

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042053**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.12.30

(21) Номер заявки
202100001

(22) Дата подачи заявки
2020.12.04

(51) Int. Cl. **F02C 3/20** (2006.01)
F23G 5/027 (2006.01)
F01K 25/00 (2006.01)
C10L 5/40 (2006.01)

**(54) СПОСОБ И КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА**

(43) **2022.06.30**

(96) **2020000127 (RU) 2020.12.04**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "ТАМБОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВО
"ТГТУ"); АО "ПРОДМАШ" (RU)**

(56) RU-C1-2631456
RU-C1-2718051
US-A1-20110252698
WO-A1-2012161711
US-A1-20140202073

(72) Изобретатель:
**Климов Дмитрий Владимирович,
Исьёмин Рафаил Львович, Михалёв
Александр Валерьевич, Милованов
Олег Юрьевич, Кузьмин Сергей
Николаевич, Караханов Леонид
Викторович (RU), Матью Бруле (FR),
Фузи Табет (DE)**

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Изобретение относится к биоэнергетике и может быть использовано в различных отраслях народного хозяйства, в которых необходима генерация электроэнергии, в том числе за счет утилизации образующихся на предприятиях органических горючих отходов. Предложен способ генерации электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина и установка, реализующая этот способ, в которой для повышения надежности и эффективности топочные газы, выходящие из топки с температурой 1100-1200°C, используются для гетерогенного термкрекинга при температуре 850-1000°C газообразных продуктов окислительной торрефикации в слое твердых продуктов окислительной торрефикации, газообразные продукты окислительной торрефикации образуются в результате окислительной торрефикации биомассы в среде топочных газов, покидающих испаритель, а синтез-газ, получаемый в результате гетерогенного термкрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации, используется для полной или частичной замены органического топлива, сжигаемого в топке, в которой генерируются горячие топочные газы.

B1

042053

042053

B1

Область техники

Изобретение относится к биоэнергетике и может быть использовано в различных отраслях народного хозяйства, в которых необходима генерация электроэнергии, в том числе за счет утилизации образующихся на предприятиях органических горючих отходов.

Основной областью применения изобретения могут стать птицефабрики, которые, с одной стороны, испытывают большую потребность в электроэнергии, а, с другой стороны, имеют большие объемы отходов в виде помета и его смеси с подстилкой. Эти отходы требуют уничтожения или переработки, а существующие технологии и логистические проблемы не позволяют их эффективно использовать в качестве органического удобрения.

Уровень техники

Установки с использованием органического цикла Ренкина в настоящее время, в основном, используются для утилизации низкопотенциального тепла дизельных и газовых электрогенерирующих установок. Однако, известно случаи использования электрогенерирующих установок с органическим циклом Ренкина, в которых используется термическая энергия, полученная в результате сжигания различных биоотходов (например, древесных отходов, помета, смеси помета с подстилкой и т.п.).

Известен способ генерации с использованием органического цикла Ренкина и установка, реализующая этот способ, которая включает котел, в котором за счет сжигания органического топлива нагревается вода, испаритель, в котором происходит испарение низкокипящей жидкости и превращение ее в пар, турбогенератор, в котором пар подается на турбину и происходит генерация электрической энергии, и устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости (<http://www.zuccatoenergia.it/>).

Недостатком такого способа и такой установки является ее достаточно низкая эффективность (КПД=13,3-13,6%). Низкая эффективность установки обусловлена потерями тепла в окружающую среду в системе котел-вода-низкокипящий теплоноситель, а также невозможностью получить высокую температуру пара низкокипящего теплоносителя (температура пара низкокипящего теплоносителя ограничена значениями температуры в 160°C, до которой можно нагреть воду в котле).

Наиболее близким к предлагаемому является способ генерации электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина и установка, реализующая этот способ, которая включает топку, в которой за счет сжигания органического топлива образуются горячие топочные газы, испаритель, в котором за счет тепла горячих топочных газов происходит испарение низкокипящей жидкости и превращение ее в пар, турбогенератор, в котором пар подается на турбину и происходит генерация электрической энергии, устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости и дымовую трубу, по которой топочные газы выбрасываются в атмосферу (<http://www.triogen.nl/>).

За счет прямого нагрева низкокипящего теплоносителя топочными газами с температурой 550°C и возможностью увеличения температуры пара низкокипящей жидкости КПД установки достигает 17%. (<http://www.triogen.nl/why-triogen/benefits>).

Недостатком данного способа и данной установки является ее низкая надежность и низкая эффективность.

Низкая надежность установки вызвана быстрым ростом отложений плотных отложений золы на конвективных поверхностях нагрева испарителя при сжигании топлива с большим содержанием золы, имеющей низкую температуру плавления, что снижает эффективность генерации пара низкокипящего теплоносителя и требует частых остановок для очистки поверхностей испарителя. Низкая эффективность обусловлена тем, что топочные газы, покидающие испаритель, выбрасываются в атмосферу.

Таким образом, технической задачей настоящего изобретения является повышение надежности и эффективности установки для генерации электроэнергии с использованием органического цикла Ренкина.

Сущность изобретения

Для решения поставленной задачи предложен способ получения электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина, включающий стадии: получения топочных газов с температурой 1100-1200°C в топке путем сжигания органического топлива, подачи топочных газов в рубашку реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации с обеспечением температуры слоя частиц твердого продукта окислительной торрефикации 850-1000°C, с получением синтез-газа, который используют для полной или частичной замены органического топлива, сжигаемого в топке, подачи топочных газов из рубашки реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов торрефикации в испаритель, с получением в испарителе пара низкокипящей жидкости, подачи пара низкокипящей жидкости в турбогенератор с генерацией электрической энергии, конденсации пара низкокипящей жидкости после турбогенератора и подачи конденсированной низкокипящей жидкости в испаритель для повторного использования, подачи топочных газов из испарителя в реактор для окислительной торрефикации биомассы и проведение окислительной торрефикации биомассы с получением газообразных и твердых продуктов окислительной торрефикации, разделения газообразных и твердых продуктов окислительной торрефикации и подачу газообразных и твердых продуктов окислительной торрефикации в реактор для гетерогенного термокрекинга.

Кроме того, предложена установка для получения электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина, которая включает последовательно установленные по ходу движения топоч-

ных газов: топку, выполненную с возможностью сжигания органического топлива с образованием топочных газов, реактор для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации биомассы, испаритель, выполненный с возможностью испарения низкокипящей жидкости и превращения ее в пар за счет тепла поступающих топочных газов, турбогенератор, выполненный с возможностью подачи пара на турбину с генерацией электрической энергии, устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости, реактор для окислительной торрефикации биомассы, циклон для отделения газообразных продуктов окислительной торрефикации от твердых продуктов окислительной торрефикации, и дымовую трубу для удаления части газообразных продуктов торрефикации в атмосферу.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлена схема установки для генерации электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина, реализующей предложенный способ.

На фиг. 2 представлена схема реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации биомассы.

На фиг. 3 представлена схема реактора для окислительной торрефикации.

Описание изобретения

Задача повышения надежности и эффективности установки с использованием органического цикла Ренкина для генерирования электрической энергии может быть решена посредством способа генерации электрической энергии и установки, реализующей данный способ, которая включает топку, в которой за счет сжигания органического топлива генерируются горячие топочные газы, испаритель, в котором за счет тепла горячих топочных газов происходит испарение низкокипящей жидкости и превращение ее в пар, турбогенератор, в котором пар подается на турбину и происходит генерация электрической энергии, устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости и дымовую трубу, по которой топочные газы выбрасываются в атмосферу, где с целью повышения надежности и эффективности топочные газы, выходящие из топки с температурой 1100-1200°C, используют для гетерогенного термокрекинга при температуре 850-1000°C газообразных продуктов окислительной торрефикации в слое твердых продуктов окислительной торрефикации, газообразные продукты окислительной торрефикации образуются в результате окислительной торрефикации биомассы в среде топочных газов, покидающих испаритель и имеющих температуру 180-230°C, а синтез-газ, получаемый в результате гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации, используют для полной или частичной замены органического топлива, сжигаемого в топке, в которой генерируются горячие топочные газы.

Таким образом, установка, реализующая предлагаемый способ генерации электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина, включает последовательно установленные по ходу движения топочных газов топку, в которой за счет сжигания органического топлива образуются горячие топочные газы, реактор для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации биомассы, испаритель, в котором за счет тепла горячих топочных газов происходит испарение низкокипящей жидкости и превращение ее в пар, турбогенератор, в котором пар подается на турбину и происходит генерация электрической энергии, устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости, реактор для окислительной торрефикации биомассы, циклон для отделения газообразных продуктов окислительной торрефикации от твердых продуктов окислительной торрефикации и дымовую трубу, по которой топочные газы выбрасываются в атмосферу.

В частности, предложенная установка включает следующие элементы со ссылкой на фиг. 1: топку 1, в которой генерируются горячие топочные газы, реактор 2, для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации биомассы, испаритель 3, в котором за счет тепла горячих топочных газов происходит испарение низкокипящей жидкости и превращение ее в пар, турбогенератор 4, в котором пар подается на турбину и происходит генерация электрической энергии, устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости 5, реактор 6 для окислительной торрефикации исходной биомассы, циклон 7 для отделения газообразных продуктов окислительной торрефикации от твердых продуктов окислительной торрефикации и дымовую трубу 8, по которой часть газообразных продуктов окислительной торрефикации выбрасывается в атмосферу.

Установка работает следующим образом: на первом этапе в топку 1 подается твердое органическое топливо (например, древесная щепа или биогранулы, подстильно-пометная масса и т.п.), в том числе топливо с большим содержанием золы (5-15%), имеющей температуру плавления ниже 1000°C, при сжигании которого генерируются горячие топочные газы с температурой 1000-1200°C.

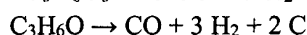
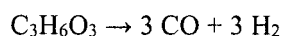
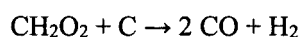
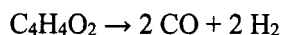
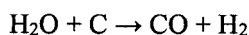
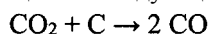
Указанные горячие топочные газы с температурой 1000-1200°C подают в рубашку реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации.

Реактор для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов пиролиза изображен на фиг. 2.

Реактор имеет вертикальный корпус 1 с рубашкой 2, в которую подают дымовые газы с температурой 1100-1200°C. Корпус имеет штуцер 3 для входа газообразных продуктов окислительной торрефикации и штуцер 4 для выхода синтез-газа. Реактор также имеет узел 5 для загрузки частиц, в качестве которого используется твердый продукт окислительной торрефикации биомассы.

Реактор для термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации работает следующим образом.

В корпус 1 реактора для гетерогенного термкрекинга через узел 5 загружают твердый продукт, полученный в реакторе для окислительной торрефикации биомассы. Через штуцер 3 в реактор для гетерогенного термкрекинга подают газообразные продукты окислительной торрефикации биомассы, полученные в реакторе для окислительной торрефикации, которые фильтруются через слой частиц твердого продукта окислительной торрефикации. Слой частиц твердого продукта окислительной торрефикации нагревается дымовыми газами с температурой 1100-1200°C. При этом температура слоя частиц твердого продукта окислительной торрефикации достигает 850-1000°C. При такой температуре в слое частиц твердого продукта окислительной торрефикации происходит химическое взаимодействие с газообразными продуктами окислительной торрефикации по следующим реакциям:



Степень гетерогенного разложения газообразных продуктов окислительной торрефикации зависит как от температуры в зоне их контакта с частицами твердого продукта окислительной торрефикации, так и от времени пребывания газообразных продуктов окислительной торрефикации в этом слое.

Экспериментально показано, что при температуре примерно 1000°C в слое частиц твердого продукта окислительной торрефикации и времени контакта этих частиц с газообразными продуктами окислительной торрефикации порядка 4-10 с происходит практически полное преобразование газообразных продуктов окислительной торрефикации в синтез-газ. Реакционная способность частиц твердого продукта окислительной торрефикации при такой температуре настолько высока, что практически весь объем CO_2 , содержащийся в газообразных продуктах окислительной торрефикации, преобразуется в CO .

Высота слоя частиц твердого продукта окислительной торрефикации составляет от 500 до 1500 мм. При этом, большая высота слоя частиц окислительной торрефикации применяется при более низкой температуре гетерогенного термкрекинга.

Окислительной торрефикации с последующим гетерогенным термкрекингом газообразных продуктов окислительной торрефикации могут быть подвергнуты любые виды биомассы. В таблице в качестве примера приведен состав синтез-газа и его теплота сгорания, полученного из двух видов биомассы (древесина и торф), подвергнутых окислительной торрефикации, с последующим термкрекингом газообразных продуктов окислительной торрефикации.

Состав синтез-газа и его теплота сгорания, полученного из двух видов биомассы (древесина и торф), подвергнутых окислительной торрефикации, с последующим термкрекингом газообразных продуктов окислительной торрефикации

Режим, материал	Объемная доля горючих компонентов (без учета соединений азота), %			Теплота сгорания (без учета соединений азота) МДж/м ³
	H	CO	CH ₄	
Окислительная торрефикация. Температура в зоне термкрекинга - 1000 °C				
Древесина	45	47	0,2	10,9
Торф	45	43	0,4	10,4

Выход синтез-газа, указанного в таблице состава, составляет примерно 1,8 нм³/кг биомассы, подвергнутой окислительной торрефикации. Указанный синтез-газ подают в топку 1 (фиг. 1) для полной или частичной замены органического топлива, в том числе топлива с большим содержанием золы, имеющей низкую температуру плавления. При сжигании синтез-газа зола не образуется, следовательно, на конвективных поверхностях нагрева испарителя отложений золы не наблюдается вообще, либо, при частичной замене органического топлива, сжигаемого в топке 1 на синтез-газ, скорость роста этих отложений золы

замедляется. Это повышает надежность установки для генерации электроэнергии с использованием органического цикла Ренкина.

Топочные газы, покидающие рубашку реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов торрефикации имеют температуру 850-1000°C и направляются в испаритель 3 (фиг. 1), в котором за счет тепла горячих топочных газов происходит испарение низкокипящей жидкости, например, толуола, н-пентана, изопентана, и т.п., и превращение ее в пар. Испаритель имеет конструкцию, которая используется, например, в установке фирмы Triogen (<http://www.triogen.nl/>). В частности, испаритель представляет собой вертикальный теплообменник с пучком труб, по которым движется низкокипящая жидкость. Пучок труб установлен перпендикулярно движению топочных газов, которые движутся сверху вниз испарителя.

Полученный в испарителе пар направляется в турбогенератор 4 (фиг. 1), в котором пар подают на турбину и происходит генерация электрической энергии. Турбогенератор имеет конструкцию, которая используется, например, в установке фирмы Triogen (<http://www.triogen.nl/>). В частности, турбогенератор ORC WB-1 может представлять собой турбину, на лопатки которой поступает пар низкокипящей жидкости, полученный в испарителе. Вал турбины объединен с валом электрогенератора. На валу турбины размещен электрогенератор, который вырабатывает электрическую энергию.

Пар низкокипящей жидкости после турбогенератора 4 подают в устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости 5 (фиг. 1). Устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости 5 представляет собой трубчатый теплообменник, в котором пар низкокипящей жидкости подается в трубное пространство, а в межтрубное пространство подается с помощью насоса охлаждающая жидкость (например, водный раствор этиленгликоля). Сконденсированный пар вновь подается в испаритель 3 для повторного использования.

Топочные газы покидают испаритель 3 с температурой 180-230°C и поступают в реактор 6 для окислительной торрефикации исходной биомассы.

Схема реактора 6 для окислительной торрефикации биомассы показана на фиг. 3.

В частности, реактор для окислительной торрефикации имеет корпус 1, в котором размещен слой частиц биомассы 2. Этот слой частиц биомассы опирается на газораспределительную решетку 3. В нижней части реактора для окислительной торрефикации расположен узел приема топочных газов 4, а верхней части реактора расположен узел 5 для вывода отработанного топочного газа и твердого продукта окислительной торрефикации. Реактор для окислительной торрефикации оборудован бункером 6 для загрузки исходной биомассы.

Реактор для окислительной торрефикации работает следующим образом. Из бункера 6 измельченную биомассу загружают в реактор 1 и образуется слой 2 биомассы, опирающийся на газораспределительную решетку 3. Топочные газы с температурой 180-230°C через узел 4 для приема топочных газов входят в слой биомассы 2 и переводят слой 2 в псевдооживленное состояние. Топочные газы содержат от 2 до 12% кислорода. Поэтому, при соприкосновении со слоем биомассы 2 в этом слое начинают развиваться экзотермические процессы, связанные с деструкцией биомассы. Температура в слое биомассы 2 может подниматься до 300°C и выше. При этом происходит торрефикация биомассы, частицы биомассы теряют часть своего веса и вместе с топочными газами выносятся из реактора для окислительной торрефикации через узел 5 для вывода отработанного топочного газа и твердого продукта окислительной торрефикации.

Газообразные и твердые продукты окислительной торрефикации поступают в циклон 7, в котором эти продукты отделяются друг от друга.

Газообразные продукты окислительной торрефикации разделяют на два потока: часть газообразных продуктов окислительной торрефикации направляют в реактор 2 для гетерогенного термокрекинга и получения синтез-газа, а часть газообразных продуктов окислительной торрефикации направляют в дымовую трубу 8 и выбрасывают в атмосферу.

Твердые продукты окислительной торрефикации направляют в реактор 2 для гетерогенного термокрекинга, в котором они используются как углеродсодержащие частицы в процессе гетерогенного термокрекинга.

Таким образом, настоящее изобретение позволяет обеспечить повышение надежности и эффективности установки с использованием органического цикла Ренкина.

Надежность повышается за счет того, что в топку для генерации горячего топочного газа подают синтез-газ, который служит для полной или частичной замены органического топлива, в том числе топлива с большим содержанием золы, имеющей низкую температуру плавления. При сжигании синтез-газа зола не образуется, следовательно, на конвективных поверхностях нагрева испарителя отложений золы не наблюдается, либо, при частичной замене органического топлива, сжигаемого в топке, генерирующей горячие топочные газы, скорость роста этих отложений золы замедляется.

Одновременно с повышением надежности обеспечивается повышение энергоэффективности установки для генерации электроэнергии с использованием органического цикла Ренкина. Энергоэффективность обеспечивается за счет того, что топочные газы, покидающие топку и имеющие температуру 1100-1200°C, используются для производства синтез-газа, а топочные газы, покидающие испаритель с темпе-

ратурой 180-230°C не выбрасываются в атмосферу, а используются для окислительной торрефикации биомассы, в результате которой производится углеродосодержащий материал и газы, используемые как сырье для производства синтез-газа.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка для получения электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина, которая включает последовательно установленные по ходу движения топочных газов:

топку, выполненную с возможностью сжигания органического топлива с образованием топочных газов,

реактор для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации биомассы,

испаритель, выполненный с возможностью испарения низкокипящей жидкости и превращения ее в пар за счет тепла поступающих топочных газов,

турбогенератор, выполненный с возможностью подачи пара на турбину с генерацией электрической энергии,

устройство для охлаждения и конденсации пара низкокипящей жидкости,

реактор для окислительной торрефикации биомассы,

циклон для отделения газообразных продуктов окислительной торрефикации от твердых продуктов окислительной торрефикации.

2. Установка по п.1, дополнительно содержащая дымовую трубу для удаления части газообразных продуктов торрефикации в атмосферу.

3. Установка по п.1, отличающаяся тем, что органическое топливо представляет собой твердое органическое топливо с содержанием золы 5-15% и температурой плавления ниже 1000°C.

4. Установка по п.1, отличающаяся тем, что органическое топливо выбрано из группы, включающей древесную щепу, биогранулы и подстильно-пометную массу.

5. Установка по п.1, отличающаяся тем, что биомасса выбрана из древесины или торфа.

6. Установка по п.1, отличающаяся тем, что низкокипящая жидкость выбрана из группы, включающей толуол, н-пентан и изопентан.

7. Способ получения электрической энергии с использованием органического цикла Ренкина, включающий следующие стадии:

получение топочных газов с температурой 1100-1200°C в топке путем сжигания органического топлива,

подача топочных газов в рубашку реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации с обеспечением температуры слоя частиц твердого продукта окислительной торрефикации 850-1000°C, с получением синтез-газа, который используют для полной или частичной замены органического топлива, сжигаемого в топке,

подача топочных газов из рубашки реактора для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов торрефикации в испаритель, с получением в испарителе пара низкокипящей жидкости,

подача пара низкокипящей жидкости в турбогенератор с генерацией электрической энергии,

конденсация пара низкокипящей жидкости после турбогенератора и подача конденсированной низкокипящей жидкости в испаритель для повторного использования,

подача топочных газов из испарителя в реактор для окислительной торрефикации биомассы и проведение окислительной торрефикации биомассы с получением газообразных и твердых продуктов окислительной торрефикации,

разделение газообразных и твердых продуктов окислительной торрефикации и подача газообразных и твердых продуктов окислительной торрефикации в реактор для гетерогенного термокрекинга.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что органическое топливо представляет собой твердое органическое топливо с содержанием золы 5-15% и температурой плавления ниже 1000°C.

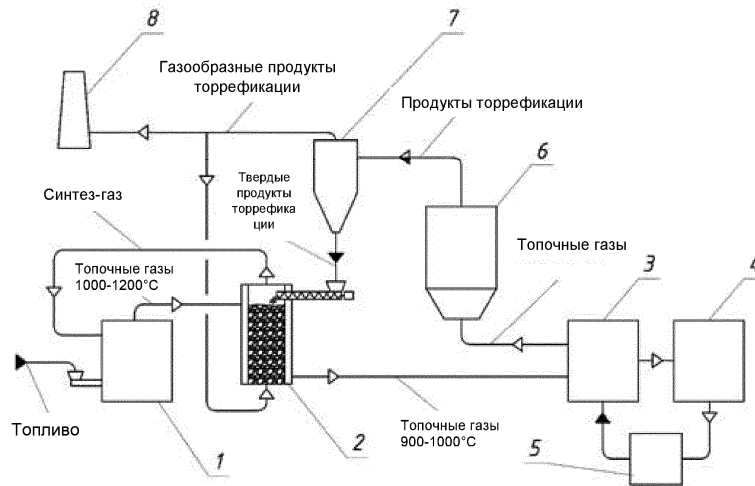
9. Способ по п.7, отличающийся тем, что органическое топливо выбрано из группы, включающей древесную щепу, биогранулы и подстильно-пометную массу.

10. Способ по п.7, отличающийся тем, что биомасса выбрана из древесины или торфа.

11. Способ по п.7, отличающийся тем, что низкокипящая жидкость выбрана из группы, включающей толуол, н-пентан и изопентан.

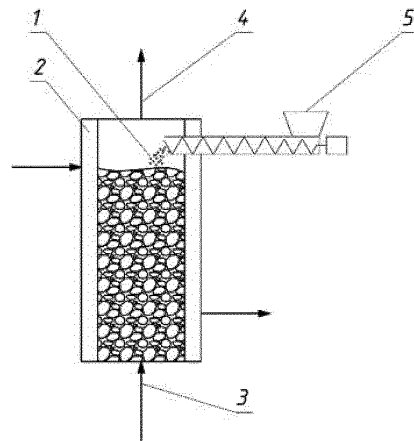
12. Способ по п.7, отличающийся тем, что температура топочных газов, выходящих из испарителя в реактор для окислительной торрефикации биомассы, составляет 180-230°C.

Схема когенерационной установки



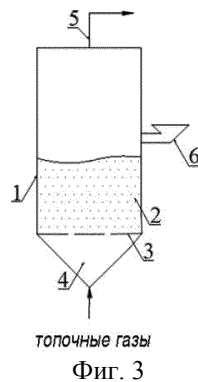
Фиг. 1

Реактор для гетерогенного термокрекинга газообразных продуктов окислительной торрефикации биомассы



Фиг. 2

Реактор для окислительной торрефикации



Фиг. 3

