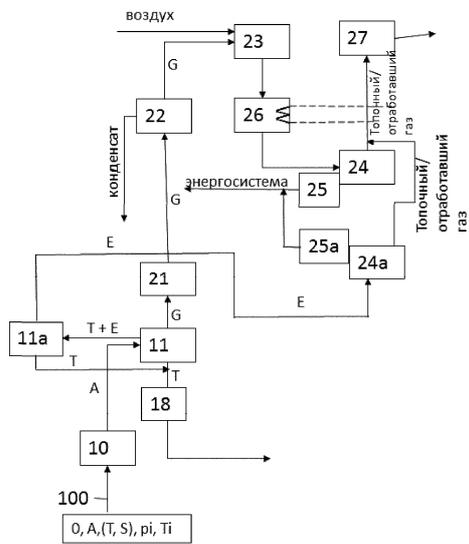
Фиг. 2



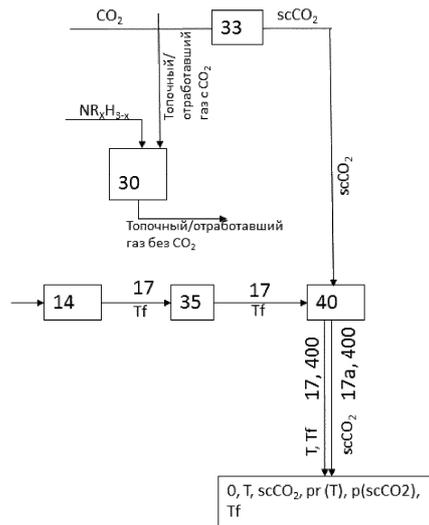
Фиг. 3



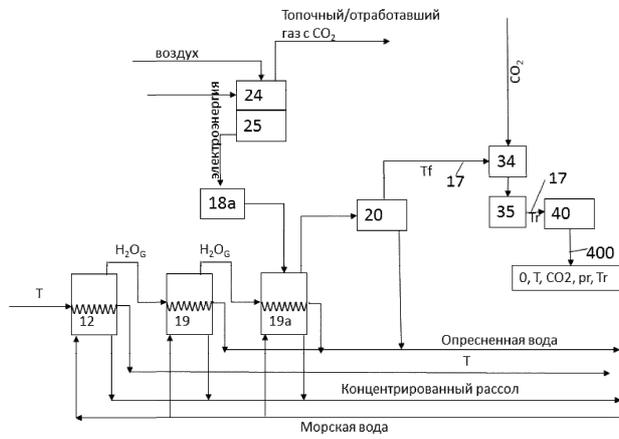
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7