

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044898**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.10

(51) Int. Cl. **C10J 3/00 (2006.01)**
C10J 3/20 (2006.01)

(21) Номер заявки
202293456

(22) Дата подачи заявки
2021.05.31

(54) **СПОСОБ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ И ГАЗОГЕНЕРАТОР
ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(31) **2020118732**

(32) **2020.06.05**

(33) **RU**

(43) **2023.03.02**

(86) **PCT/RU2021/000230**

(87) **WO 2021/246904 2021.12.09**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

**ФЕЩЕНКО ЮРИЙ
ВЛАДИМИРОВИЧ (RU)**

(74) Представитель:
Бутенко Л.В. (RU)

(56) ALESHINA A.S. et al.:
"Gazifikatsiya tverdogo topliva", Sankt-Peterburg,
Izdatelstvo Politekhnicheskogo universiteta, 2010,
ISBN 978-5-7422-1597-5, p. 186-189, Protsess
"PRENFLO" s sistemoy bystrogo okhlazhdeniya
goryachego generatornogo gaza (PDQ)
RU-C1-2237079
RU-U1-67582
WO-A1-1986000634

(57) Способ газификации углеродсодержащего сырья и газогенератор для его осуществления относятся к области газификации углеродсодержащего сырья и могут быть использованы в химической, нефтехимической, коксогазовой, энергетической и других смежных отраслях промышленности преимущественно для переработки углеродсодержащего сырья с получением энергетических и технологических газов, получения синтез-газа путем парциального окисления потока, содержащего углерод. В способе газификации углеродсодержащего сырья, включающем парциальное окисление углеродсодержащего сырья в камере окисления в смеси кислородсодержащего газа и водяного пара, в отличие от известного способа парциальное окисление осуществляют в канале парциального окисления, коаксиально установленном в вертикальной камере окисления, а подачу водяного пара для парциального окисления углеродсодержащего сырья осуществляют на входе и выходе вертикального канала окисления камеры сгорания. Газогенератор содержит корпус, горелочное устройство, вертикальную камеру окисления, коллекторы для подачи углеродсодержащего сырья, водяного пара и кислородсодержащего газа, трубу для отвода продуктов газификации, камеру шлакоудаления. Отличием является то, что в него дополнительно введен канал парциального окисления, который коаксиально расположен в вертикальной камере окисления и прикреплен к верхней внутренней части корпуса, в которую встроено горелочное устройство. Заявляемые способ и устройство позволяют получить высокое содержание водорода в технических газах, что позволит с высокой эффективностью проводить на нефтеперерабатывающих заводах утилизацию тяжелых нефтяных остатков с получением высококачественных моторных топлив, а для углехимической промышленности заявляемое устройство может стать основным базовым устройством для химической переработки углей. Такое устройство одинаково важно как для переработки углей методом гидрогенизации, так и для получения из углей синтез-газа.

B1**044898****044898****B1**

Настоящее изобретение относится к химической, нефтехимической, коксгазовой, энергетической и другим смежным отраслям промышленности и может быть использовано преимущественно для переработки углеродсодержащего сырья с получением энергетических и технологических газов, в частности, для газификации углеродсодержащего сырья, получения синтез-газа путем парциального окисления потока, содержащего углерод.

Способы получения синтез-газа путем парциального окисления в настоящее время хорошо известны в применяемых технологиях. Обычно поток, содержащий углерод (углеводород), такой как уголь, бурый уголь, торф, древесину, кокс, сажу или другие виды газообразного, жидкого или твердого топлива либо их смеси, частично сжигают в реакторе газификации, т.е. парциально окисляют с использованием кислородсодержащего газа, такого как практически чистый кислород или воздух, необязательно обогащенный кислородом, и т.п., получая таким образом поток продукта, содержащий в том числе синтез-газ (т.е. CO и H₂) и CO₂.

Технологии газификации угля в основном подразделяют на три типа: газогенераторы с неподвижным слоем, такие как газогенераторы производства компании "Lurgi AG" (Германия, г. Франкфурт на Майне) [1, с. 161-167], газогенераторы с псевдооживленным или с кипящим слоем, реализованные по технологии "U-GAS", "Winkler" (США, Институт газовых технологий, г. Чикаго) [1, с. 167-173] и газогенераторы в параллельном потоке согласно процессу Shell (совместно компании Shell и Uhde, установка Buggenum, Нидерланды) [1, с. 189-191] и "Техасо" (США, Техасо GP, установки Cool Water и Polk) [1, с. 176-180].

Газогенераторы с неподвижным слоем имеют недостатки, обусловленные низкой пропускной способностью одного устройства и наличием дорогостоящих систем обработки синтез-газа и воды, также им присущи проблемы с безопасностью эксплуатации.

Газогенераторы с псевдооживленным слоем имеют низкий КПД в связи с низкой конверсией углерода, трудности с выгрузкой сухой донной золы и унесенной высоколетучей золой.

Указанные недостатки отсутствуют при использовании процесса газификации в параллельном потоке. В устройствах газификации в параллельном потоке можно осуществлять парциальное окисление практически всех видов углеродсодержащего сырья с получением технических газов с заданными свойствами. Кроме того, такие газогенераторы имеют небольшие размеры и могут обеспечить высокую производительность по газифицируемому сырью.

К недостаткам процесса газификации в параллельном потоке можно отнести следующие:

1) газификация любых видов твердых и жидких топлив в параллельном потоке может эффективно проводиться только при их мелкодисперсном распылении, как правило, при размере частиц менее 75 мкм, при этом крупные фракции частиц сырья могут заметно снижать КПД процесса и качество получаемых газов;

2) для получения технических газов с максимально высоким выходом водорода (водяной газ, синтез-газ и их смеси) при газификации твердых и жидких топлив необходимо использовать для окисления сырья водяной пар или парокислородную смесь, что создает проблемы для зажигания смеси при поддержании необходимой оптимальной температуры ведения процесса в районе 900-1100°C [2, с. 26-27, 31].

Известна схема газогенератора, работающего по методу "Koppers-Totzek" [1, с. 174-176], в котором газификация производится при атмосферном давлении. По технологии "Koppers-Totzek" специально подготовленное измельченное и подсушенное топливо поступает в топливный бункер, откуда дозировочными шнеками подается в смесительные форсунки и далее в эллипсоидную реакционную камеру, в которой находятся от двух до четырех горелочных смесительных форсунок, расположенных напротив друг друга. В горелочных форсунках пылевидное топливо смешивается с кислородом и водяным паром таким образом, что водяной пар образует снаружи пылекислородного факела паровую рубашку, предохраняя тем самым огнеупорную футеровку реакционной камеры от шлакования, эрозии и воздействия высоких температур внутри факела. Температура горения внутри факела составляет 1500-1700°C и ее уровень поддерживается в зависимости от температуры плавления золы. Зола в жидком виде удаляется снизу реакционной камеры в специальное устройство, где охлаждается и гранулируется. К недостаткам данного газификатора относятся

1) повышенный расход кислорода по сравнению с другими известными парокислородными газогенераторами;

2) пониженный выход водорода из-за высоких температур;

3) невысокая безопасность, т.к. даже незначительные отклонения от номинального режима могут привести к образованию внутри реакционной камеры взрывоопасной концентрации газообразных продуктов;

4) повышенные требования к конструкционным материалам для строительства газогенератора из-за высоких температур процесса.

Известен также способ газификации угля "Destec", который изначально разрабатывался компанией Dow Chemical [1, с. 180-183] для расширения топливной базы путем перехода с природного газа на уголь. Для газификации угля был разработан двухстадийный поточный газогенератор с жидким шлакоудалением. Топливо подается в реактор в виде водоугольной суспензии (уголь/вода=60/40%) под высоким давлением, создаваемым насосом. В качестве газифицирующего агента используется высокочистый

кислород (95%), производимый специальной установкой. Газификатор работает при давлении 2,75 МПа и температуре 1371°C. Однако температура процесса зависит от типа используемого топлива, и при наличии более тугоплавкой золы температура процесса увеличивается в связи с жидким шлакоудалением. Водоугольная суспензия подается в нижнюю часть газогенератора, одновременно смешиваясь с кислородом. Происходит частичное окисление угля, обеспечивая, таким образом, эндотермические реакции в зоне газификации тепловой энергией. Образующийся на первой стадии шлак удаляется в водяную ванну и затем используется в строительстве. Неочищенный генераторный газ поступает в верхнюю футерованную часть реактора, куда дополнительно вводится водоугольная суспензия. В этой части происходит реагирование свежего топлива с полученным на первой стадии процесса генераторным газом. На второй стадии теплота сгорания генераторного газа увеличивается, а протекающие эндотермические реакции способствуют его охлаждению до температуры около 1038°C.

К недостаткам данного газогенератора относятся

- 1) наличие технологических проблем с использованием водоугольной суспензии;
- 2) пониженный выход водорода из-за высоких температур и высоких давлений;
- 3) повышенный выход углекислого газа CO₂ по сравнению с другими прямоточными газификаторами (т.е. получается менее калорийный газ, чем у аналогов);
- 4) повышенные требования к конструкционным материалам для строительства газогенератора из-за высоких температур процесса;
- 5) использование в качестве газифицирующего агента кислорода высокой степени очистки.

Известен также процесс "PRENFLO" (PRe-surrised Entrained-FLOw) с генерацией пара (PSG) компании Thyssenkrapp AG [1, с. 183-186], который реализуется при повышенном давлении на любом виде твердого топлива (уголь, нефтяной кокс, биомасса). Процесс основан на технологии "Koppers-Totzek". В газогенераторе подготовленное топливо газифицируется при давлении около 4 МПа.

Температура газификации при этом выше температуры плавления золы (1400-1600°C), что позволяет осуществлять жидкое шлакоудаление. Преимуществом этого процесса является сухая подача топлива - сырья газификации. Мелкодисперсный уголь (80% объема размером меньше 0,1 мм) подается вместе с кислородом и паром через четыре горелки, расположенные в одной горизонтальной плоскости в нижней части газогенератора. К недостаткам данного газогенератора относятся

- 1) пониженный выход водорода из-за высоких температур и давления (в химической промышленности используются только там, где не требуется высокого содержания водорода в технологическом газе);
- 2) высокие температура и давление обуславливают повышенные требования к используемым материалам в строительстве газогенератора и значительные финансовые затраты на его изготовление.

Известен также газификатор углеродсодержащего сырья (RU № 2237079, МПК C10J 3/20, опубл. 27.09.2004 г.), который относится к газогенераторам углеродсодержащего сырья и может быть использован в химической, нефтехимической, коксогазовой, энергетической и других смежных отраслях промышленности для переработки углеродсодержащего сырья с получением энергетических и технологических газов. Газификатор содержит вертикальную камеру газификации, горелку с патрубками для подачи углеродсодержащего сырья и кислородсодержащего газа, коллектор для подвода водяного пара, форсунки для подачи пылевидного углеродсодержащего сырья, трубу для отвода продуктов газификации (в нижней части камеры газификации), камеру шлакоудаления, при этом он снабжен специальным блоком, состоящим из горелки, размещенной в центре блока над камерой газификации, и форсунок, расположенных вокруг горелки по периферии блока над камерой газификации для создания паровой завесы для защиты футеровки камеры газификации от перегрева. Камера газификации представляет собой цилиндрическую трубу, заканчивающуюся конической камерой шлакоудаления, при этом камера газификации условно разбита на окислительную и восстановительные части. Процесс в зоне окисления осуществляют при температуре 1500-3000°C, а в восстановительной зоне подачей пара достигают снижения температуры до 1000-1600°C.

К недостаткам данного газогенератора относятся

- 1) пониженный выход водорода из-за высоких температур;
- 2) пониженный КПД устройства при использовании газификатора в качестве источника тепловой энергии, поскольку наличие свободного водорода и высокое содержание окиси углерода свидетельствуют о неполном сгорании;
- 3) расположение трубы для отвода газов в нижней части камеры газификации предопределяет попадание значительных объемов шлака и золы в газоходы и газораспределительную систему, что может привести к быстрому выходу из строя газификатора.

Известен принятый за ближайший аналог способ газификации в газогенераторе "PRENFLO" PDQ компании Thyssenkrapp AG [1, с. 186-189], более совершенный, чем его предшественник "PRENFLO" PSG, который функционирует согласно процессу "Koppers-Totzek". В данном газогенераторе происходит газификация мелкодисперсной угольной пыли в смеси кислорода и водяного пара в вертикальной камере окисления при температуре 1400-1600°C. Окисление угля происходит фактически в адиабатических условиях, т.к. камера окисления представляет собой канал, коаксиально расположенный относительно внешней стенки газогенератора, отделенный от внешней стенки кольцевым пространством, омываемым

продуктами окисления угля, что поддерживает температуру в камере окисления близкой к 1400-1600°C. Подача угольной пыли и смеси кислорода и водяного пара осуществляется через 4 горизонтальные горелки в верхней части камеры окисления. Камера окисления переходит в камеру быстрого охлаждения водой, в которую через отверстия, расположенные по кольцу в камере охлаждения, впрыскивается вода, охлаждая продукты окисления до температуры 200-250°C.

Наиболее близким к заявляемому устройству является газогенератор [1, с. 186-189], реализующий указанный способ-прототип, содержащий коллектор для подвода водяного пара и кислорода к горелкам, коллектор подачи газугольной смеси к горелкам, камеру окисления, которая переходит в камеру быстрого охлаждения водой, представляющую собой цилиндрическую трубу, коаксиально расположенную внутри корпуса газогенератора, заканчивающуюся конической камерой шлакоудаления. Между камерой шлакоудаления и центральной трубой камеры быстрого охлаждения расположен кольцевой зазор, через который сырой генераторный газ окисления и водяной пар покидают камеру охлаждения, далее поднимаются по межстеночному зазору между трубой камеры охлаждения и корпусом газогенератора и выходят из газогенератора в трубу для отвода продуктов газификации на дальнейшую переработку.

Резкая смена движения газового потока в камере быстрого охлаждения, приводящая к тому, что движение газов вниз после прохода щелевого зазора между трубой камеры охлаждения и камерой шлакоудаления сменяется на движение вверх, позволяет отсепарировать значительное количество шлака и золы с попаданием их в коническую камеру шлакоудаления. Камера шлакоудаления соединяется с системой шлакоудаления.

Шлак из газификатора может быть использован в качестве строительного материала.

К недостаткам данного газогенератора относятся

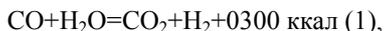
1) пониженный выход водорода из-за высоких температур и давления (в химической промышленности эти газогенераторы используются только там, где не требуется высокое содержание водорода в технологическом газе). Всего водорода не более 22-32 об.% (как и для всех прямоточных газогенераторов, основанных на технологии Koppers-Totzek (процесс Шелл-Копперс), тогда как для слоевых газогенераторов Lurgi содержание водорода в сухом газе составляет 36-40%, для газогенераторов псевдооживленного слоя Winkler [1, с. 169-170] содержание водорода лежит в пределах 35-45% [4, стр.30];

2) высокие температура и давление обуславливают повышенные требования к используемым материалам в строительстве газогенератора и значительные финансовые затраты на его изготовление;

3) повышенный удельный расход кислорода на 1 т газифицируемого угля, как и для всех прямоточных газогенераторов основанных на технологии Koppers-Totzek (540-650 м³), тогда как для слоевых газогенераторов Лурги составляет 220-300 м³, а для газогенераторов псевдооживленного слоя Winkler - 350 м³ [4, с. 30-33];

4) для обеспечения стабильного зажигания и поддержания стабильного горения смеси, помимо повышенного расхода кислорода в камере окисления, используется горизонтальное расположение горелок, которое не позволяет снизить температуру процесса до температур 900-1100°C (оптимальные температура получения синтез-газа), т.к. при таких температурах (900-1100°C) зола подавляющего большинства углей находится в твердой фазе, а значит, возможно ее накопление на стенке камеры сгорания, что приводит к ее зашлаковыванию и дальнейшему выходу газогенератора из строя;

5) слишком резкое охлаждение газов до температуры 200-250°C не позволяет получить дополнительно водород с помощью реакции



т.к. уже при температуре 800°C степень разложения водяного пара снижается по сравнению с 1000°C на порядок, и за одно и то же время пребывания и контакта в 1 с степень конверсии водяного пара при 800°C составит всего 0,5% от конверсии при 1000°C [2, с. 29]; это означает, что при более низких температурах реакции вообще не будет, что подтверждается ростом константы равновесия этой реакции (1) при 500°C в 100 раз по сравнению с 1000°C [3, с. 102].

Основной задачей изобретения является создание эффективного способа газификации в параллельном потоке углеродсодержащего сырья, такого как уголь, бурый уголь, торф, древесина, кокс, сажа или других видов газообразного, жидкого или твердого топлива, или их смесей методом парциального окисления углеводородного сырья в смеси кислородсодержащего газа и водяного пара и устройства для его осуществления с целью получения максимально возможного выхода водорода при газификации углеродсодержащего сырья.

Техническим результатом заявляемого изобретения является получение генераторного газа с повышенным содержанием водорода. При этом достигается стабильность зажигания и поддержания необходимой температуры парциального окисления.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в известном способе газификации углеродсодержащего сырья, включающем парциальное окисление углеродсодержащего сырья в камере окисления в смеси кислородсодержащего газа и водяного пара, парциальное окисление осуществляют в канале парциального окисления, коаксиально установленном в камере окисления, а подачу водяного пара для парциального окисления углеродсодержащего сырья осуществляют на входе и выходе канала парциального окисления камеры сгорания.

Оптимально осуществлять парциальное окисление в потоке смеси кислорода и водяного пара в канале парциального окисления камеры окисления при температуре 900-1100°C, которую обеспечивают изменением объема пара на входе в канал парциального окисления.

Целесообразно на выходе канала парциального окисления камеры окисления поддерживать температуру в пределах 800-1000°C, которую обеспечивают изменением объема пара на выходе из канала парциального окисления.

Целесообразно зажигание смеси углеродсодержащего сырья и парокислородной смеси и поддержание их стабильного горения осуществлять за счет подачи на вход канала парциального окисления продуктов сгорания из горелочного устройства, установленного вдоль оси канала парциального окисления.

Предпочтительно выбирать время пребывания продуктов горения в канале окисления больше времени сгорания максимальной частицы сырья.

Геометрические размеры канала парциального окисления оптимально выбирать исходя из соотношения

$$L \geq (4 \times G \times T_b) / (\pi \times \rho(t_0) \times D^2),$$

где L - длина канала парциального окисления;

D - диаметр канала парциального окисления;

G - массовый приход продуктов окисления в канал парциального окисления;

T_b - температура сгорания максимальной частицы углеродсодержащего сырья;

t₀ - расчетная температура продуктов окисления в канале парциального окисления;

ρ(t₀) - расчетная плотность продуктов окисления в канале парциального окисления.

В качестве углеродсодержащего сырья можно использовать твердое топливо в виде угля, бурого угля, торфа, древесины, кокса, сажи или газообразные и жидкие топлива либо их смеси.

Технический результат достигается также тем, что известный газогенератор для газификации углеродсодержащего сырья, содержащий корпус, горелочное устройство, вертикальную камеру окисления, коллекторы для подачи углеродсодержащего сырья, водяного пара и кислородсодержащего газа, трубу для отвода продуктов газификации, камеру шлакоудаления, дополнительно содержит канал парциального окисления, который коаксиально расположен в вертикальной камере окисления и прикреплен к верхней внутренней части корпуса, в которую встроено горелочное устройство.

Оптимально верхнюю часть корпуса выполнить в виде съемной крышки, в которую встроено горелочное устройство.

Труба для отвода продуктов газификации может быть установлена в боковой части корпуса газогенератора, более близкой к верхней части газогенератора.

Оптимально выполнить газогенератор для газификации углеродсодержащего сырья содержащим верхний и нижний коллекторы пара, выполненные в виде пустотелых колец, соединенных опускными трубами, оси которых параллельны оси внешнего корпуса, при этом верхний коллектор установлен на внешней стороне крышки газогенератора, опускные трубы размещены на внешней стороне канала парциального окисления, а нижний коллектор пара расположен на выходе из канала окисления, и снабжен отверстиями для выхода пара в поток продуктов парциального окисления.

Оптимально выполнить горелочное устройство в виде диффузионной горелки, снабженной кольцевыми каналами, расположенными коаксиально вокруг диффузионной горелки и выполненными с возможностью подачи в кольцевые каналы кислородсодержащего газа, углеводородного сырья и водяного пара.

Рационально внутренние стенки камеры окисления выполнить в виде змеевика, верхний вывод которого через узел распределения горячего пара соединен с верхним коллектором пара, а нижний вывод подсоединен к внешнему генератору водяного пара.

Внутренние стенки камеры окисления могут быть выполнены в виде соосно расположенных торообразных емкостей, обеспечивающих возможность подачи водяного пара снизу камеры окисления к крышке газогенератора.

Канал парциального окисления может быть выполнен с наружной теплоизоляцией.

Заявляемые способ газификации углеродсодержащего сырья, такого как уголь, бурый уголь, торф, древесину, кокс, сажу или другие виды газообразного, жидкого или твердого углеводородного топлива, или их смесей, а также устройство для его осуществления неизвестны из предшествующего уровня техники, следовательно, заявленные решения удовлетворяют условию патентоспособности изобретения "новизна".

Анализ уровня техники на соответствие заявленных решений условию патентоспособности изобретения "изобретательский уровень" показал следующее.

В предлагаемом способе для газификации углеродсодержащего сырья, такого как уголь, бурый уголь, торф, древесину, кокс, сажу или другие виды газообразного, жидкого или твердого топлива либо их смесей методом парциального окисления в смеси кислородсодержащего газа и водяного пара с целью максимального получения водорода, в отличие от известных устройств, фактически процесс окисления разбит на 2 этапа: сначала парциальное окисление ведется в адиабатических условиях в теплоизолиро-

ванном канале окисления при оптимальных температурах 900-1100°C в потоке смеси кислорода и водяного пара, а затем полученные газы доокисляются на выходе из канала парциального окисления только водяным паром с поддержанием температуры в этой зоне в пределах оптимальных температур 800-1000°C. В предлагаемом устройстве для осуществления заявленного способа окисления в отличие от аналогов все процессы ведутся в условиях, исключающих резкий рост давления в реакционных пространствах. Кроме того, заявляемый способ позволяет обеспечить стабильное зажигание и горение в получаемом двухфазном потоке как на поверхности частицы, так и в газовой фазе за счет стабильного поступления дополнительной тепловой энергии от продуктов сгорания поступающих от встроенного горелочного устройства, в котором сжигается жидкое или газообразное топливо. Продукты сгорания от горелочного устройства поступают в канал парциального окисления вдоль оси канала, смешиваясь с углеродсодержащим сырьем и парокислородной смесью.

При этом стабильность зажигания и поддержание необходимой температуры в канале окисления поддерживается поступлением тепловой энергии от встроенного в верхней части корпуса газогенератора горелочного устройства при сжигании любого топлива независимо от поступающего на окисление в газогенератор углеродсодержащего сырья, например, с помощью кислорода воздуха, в отличие от прототипа и других известных средств, в которых стабилизация поддерживается высоким расходом кислорода для сжигания части окисляемого углеродсодержащего сырья, с получением в них высоких температур 1400-1600°C и давления 27-40 атм и как результат с пониженным выходом водорода. Ведение процесса при оптимальных для газификации условий и температур позволяет, в отличие от прототипа, где горелки установлены поперек вертикальной оси газогенератора (что приводит к высоким температурам при столкновении потоков продуктов сгорания), использовать в конструкции газогенератора недорогие материалы с существенно меньшей материалоемкостью и жаростойкостью. Следовательно, заявляемая группа изобретений удовлетворяет условию "изобретательский уровень".

Заявляемые способ и устройство для газификации углеродсодержащего сырья иллюстрируются чертежами, где

на фиг. 1 схематично представлена общая схема газогенератора для газификации углеродсодержащего сырья;

на фиг. 2 представлена схема газогенератора в разрезе;

на фиг. 3 представлена схема горелочного устройства газогенератора;

на фиг. 4 схематично представлена схема газогенератора с змеевиком для подогрева пара и охлаждения стенки корпуса;

на фиг. 5 схематично представлена схема газогенератора с набором торообразных емкостей для подогрева пара и охлаждения стенки газогенератора.

Заявляемый газогенератор для газификации углеродсодержащего сырья содержит корпус 1, камеру окисления 2, крышку корпуса 3 (фиг. 1), горелочное устройство 4 (фиг. 4) с диффузионной горелкой 7, патрубки подвода кислорода 5 и смеси водяного пара и углеродсодержащего сырья 6, трубу 8 для отвода генераторных газов, канал парциального окисления 9 с теплоизоляцией 10, с коллектором 12 подачи пара в пространство на выходе из канала окисления 9, а также опускными трубами 13 (фиг. 2), подающими пар от верхнего коллектора пара 14 к коллектору подачи пара 12. В нижней части корпуса установлена камера шлакоудаления 11.

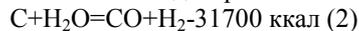
На фиг. 2 представлен разрез А-А (фиг. 1) газогенератора, на котором показан вариант расположения отверстий подачи пара 15 в коллекторе подачи пара 12. На фиг. 3 представлена схема горелочного устройства 4 с встроенной диффузионной горелкой 7 с каналом подачи воздуха 16, с каналом подачи топлива 17 (например мазут или газовое топливо), с электродами розжига 18, диффузором смешения 19, с каналом подачи кислорода 20 и каналом подачи пара 21. На фиг. 4 представлена схема газогенератора по фиг. 1, дополненная змеевиком 22 подогрева пара и охлаждения теплоизоляции стенки корпуса 1 газогенератора, патрубком 23 ввода пара в змеевик 22, узлом распределения 24 подачи пара в узел смешения пара с углеродсодержащим сырьем 25 и в коллектор 14, патрубком подачи угля 26 в узел смешения 25. На фиг. 5 представлена схема газогенератора по фиг. 1, дополненная торообразными емкостями 27 подогрева пара и охлаждения теплоизоляции стенки корпуса 1 газогенератора, патрубком 23 ввода пара в змеевик 22, узлом распределения 24 подачи пара в узел смешения пара с углеродсодержащим сырьем 25 и в коллектор 14, патрубком подачи угля 26, калачами 28, соединяющими торообразные емкости 27 между собой.

Заявляемые способ и газогенератор работают следующим образом.

Сырой пар через патрубок 23 (фиг. 4) поступает в змеевик 22, где подогревается отходящими генераторными газами через трубу 8 отвода генераторных газов. Через змеевик 22 пар поступает в узел распределения пара 24, где он разделяется на 2 потока. Часть пара поступает в узел смешения 25, где пар подхватывает поступающее через патрубок 26 мелкодисперсное углеродсодержащее сырье, например угольную пыль, и полученная паругольная смесь поступает через патрубок 6, например, через эжекционное устройство или шлюзовик (на чертеже не показаны) в горелочное устройство. Горелочное устройство представляет собой комбинированную горелку 4 (фиг. 3) в которой в центре расположена диффузионная горелка 7 для сжигания жидкого или газообразного топлива в воздухе. Продукты сгорания диффу-

зионной горелки с температурой 1500-2000°C создают ядро газового потока, закрученного диффузором смешения 19 горелки 7, и подхватывают, смешивая потоки кислорода, поступающего через патрубок 5 в канал 20, и пароугольной смеси, поступающей через патрубок 6 в канал 21.

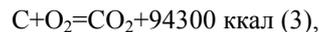
Важным и существенным для получения максимально возможного количества водорода при газификации углеводородных частиц в параллельном потоке является решение нескольких противоречивых задач, а именно получение генераторного газа по эндотермической химической реакции



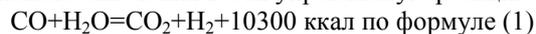
с существенной потерей тепловой энергии, одновременно с процессом выгорания части углеродсодержащих частиц в кислороде (в общем потоке пара и кислородсодержащего газа) и поддержания температуры процесса в диапазоне 900-1100°C.

Чтобы получить требуемый результат необходимо, прежде всего, вести процесс при низком давлении (например, близком к атмосферному), тогда согласно принципу Ле Шателье процесс согласно (2) будет сдвинут вправо. Принцип Ле Шателье устанавливает, что в случае воздействия на равновесную систему извне с изменением какого-нибудь из факторов, определяющих положение равновесия, в системе усиливается то направление процесса, которое ослабляет это воздействие. Поскольку в результате реакции (2) образуется 2 моля газа (CO и H₂ вместо одного моля H₂O) с повышением давления в результате роста объема газов, то понижая давление в реакторе, можно заставить систему вернуться в равновесие, ускоряя реакцию (2) с генерацией газов CO и H₂. И наоборот, при повышении давления в реакторе в устройстве снижается давление за счет замедления реакции (2). Технически это означает, что нужно не допускать повышения давления при ведении процесса окисления, т.е. нужно не допускать увеличения газодинамических сопротивлений движению потока газов, а значит, конструктивно каналы, по которым движутся продукты окисления не должны иметь резких сужений, а сгорание углеродсодержащих частиц предпочтительно вести в процессе движения в потоке, а не в замкнутой камере.

Для поддержания необходимой высокой температуры рационально часть углерода сжигать в кислороде согласно реакции



которая при 1000°C протекает практически мгновенно, а при понижении температуры ее скорость резко снижается [1, с. 24]. Однако для поддержания реакции (2) требуется значительное количество водяного пара, что отбирает тепловую мощность, а поступление тепла по реакции (3) происходит постепенно по мере выгорания частиц, поэтому рациональным является разделение водяного пара на 2 части, где первая часть пара поступает через горелочное устройство, а вторая часть пара, поступающего на парциальное окисление сырья, поступает в поток продуктов парциального окисления на выходе из канала окисления после выгорания частиц углеродсодержащего сырья в пространство между вертикальной стенкой корпуса газогенератора и стенкой канала окисления. Кроме того, разделение подачи водяного пара позволяет на выходе из канала окисления вести управляемую реакцию



с увеличением водорода в генераторном газе. Поскольку реакция (1) экзотермична, то согласно принципу Ле Шателье при повышении температуры равновесие будет смещаться влево (т.е. в сторону исходных продуктов), но для этой реакции границей является температура в 1000°C (это видно из динамики константы равновесия [3, с. 102] и по экспериментальным данным [2, с. 30]). Т.е. подача водяного пара на выходе из канала окисления позволит пройти реакции (1) и снизить температуру газов до 700-800°C, не позволив ей подняться выше 900-1000°C. Следовательно, оптимальным является поддержание температуры на выходе из канала окисления в пределах 800-1000°C.

Для завершения окислительно-восстановительных реакций (2) в канале парциального окисления его геометрические размеры (диаметр и длина) должны обеспечивать время пребывания горячей частицы в канале не меньшим, чем время ее выгорания (что значительно повышает КПД процесса), а это существенно зависит от размера сгораемой частицы. Так, например, частица антрацита диаметром 100 мкм сгорает в кислороде за 7,1 с, а диаметром в 50 мкм за 0,413 с [3, с. 210]. Зная размер частиц газифицируемого сырья и его часовой расход, легко рассчитать геометрические размеры канала окисления.

Важнейшим условием стабильной работы газогенератора с газификацией частиц в потоке является стабильное зажигание и горение в получаемом двухфазном потоке, где горение идет как на поверхности частицы, так и в газовой фазе, и для стабильности процесса важно, чтобы скорость распространения пламени была выше скорости двухфазного потока, иначе произойдет срыв пламени и процесс окисления прекратится. В известных газогенераторах поточной газификации, в том числе в ближайшем аналоге "PRENFLO" PDQ эта проблема решается тем, что скорость сгорания частиц угля увеличивают, повышая давление и температуру процесса за счет увеличения подачи кислорода и сжигания большего количества угля по реакции (3). А кроме того, увеличивают время пребывания частиц в реакторе за счет расположения горелок перпендикулярно потоку. Важным в конструкции прототипа является то, что повышение давления в камере окисления достигается за счет сужения на выходе из камеры окисления в форме ракетного сопла, что априори требует жидкого шлакоудаления, а значит и высоких температур, т.к. в противном случае сужающийся канал будет быстро зашлакован.

В заявляемом устройстве эта проблема решается тем, что с целью получения постоянного источни-

ка зажигания и стабилизации процесса парциального окисления горелочное устройство, встроенное предпочтительно в крышку газогенератора, представляет собой комбинированную диффузионную горелку, в центре которой, вдоль оси встроена собственно диффузионная горелка для сжигания газообразного или жидкого топлива, которая снабжена кольцевыми каналами, расположенными коаксиально вокруг встроенной диффузионной горелки, выполненными с возможностью подачи в эти кольцевые каналы кислородсодержащего газа, углеводородного сырья и водяного пара. Т.е. источником дополнительного тепла для зажигания смеси и поддержания стабильным процесса окисления в предлагаемом способе является тепло продуктов сгорания жидкого или газообразного топлива поступающего вдоль потока реагирующей парокислородной смеси и углеводородсодержащего сырья. Такая схема процесса горения позволяет получить стабильное зажигание двухфазного потока, поддержать его горение до стабильной генерации тепла по реакции (3) и компенсировать теплопотери на реакции углерода и окиси углерода с водяным паром. Термодинамические расчеты вариантов такого процесса показывают, что мощности такой встроенной горелки в 10-25% от мощности сжигаемого по реакции (3) углерода достаточно для получения стабильного процесса с температурой в потоке не выше 1100°C.

Таким образом, заявляемый способ позволяет обеспечить стабильное зажигание и горение в получаемом двухфазном потоке как на поверхности частицы, так и в газовой фазе за счет стабильного поступления дополнительной тепловой энергии от продуктов сгорания поступающих от встроенного горелочного устройства, в котором сжигается жидкое или газообразное топливо. Продукты сгорания от горелочного устройства поступают в канал парциального окисления вдоль оси канала, смешиваясь с углеводородсодержащим сырьем и парокислородной смесью.

Регулировкой расходов пара, угля и кислорода в канале окисления 9 (фиг. 4) устанавливают температуру 900-1100°C, отслеживаемую по термодатчикам (на чертежах не показаны). Вторая часть пара из узла распределения 25 по трубам 13 поступает в коллектор подачи пара 12 и через отверстия 15 подается в пространство на выходе из канала окисления 9, где происходит доокисление окиси углерода до двуокиси углерода с получением водорода. Расчетное количество пара должно обеспечивать в сумме охлаждение до температуры не выше 900-1000° С для предотвращения обратных реакций по формуле (1). Полученные генераторные газы через трубу 8 отвода генераторных газов поступают на охлаждение и очистку и дальнейшую переработку (например на органический синтез или на мембранный разделитель с дальнейшей подачей полученного водорода на гидрогенизацию угля). Основная масса образовавшихся в результате сгорания угля шлака и золы поступают в камеру шлакоудаления 11, откуда системой золо- и шлакоудаления поступают на утилизацию.

Пример конкретного выполнения.

1. Для производства водорода для завода гидрогенизации угля был построен опытный образец газогенератора по схеме фиг. 5 для парциального окисления угля. Были определены показатели исходного угля: зольность средняя - 12%; влажность - 8%; содержание углерода в органической части угля (ОМУ) - 77%; содержание водорода в ОМУ - 5%. Исходный уголь был подвергнут дроблению, сушке в барабанной сушилке и тонкому помолу на дробилке с размером частиц менее 100 мкм (80% частиц размером менее 50 мкм). Расход сухого угля составлял 1 т/ч.

2. В качестве источника кислорода была выбрана установка получения кислорода из воздуха производительностью - 300 м³/ч или 390 кг/ч.

3. Объем количества воды на окисление угля и пропорции распределения объемов пара через горелку и коллектор на выходе из канала окисления были выбраны из термодинамических расчетов тепловых балансов химических реакций окисления и восстановления. В качестве встроенной в горелочное устройство диффузионной горелки использовали горелку на мазуте тепловой мощностью 200 кВт, в которой в час сгорает 20 кг мазута в 20×10,8=216 м³/ч воздуха или в 276,5 кг/ч воздуха.

4. На вход канала парциального окисления через горелочное устройство подавали до 150 кг пара в час. Расчетная температура продуктов сгорания на выходе из канала парциального окисления составила 952°C, что вписывается в оптимальный температурный предел 900-1100°C.

6. Подачу пара из коллектора (поз. 12, фиг. 5) осуществляли через 3 ряда отверстий с углом распыла между рядами отверстий в 120°. Объем пара, поступающего через коллектор (поз. 12, фиг. 5), составлял 250-300 кг/ч.

Регулирование объемов пара, поступающих через горелочное устройство и через коллектор вели по данным 3-х датчиков температуры, встроенных перед выходом из канала окисления и данным датчиков температуры, встроенных в кольцевой зазор между каналом окисления и корпусом газогенератора выше выхода из канала окисления на 20 см (3 шт.).

Выбор геометрических размеров канала парциального окисления (поз. 9, фиг. 5) определялся временем пребывания продуктов горения в канале окисления. Это величина должна быть предпочтительно больше времени сгорания максимальной частицы сырья. В газогенератор поступала угольная пыль размером до 50 мкм - 80% и до 80-90 мкм - 20%. Время сгорания частицы размером в 50 мкм составляло 0,41 с, а размером в 100 мкм - 7 с. При условии полного реагирования угля в парокислородном потоке получали при температуре в 1000°C около 826 л газов в секунду. При выборе диаметра канала парциального окисления в 0,85 м и длине камеры окисления в 6 м время пребывания частиц в камере окисления

составляло 7,9 с, что превышает теоретическое время сгорания частицы угля максимального размера.

Состав газов (сухих) при режиме с максимальным выходом водорода составил в среднем в об. %: H_2 - 52,3; N_2 - 10,0; CO - 12,4; CO_2 - 25,3.

Расход кислорода на 1 т сухого угля составил $300 \text{ м}^3/\text{ч}$, расход пара на 1 т сухого угля составил 370-430 кг.

Из источника сведений [4, с. 31], раскрывающего установку по прототипу согласно технологии "Шелл-Копперс", известны следующие средние показатели, %: H_2 - 25,6; CO - 65,6; CO_2 - 0,8; CH_4 - 8,0.

Расход кислорода составил 644 м^3 на тонну сухого угля, а расход пара только около 100 кг на тонну сухого угля. Очевидно, что показатели выхода водорода по предлагаемому способу и устройству в 2 раза выше, чем у прототипа, расход кислорода в 2 раза меньше, а температура процесса ниже - 1100°C , по сравнению с прототипом, в котором процесс идет при температуре $1400-1600^\circ\text{C}$. В заявляемом устройстве практически в 4 раза больше расход водяного пара, но повышенный выход водорода как раз и определяется за счет разложения воды.

Приведенный пример конкретной реализации заявляемого способа и устройства для его реализации показывает, что в установке по заявляемому газогенератору, полученные результаты по выходу водорода значительно превышают показатели по выходу водорода по сравнению с прототипом. При этом общий расход водяного пара на парциальное окисление угля составляет 370-430 кг на 1 т угля. Расход кислорода составил $300 \text{ м}^3/\text{т}$ угля. Общий выход водорода составил около 65 кг/ч, в то время как в прототипе около 32 кг/ч.

Заявляемое изобретение может найти широкое применение для газификации углеродсодержащего сырья, в связи с обеспечением эффективной газификации в параллельном потоке углеродсодержащего сырья, такого как уголь, бурый уголь, торф, древесина, кокс, сажа или другие виды газообразного, жидкого или твердого топлива, или их смесей с целью получения генераторного газа с максимально высоким содержанием водорода. При этом требуемые параметры получаемого газа легко регулируются изменением расходов кислорода, пара, газифицируемого сырья и мощностью встроенной горелки.

Газогенератор может быть использован в химической, углехимической и нефтехимической промышленности (аммиак, метанол, синтетические топлива и т.д.), коксогазовой, энергетической и других смежных отраслях промышленности для переработки углеродсодержащего сырья с получением энергетических и технологических газов. Высокое содержание водорода в технических газах, получаемых в заявленном устройстве позволит с высокой эффективностью проводить на нефтеперерабатывающих заводах утилизацию тяжелых нефтяных остатков, с получением высококачественных моторных топлив, а для углехимической промышленности заявляемое устройство может стать основным базовым устройством для химической переработки углей. Такое устройство одинаково важно, как для переработки углей методом гидрогенизации, так и для получения из углей синтез-газа.

Список литературы.

1. Алешина А.С., Сергеев В.В. Газификация твердого топлива: учеб. пособие. - СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 202 с.
2. Рамбуш Н.Э. Газогенераторы. - М.-Л.: ГОНТИ, 1939. - 413 с. (перевод с англ.).
3. Померанцев В.В., Арефьев К.В. и др. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1986. - 312 с.
4. Шиллинг Г.-Д., Бонн Б., Краус У. Газификация угля. - М.: Недра, 1986. - 175 с.

Перечень ссылочных обозначений.

- 1 - Корпус;
- 2 - камера окисления;
- 3 - крышка газогенератора;
- 4 - горелочное устройство;
- 5 - патрубок подвода кислорода;
- 6 - патрубок подвода смеси водяного пара и углеродсодержащего сырья;
- 7 - встроенная диффузионная горелка;
- 8 - труба для отвода генераторных газов;
- 9 - канал парциального окисления;
- 10 - теплоизоляция канала окисления;
- 11 - камера шлакоудаления;
- 12 - нижний коллектор пара;
- 13 - опускные трубы;
- 14 - верхний коллектор пара;
- 15 - отверстия подачи пара в коллекторе;
- 16 - канал подачи воздуха;
- 17 - канал подачи топлива;
- 18 - электроды розжига;
- 19 - диффузор смешения;
- 20 - канал подачи кислорода;

- 21 - канал подачи пара;
- 22 - змеевик для подогрева пара;
- 23 - патрубок ввода пара в змеевик;
- 24 - узел распределения подачи пара;
- 25 - узел смешения пара с углеродсодержащим сырьем;
- 26 - патрубок подачи угля в узел смешения;
- 27 - торообразные емкости для подогрева пара;
- 28 - калачи для соединения торообразных емкостей.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ газификации углеродсодержащего сырья, включающий парциальное окисление углеродсодержащего сырья в камере окисления в смеси кислородсодержащего газа и водяного пара, отличающийся тем, что парциальное окисление осуществляют в канале парциального окисления, коаксиально установленном в вертикальной камере окисления, а подачу водяного пара для парциального окисления углеродсодержащего сырья осуществляют на входе и выходе канала парциального окисления камеры окисления.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что парциальное окисление осуществляют в потоке смеси кислорода и водяного пара в канале парциального окисления камеры окисления при температуре 900-1100°C, которую обеспечивают изменением объема пара на входе в канал парциального окисления.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что на выходе канала парциального окисления камеры окисления поддерживают температуру в пределах 800-1000°C, которую обеспечивают изменением объема пара на выходе из канала парциального окисления.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что зажигание смеси углеродсодержащего сырья и парокислородной смеси и поддержание их стабильного горения осуществляют за счет подачи на вход канала парциального окисления продуктов сгорания из горелочного устройства, установленного вдоль оси канала парциального окисления.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что время пребывания продуктов горения в канале окисления выбирают больше времени сгорания максимальной частицы сырья.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что геометрические размеры канала парциального окисления выбирают исходя из соотношения

$$L \geq (4 \times G \times T_b) / (\pi \times \rho(t_0) \times D_2),$$

где L - длина канала парциального окисления;

D - диаметр канала парциального окисления;

G - массовый приход продуктов окисления в канал парциального окисления;

T_b - температура сгорания максимальной частицы углеродсодержащего сырья;

t₀ - расчетная температура продуктов окисления в канале парциального окисления;

ρ(t₀) - расчетная плотность продуктов окисления в канале парциального окисления.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве углеродсодержащего сырья используют твердое топливо в виде угля, бурого угля, торфа, древесины, кокса, сажи или газообразные и жидкие топлива либо их смеси.

8. Газогенератор для газификации углеродсодержащего сырья способом по п.1, содержащий корпус, горелочное устройство, вертикальную камеру окисления, коллекторы для подачи углеродсодержащего сырья, водяного пара и кислородсодержащего газа, трубу для отвода продуктов газификации и камеру шлакоудаления, отличающийся тем, что в упомянутой вертикальной камере окисления содержится канал парциального окисления, который коаксиально расположен в вертикальной камере окисления и прикреплен к верхней внутренней части корпуса, в которую встроено горелочное устройство, а коллекторы для подачи водяного пара в свою очередь расположены на входе и выходе канала парциального окисления.

9. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что верхняя часть корпуса выполнена в виде съемной крышки, в которую встроено горелочное устройство.

10. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что труба для отвода продуктов газификации установлена в боковой части корпуса газогенератора, более близкой к верхней части газогенератора.

11. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что он содержит верхний и нижний коллекторы пара, выполненные в виде пустотелых колец, соединенных опускными трубами, оси которых параллельны оси внешнего корпуса, при этом верхний коллектор установлен на внешней стороне крышки газогенератора, опускные трубы размещены на внешней стороне канала парциального окисления, а нижний коллектор пара расположен на выходе из канала окисления и снабжен отверстиями для выхода пара в поток продуктов парциального окисления.

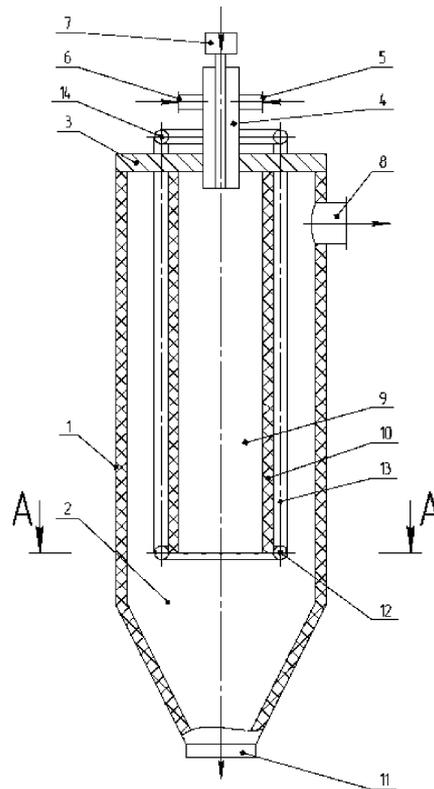
12. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что горелочное устройство выполнено в виде диффузионной горелки, снабженной кольцевыми каналами, расположенными коаксиально вокруг

диффузионной горелки и выполненными с возможностью подачи в кольцевые каналы кислородсодержащего газа, углеводородного сырья и водяного пара.

13. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что внутренние стенки камеры окисления выполнены в виде змеевика, верхний вывод которого через узел распределения горячего пара соединен с верхним коллектором пара, а нижний вывод подсоединен к внешнему генератору водяного пара.

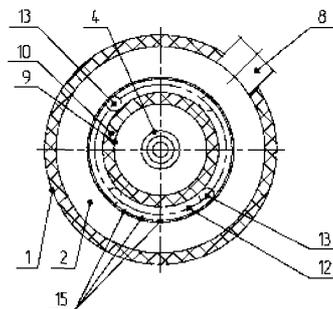
14. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что внутренние стенки камеры окисления выполнены в виде соосно расположенных торообразных емкостей, выполненных с возможностью подачи водяного пара снизу камеры окисления к крышке газогенератора.

15. Газогенератор по п.8, отличающийся тем, что канал парциального окисления выполнен с наружной теплоизоляцией.

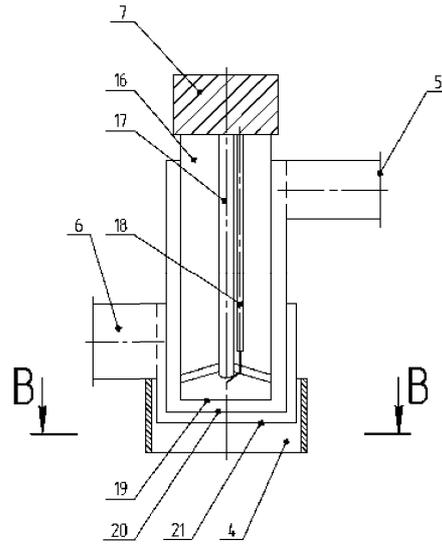


Фиг. 1

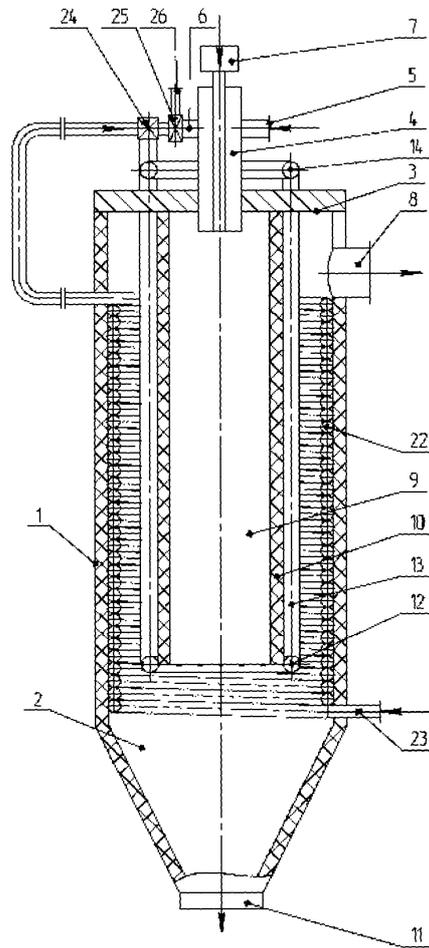
A-A



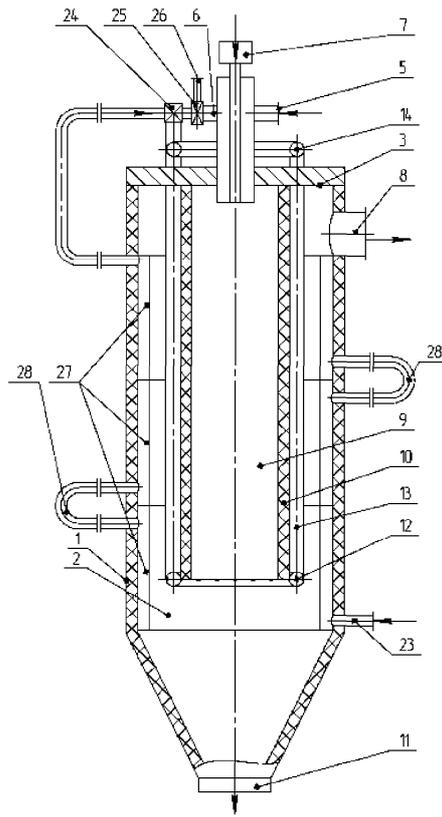
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5