

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **047310**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.06.28

(21) Номер заявки
202292045

(22) Дата подачи заявки
2021.03.04

(51) Int. Cl. **C10J 3/72 (2006.01)**
C10J 3/48 (2006.01)
C12N 1/20 (2006.01)

(54) **ОСТАТОЧНЫЙ ГАЗ ИЗ ФЕРМЕНТАЦИИ ГАЗА ДЛЯ СУШКИ СЫРЬЯ ДЛЯ
ГАЗИФИКАЦИИ**

(31) **62/990,148; 17/180,619**

(32) **2020.03.16; 2021.02.19**

(33) **US**

(43) **2022.11.10**

(86) **PCT/US2021/020799**

(87) **WO 2021/188300 2021.09.23**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛАНЦАТЕК, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Гао Аллан Хейминг, Конрадо Роберт
Джон (US)**

(74) Представитель:
Хмара М.В. (RU)

(56) **US-A1-20110138684**
US-A1-20080115415
US-A1-20150225749
WO-A2-2010056460
US-A1-20110104770

(57) Согласно настоящему изобретению предложена интеграция способа ферментации газа и способа газификации таким образом, что остаточный газ из способа ферментации газа рециркулируют в сушилку способа газификации. Остаточный газ из способа ферментации газа используют для выработки тепла, которое, в свою очередь, используют для сушки сырья для способа газификации. Тепло обычно используют для нагрева сушильного газа, такого как воздух, который затем прямо или косвенно приводят в контакт с сырьем для газификации с целью сушки сырья для газификации. Высушенное сырье для газификации обеспечивает повышенный выход и улучшенное качество синтез-газа по сравнению с невысушенным сырьем для газификации.

047310

B1

047310
B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Настоящая заявка испрашивает приоритет согласно предварительной заявке на патент США № 62/990148, поданной 16 марта 2020 г., и заявке на патент США № 17/180619, поданной 19 февраля 2021 г. Содержание обеих заявок явным образом включено в настоящий документ в полном объеме посредством ссылки.

Область техники

Изобретение относится к способам улучшения интеграции ферментации газа и газификации. В частности, изобретение относится к рециркуляции по меньшей мере части остаточного газа из способа ферментации газа в сушилку для сырья для способа газификации.

Уровень техники

По мере увеличения мирового населения отходы, производимые этим населением, становятся все более серьезной проблемой. Одним из решений для утилизации отходов является газификация. Газификация представляет собой способ преобразования органических или ископаемых топливных углеводородных материалов в синтез-газ, содержащий монооксид углерода, диоксид углерода и водород. Газификация выгодно снижает количество отходов, которые попадают на свалку, и производит продукт, синтез-газ, который можно преобразовать в полезные продукты с помощью одного или более последующих способов.

Синтез-газ, полученный путем газификации, можно применять в ряде способов, включая синтез Фишера-Тропша. Синтез Фишера-Тропша обеспечивает каталитическое гидрирование монооксида углерода для получения различных продуктов, включая углеводороды, спирты или другие кислородсодержащие углеводороды. Однако каталитические слои в синтезе Фишера-Тропша особенно чувствительны к различным компонентам, которые могут находиться в потоке синтез-газа, в зависимости от исходного сырья для газификации. Одним из таких компонентов является сера. Если серу не удалить из потока синтез-газа перед введением в синтез Фишера-Тропша, сера может дезактивировать катализаторы, необходимые для реакции Фишера-Тропша. Таким образом, чтобы получить подходящий газ для синтеза Фишера-Тропша, часто требуется технология глубокой очистки газа.

Одной из альтернатив синтезу Фишера-Тропша является ферментация газа. Ферментация газа обеспечивает биологическое связывание газов, включая синтез-газ, с образованием одного или более продуктов. Ферментация газа обладает рядом преимуществ по сравнению с синтезом Фишера-Тропша. Во-первых, в синтезе Фишера-Тропша применяют высокие температуры (150-350°C), повышенные давления (30 бар) и гетерогенные катализаторы, такие как кобальт, рутений и железо. Для сравнения, ферментация газа протекает при температуре примерно 37°C и часто проводится при атмосферном давлении, что дает значительную экономию энергии и затрат по сравнению с синтезом Фишера-Тропша. Кроме того, синтез Фишера-Тропша требует относительно фиксированного соотношения $H_2:CO$ в синтез-газе, примерно 2:1, тогда как в ферментации газа можно получать и применять широкий спектр субстратов с различными соотношениями $H_2:CO$.

При интеграции газификации для производства синтез-газа и ферментации газа могут быть приняты действия для контроля типа производимого синтез-газа. Например, сушка биомассы обсуждалась в Li, H. Chen, Q., Zhang, X. Finney, K.N., Sharifi, V.N., Swithenbank, J. (2012) Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study. (Оценка способа сушки биомассы с использованием отработанного тепла перерабатывающих производств: тематическое исследование.) Applied Thermal Engineering, 35, 71-80. В области пиролиза и газификации рабочие параметры и содержание влаги изучались в работе Dong, J., Chi, Y., Tang, Y. Ni, M. Nzihou, A., Weiss-Hortala, E. Huang, Q. (2016) Effect of operating parameters and moisture content on municipal solid waste pyrolysis and gasification. (Влияние рабочих параметров и содержания влаги на процессы пиролиза и газификации твердых бытовых отходов.) Energy & Fuels, 30(5), 3994-4001.

Однако сохраняется потребность в более высоком уровне интеграции между операцией газификации и операцией ферментации газа, чтобы применять поток отходов одной операции наиболее выгодным образом в другой операции. Неожиданно выгодное применение остаточного газа из операции ферментации газа заключается в применении по меньшей мере части остаточного газа для нагрева сушильного газа, который, в свою очередь, применяют для сушки исходного сырья для операции газификации. Сушка исходного сырья для операции газификации обеспечивает более высокий выход и более высокое качество синтез-газа, что, таким образом, увеличивает производство требуемого продукта в масштабах всей системы за счет интегрированной операции газификации и ферментации газа. Удивительно, но с энергетической точки зрения рекуперация энергии из остаточного газа значительно выше при применении для сушки сырья по сравнению с выработкой электроэнергии или пара.

Краткое описание изобретения

Изобретение включает способ, включающий нагрев сушильного газа; подачу нагретого сушильного газа в сушилку, содержащую сырье для газификации, с получением высушенного сырья для газификации; газификацию по меньшей мере части высушенного сырья для газификации с получением синтез-газа; ферментацию по меньшей мере части синтез-газа в биореакторе с использованием микроорганизма с получением по меньшей мере одного продукта и остаточного газа; и использование по меньшей мере

части остаточного газа для обеспечения тепла для нагрева сушильного газа. В одном варианте реализации сырьем для газификации являются твердые бытовые отходы, сельскохозяйственные отходы, микробная биомасса или любая их комбинация. В одном варианте реализации остаточный газ содержит диоксид углерода, монооксид углерода, водород, азот и метан.

Изобретение также включает устройство, содержащее: сушилку, имеющую одну или более горелок для нагрева сушильного газа, при этом сушилка сообщается с трубопроводом для сырья; газификатор, сообщаемый с сушилкой; биореактор, сообщаемый по текучей среде с газификатором; трубопровод для продукта и трубопровод для остаточного газа, сообщаемые по текучей среде с биореактором; и при этом трубопровод остаточного газа также сообщается по текучей среде с одной или более горелками.

В одном варианте реализации в способе ферментации применяют один или более C1-связывающих микроорганизмов, подходящих для ферментации C1-содержащего газообразного субстрата, такого как синтез-газ, полученный посредством газификации. В различных вариантах реализации C1-связывающий микроорганизм выбран из группы, состоящей из *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyrifacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*. Микроорганизм может являться представителем рода *Clostridium*. В некоторых случаях указанный микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

В различных вариантах реализации сырье для газификации представляет собой твердые бытовые отходы, твердые промышленные отходы, сельскохозяйственные отходы, лигноцеллюлозный материал, микробную биомассу или любую их комбинацию. Сырье для газификации сушат в сушилке, а затем газифицируют для получения потока синтез-газа. По меньшей мере часть потока синтез-газа направляют в способ ферментации для получения одного или более продуктов и, возможно, по меньшей мере одного побочного продукта. В некоторых вариантах реализации микробную биомассу, полученную в способе ферментации, направляют на операцию газификации в качестве сырья для газификации.

В конкретных вариантах реализации по существу всю микробную биомассу, полученную в способе ферментации, либо повторно используют в способе ферментации после выделения продукта, либо обрабатывают с помощью способа очистки сточных вод, и/или направляют в способ газификации для получения синтез-газа. В определенных случаях в способ газификации поступает по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% или по существу вся микробная биомасса из способа ферментации.

В некоторых вариантах реализации микробную биомассу, полученную в способе очистки сточных вод, направляют в способ газификации. Микробную биомассу, полученную в способе очистки сточных вод, можно, по меньшей мере частично, извлекать из способа с использованием анаэробного биореактора в способе очистки сточных вод. В различных случаях по меньшей мере часть микробной биомассы, полученной в способе очистки сточных вод, сушат перед подачей в способ газификации. В определенных случаях по существу всю микробную биомассу, полученную в способе очистки сточных вод, сушат перед подачей в способ газификации.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть обедненной микробной биомассой воды из способа ферментации направляют в способ газификации. В различных случаях обедненную микробной биомассой воду направляют в способ газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. Предпочтительно, по меньшей мере часть обедненной микробной биомассой воды направляют в способ газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление обедненной микробной биомассой воды в способ газификации, при котором увеличивается соотношение $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, может привести к увеличению селективности по этанолу, получаемому в способе ферментации газа, снижению селективности по продукции микробной биомассы, снижению потребления воды в реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока в способе очистки сточных вод.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть сточных вод, образующихся в способе ферментации, направляют в способ газификации. Эти сточные воды могут содержать один или более продуктов и/или побочных продуктов, включая, без ограничения, микробную биомассу. В различных случаях сточные воды, образующиеся в способе ферментации, направляют в способ газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. Предпочтительно, по меньшей мере часть сточных вод, образующихся в способе ферментации, направляют в способ газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление сточных вод, образующихся в способе ферментации, в способ газификации, при котором увеличивается соотношение $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, может привести к увеличению селективности по этанолу, получаемому в способе ферментации газа, снижению селективности по продукции микробной биомассы, снижению потребления воды в реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока в способе очистки сточных вод.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть осветленной воды, получаемой в способе очистки сточных вод, направляют в способ газификации. В различных случаях осветленную воду, получаемую в способе очистки сточных вод, направляют в способ газификации для увеличения соотно-

шения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. Предпочтительно, по меньшей мере часть осветленной воды, получаемой в способе очистки сточных вод, направляют в способ газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление осветленной воды, получаемой в способе очистки сточных вод, в способ газификации, при котором увеличивается соотношение $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, может привести к увеличению селективности по этанолу, получаемому в способе ферментации газа, снижению селективности по продукции микробной биомассы, снижению потребления воды в реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока в способе очистки сточных вод.

Предпочтительно, по меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока из способа ферментации и/или способа очистки сточных вод, заменяет по меньшей мере часть технической воды, необходимой для способа газификации. В определенных случаях количество технической воды, необходимой для способа газификации, снижают по меньшей мере на 45 процентов. По меньшей мере в одном варианте реализации количество технической воды, необходимой для способа газификации, снижают на 45-100 процентов. В определенных вариантах реализации количество технической воды, необходимой для способа газификации, снижают на 45-75 процентов, на 55-75 процентов, на 65-75 процентов, на 55-100 процентов, на 65-100 процентов или на 75-100 процентов.

В определенных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока вводят в поток синтез-газа, полученный в способе газификации, для снижения температуры потока синтез-газа. Предпочтительно, выходящий поток, вводимый в поток синтез-газа, полученный в способе газификации, выбран из группы, состоящей из: обедненной микробной биомассой воды, сточных вод, образующихся в способе ферментации, и осветленной воды из установки для очистки сточных вод. Предпочтительно, температуру потока синтез-газа снижают по меньшей мере на 100 градусов по Цельсию. По меньшей мере в одном варианте реализации температура потока синтез-газа, выходящего из способа газификации, составляет от 800°C до 1200°C. Предпочтительно, температуру потока синтез-газа снижают в диапазоне температур, подходящем для дальнейшей очистки и/или ферментации газа. В различных случаях введение по меньшей мере одного выходящего потока в поток синтез-газа выполняют для удаления по меньшей мере одного дисперсного материала из потока синтез-газа.

В определенных случаях поток синтез-газа частично охлаждают. Предпочтительно, поток синтез-газа частично охлаждают путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа, причем один или более выходящих потоков выбраны из группы, состоящей из обедненной микробной биомассой воды, сточных вод, образующихся в способе ферментации, и осветленной воды из установки для очистки сточных вод. В различных вариантах реализации частичное охлаждение потока синтез-газа снижает температуру потока синтез-газа до 700-800°C. В различных вариантах реализации для этого снижения температуры требуется приблизительно 1,2 тонны технической воды на 10000 Nm^3 охлаждаемого синтез-газа, с исходной температурой 1000°C. Предпочтительно, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% или по существу всю техническую воду заменяют путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа.

В определенных случаях поток синтез-газа полностью охлаждают. Предпочтительно, поток синтез-газа полностью охлаждают путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа, причем один или более выходящих потоков выбраны из группы, состоящей из обедненной микробной биомассой воды, сточных вод, образующихся в способе ферментации, и осветленной воды из установки для очистки сточных вод. В различных вариантах реализации полное охлаждение потока синтез-газа снижает температуру потока синтез-газа до менее чем 300°C. В различных вариантах реализации для этого снижения температуры требуется приблизительно 4 тонны технической воды на 10000 Nm^3 охлаждаемого синтез-газа, с исходной температурой 1000°C. Предпочтительно, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% или по существу всю техническую воду заменяют путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод, направляют в способ газификации. Этот биогаз может содержать один или более компонентов, выбранных из группы, состоящей из метана, диоксида углерода, монооксида углерода, аммиака и соединения серы. В различных случаях это соединение серы представляет собой сероводород. По меньшей мере в одном варианте реализации биогаз содержит примерно 60 процентов метана и примерно 40 процентов диоксида углерода. По меньшей мере в одном варианте реализации биогаз содержит примерно 65 процентов метана и примерно 35 процентов диоксида углерода.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод, применяют в качестве источника тепла. Предпочтительно, по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод, применяют в качестве источника тепла в способе газификации. В различных случаях по меньшей мере часть биогаза, направляемого в способ газификации, применяют в качестве источника тепла для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в способе газификации. В одном или более вариантах реализации биогаз, получаемый в способе

очистки сточных вод, направляют в способ удаления каких-либо веществ перед направлением в способ газификации. В различных случаях способ удаления включает одну или более установок удаления, способных удалять, преобразовывать и/или снижать количество по меньшей мере одного компонента в потоке биогаза. Предпочтительно, в способе удаления удаляют по меньшей мере часть по меньшей мере одного соединения серы из потока биогаза перед направлением потока биогаза в способ газификации.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть метана в биогазе подвергается риформингу с получением СО и Н₂ после прохождения газификации в способе газификации. В различных случаях метан вступает в реакцию с влагой, содержащейся в синтез-газе, с получением монооксида углерода и водорода.

В одном варианте реализации по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в способе ферментации, неиспользованного синтез-газа, получаемого в способе газификации, неочищенного этанола, получаемого в способе выделения продукта и/или сивушного масла, получаемого в способе выделения продукта, применяют в качестве источника тепла. Предпочтительно, по меньшей мере часть по меньшей мере одного из этих выходящих потоков применяют в качестве источника тепла в способе газификации. В различных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного из этих выходящих потоков направляют в способ газификации для применения в качестве источника тепла для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в способе газификации. В одном или более вариантах реализации эти выходящие потоки обрабатывают в способе удаления перед направлением в способ газификации. В различных случаях способ удаления включает одну или более установок удаления, способных удалять, преобразовывать и/или снижать количество по меньшей мере одного компонента в выходящем потоке.

Помимо направления по меньшей мере части осветленной воды из способа очистки сточных вод в способ газификации, по меньшей мере часть осветленной воды, образующейся в способе очистки сточных вод, может быть направлена в способ ферментации. В конкретных случаях по существу всю осветленную воду, образующуюся в способе очистки сточных вод, рециркулируют или в способ газификации, и/или в способ ферментации. В определенных случаях в способ газификации поступает по меньшей мере 10%, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% или по существу вся осветленная вода, получаемая в способе очистки сточных вод. В определенных случаях в способ ферментации поступает по меньшей мере 10%, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% или по существу вся осветленная вода, получаемая в способе очистки сточных вод.

Предпочтительно, в способе ферментации применяют по меньшей мере часть синтез-газа, получаемого в способе газификации, для получения одного или более видов топлива или химических веществ. По меньшей мере один из продуктов, получаемых в способе ферментации, может быть выбран из группы, включающей: этанол, ацетат, бутанол, бутират, 2,3-бутандиол, 1,3-бутандиол, лактат, бутен, бутадиеп, метилэтилкетон, этилен, ацетон, изопропанол, липиды, 3-гидропропионат, терпены (включая, без ограничения, изопрен), жирные кислоты, 2-бутанол, изобутилен, изобутанол, 1,2-пропандиол, 1-пропанол и С₆-С₁₂ спирты.

В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, получаемой в способе ферментации, может быть преобразована в белок одноклеточных организмов (БОО).

В различных случаях по меньшей мере часть одного или более видов топлива или химических веществ направляют в способ вторичной конверсии. Предпочтительно, в способе вторичной конверсии дополнительно преобразуют по меньшей мере часть одного или более видов топлива или химических веществ по меньшей мере в один компонент дизельного топлива, топлива для реактивных двигателей, бензина, пропилена, нейлона 6-6, резины и/или смол.

В одном или более вариантах реализации синтез-газ, получаемый в способе газификации, направляют в способ удаления каких-либо веществ перед направлением в способ ферментации. В различных случаях способ удаления включает одну или более установку удаления, способную удалять, преобразовывать и/или снижать количество ингибиторов микроорганизмов и/или ингибиторов катализаторов, содержащихся в потоке синтез-газа.

Предпочтительно, по меньшей мере один компонент, удаляемый, преобразуемый или снижаемый в потоке синтез-газа в способе удаления, выбран из группы, включающей: соединения серы, ароматические соединения, алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, дисперсные примеси, твердые частицы, кислород, галогенированные соединения, кремнийсодержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, простые эфиры и смолы.

Предпочтительно способ удаления включает по меньшей мере одну установку удаления, выбранную из группы, включающей: установку гидролиза, установку удаления кислых газов, установку деоксигенации, установку каталитического гидрирования, установку удаления дисперсных частиц, установку удаления хлоридов, установку удаления смол и установку доочистки цианистого водорода. В различных

случаях способ удаления включает по меньшей мере две установки удаления.

Настоящее изобретение может дополнительно обеспечивать увеличение и/или снижение давления потока синтез-газа в одной или более точках способа.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 показана схема интеграции способа, изображающая интеграцию способа газификации, способа ферментации газа, способа выделения продукта и способа очистки сточных вод в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

На фиг. 2 показана схема интеграции способа, представленная на фиг. 1, дополнительно включающая способ удаления между способом газификации и способом ферментации газа, в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

На фиг. 3 показана схема интеграции способа, представленная на фиг. 2, дополнительно включающая способ удаления после способа очистки сточных вод, в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

Подробное описание

В настоящем изобретении описана интеграция способа газификации и способа ферментации и, необязательно, способа очистки сточных вод. Остаточный газ из способа ферментации рециркулирует в способ газификации в качестве топлива для горелок в сушилке исходного сырья способа газификации, тем самым обеспечивая существенные неожиданные преимущества в плане эффективности и синергии интегрированных способов.

Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., когда они используются в отношении способа ферментации, включают, без ограничений, увеличение одной или более скоростей роста микроорганизмов, катализирующих ферментацию, роста и/или скорости получения продукта при повышенных концентрациях продукта, увеличение объема требуемого продукта, полученного на объем потребляемого субстрата, увеличение скорости получения или уровня получения требуемого продукта, увеличение относительного содержания требуемого полученного продукта по сравнению с другими побочными продуктами ферментации, снижение количества воды, потребляемой в способе, и снижение количества энергии, используемой в способе.

Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., когда они используются в отношении способа газификации, включают, без ограничений, увеличение количества синтез-газа, получаемого в способе, снижение количества подаваемой воды, используемой в способе, оптимизацию потока синтез-газа для ферментации газа, снижение выбросов парниковых газов и снижение количества энергии, включая, без ограничений, внешнее топливо, используемое в способе.

Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., когда они используются в отношении способа очистки сточных вод, включают, без ограничений, сокращение времени удержания воды в способе, увеличение использования биогаза, образующегося в способе, снижение количества выходящего потока, направляемого в способ очистки сточных вод, снижение объема, необходимого для способа, снижение потребности в отделении аммиака в способе и снижение количества энергии, используемой в способе.

Термины "ферментация", "ферментация газа" и т.п. следует интерпретировать как способ, в который вводят один или более субстратов, таких как синтез-газ, получаемый посредством газификации, и в котором получают один или более продуктов путем использования одного или более C1-связывающих микроорганизмов. Предпочтительно способ ферментации включает применение одного или более биореакторов. Способ ферментации может описываться либо термином "периодический", либо термином "непрерывный". Термин "периодическая ферментация" используется для описания способа ферментации, при котором биореактор заполняют исходным сырьем, например источником углерода, вместе с микроорганизмами, при этом продукты остаются в биореакторе до завершения ферментации. В "периодическом" способе после завершения ферментации продукты извлекают, а биореактор очищают перед запуском следующего "периода". Термин "непрерывная ферментация" используется для описания способа ферментации, в котором указанный способ ферментации протекает в течение более длительных интервалов времени, а продукт и/или метаболит извлекают во время ферментации. Предпочтительно, способ ферментации является непрерывным.

Термин "очистка сточных вод" и т.п. следует толковать как способ, в котором отделяют компоненты от выходящего потока из способа ферментации с получением осветленной воды. Способ очистки сточных вод может включать, без ограничения, один или более анаэробных биореакторов с различными периодами пребывания и один или более способов отгонки аммиака.

Термин "газификация" и т.п. следует толковать как способ, в котором преобразуют углеродистые материалы на основе органических или ископаемых видов топлива в монооксид углерода (CO), водород (H₂) и диоксид углерода (CO₂). Способ газификации может включать различные технологии, включая, без ограничений, противоточные газификаторы с неподвижным слоем, прямоточные газификаторы с неподвижным слоем, реакторы с псевдооживленным слоем, газификаторы с газификацией в потоке и плазменные газификаторы. В способе газификации можно применять любое сырье, из которого можно получить поток синтез-газа. Термин "способ газификации" охватывает сам газификатор вместе с отдель-

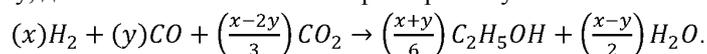
ными операциями, связанными с газификацией, включая источник нагрева для газификатора и способы охлаждения синтез-газа.

Термины "поток синтез-газа", "поток синтеза" и т.п. относятся к газообразному субстрату, получаемому в результате способа газификации. Поток синтез-газа должен в первую очередь состоять из монооксида углерода (CO), водорода (H₂) и диоксида углерода (CO₂). Состав потока синтез-газа может значительно варьироваться в зависимости от исходного сырья и задействованного способа газификации; однако типичный состав синтез-газа включает 30-60% (от тридцати до шестидесяти процентов) монооксида углерода (CO), 25-30% (от двадцати пяти до тридцати процентов) водорода (H₂), 0-5% (от нуля до пяти процентов) метана (CH₄), 5-15% (от пяти до пятнадцати процентов) диоксида углерода (CO₂), а также большее или меньшее количество водяного пара, меньшие количества соединений серы, сероводорода (H₂S), карбонилсульфида (COS), аммиака (NH₃) и других микропримесей.

В конкретных вариантах реализации наличие водорода приводит к улучшению общей эффективности получения спирта в способе ферментации.

Состав синтез-газа может быть улучшен для обеспечения требуемого или оптимального соотношения H₂:CO:CO₂. Состав синтез-газа можно улучшать за счет регулирования исходного сырья, подаваемого в способ газификации. Требуемое соотношение H₂:CO:CO₂ зависит от требуемого продукта ферментации в способе ферментации. Для этанола оптимальное соотношение H₂:CO:CO₂ является следующим:

$(x):(y):\left(\frac{x-2y}{3}\right)$, где $x > 2y$, для соответствия стехиометрии при получении этанола



Осуществление способа ферментации в присутствии водорода обеспечивает дополнительное преимущество, которое заключается в уменьшении количества CO₂, получаемого в способе ферментации. Например, газообразный субстрат, содержащий минимальное количество H₂, обычно превращается в этанол и CO₂ со следующей стехиометрией: $[6 CO + 3 H_2O \rightarrow C_2H_5OH + 4 CO_2]$. По мере увеличения количества водорода, используемого C1-связывающими бактериями, количество получаемого CO₂ уменьшается [например, $2 CO + 4 H_2 \rightarrow C_2H_5OH + H_2O$].

Когда CO является единственным источником углерода и энергии для производства этанола, часть углерода теряется на образование CO₂ согласно уравнению:



При увеличении количества H₂, доступного в субстрате, количество получаемого CO₂ уменьшается. При стехиометрическом соотношении 2:1 (H₂:CO), образование CO₂ полностью исключено.



Термин "поток" обозначает любой субстрат, который можно направлять, например, из одного способа в другой, из одной установки в другую и/или из одного способа в средство улавливания углерода.

В контексте данного документа термин "реагенты" обозначает вещества, которые принимают участие и подвергается изменению в ходе химической реакции. В конкретных вариантах реализации реагенты включают, без ограничений, CO и/или H₂.

Используемый в данном документе термин "ингибиторы микроорганизмов" относится к одному или более компонентам, которые замедляют или препятствуют конкретной химической реакции или иному процессу с участием микроорганизмов. В конкретных вариантах реализации ингибиторы микроорганизмов включают, без ограничений, кислород (O₂), цианистый водород (HCN), ацетилен (C₂H₂) и БТЭК (бензол, толуол, этилбензол, ксилол).

Используемые в данном документе "ингибитор катализатора", "ингибитор адсорбента" и т.п. относятся к одному или более веществам, которые снижают скорость или препятствуют химической реакции. В конкретных вариантах реализации ингибиторы катализаторов и/или адсорбентов могут включать, без ограничения, сероводород (H₂S) и карбонилсульфид (COS).

"Способ удаления", "установка удаления", "установка очистки" и тому подобное включают технологии, которые способны преобразовывать и/или удалять ингибиторы микроорганизмов и/или ингибиторы катализатора из газового потока. В определенных вариантах реализации ингибиторы катализатора необходимо удалять с помощью расположенной выше по технологической цепи установки удаления для предотвращения ингибирования одного или более катализаторов в расположенной ниже по технологической цепи установке удаления.

В контексте данного документа термины "компоненты", "примеси" и тому подобное обозначают ингибиторы микроорганизмов и/или ингибиторы катализаторов, которые могут находиться в газовом потоке. В конкретных вариантах реализации компоненты включают, без ограничения, соединения серы, ароматические соединения, алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, дисперсные примеси, твердые частицы, кислород, галогенированные соединения, кремний-

содержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, простые эфиры и смолы.

Термины "очищенный газ", "очищенный поток" и тому подобные обозначают поток газа, который был пропущен через по меньшей мере одну установку удаления, и из которого были удалены один или более компонентов и/или осуществлено их преобразование.

В контексте данного документа термин "улавливание углерода" обозначает способ удаления соединений углерода, в том числе CO₂ и/или CO из потока, содержащего CO₂ и/или CO, и либо:

превращение CO₂ и/или CO в продукты; либо

превращение CO₂ и/или CO в вещества, пригодные для долгосрочного хранения; или

улавливание CO₂ и/или CO в веществах, подходящих для долгосрочного хранения; либо

комбинации этих способов.

Термин "биореактор", "реактор" и т.п. включает устройство для ферментации, состоящее из одной или более емкостей и/или конструкций типа башен или трубопроводов, включая реактор непрерывного действия с перемешиванием (CSTR; Continuous Stirred Tank Reactor), реактор с иммобилизованными клетками (ICR; Immobilized Cell Reactor), реактор с орошаемым слоем (TBR; Trickle Bed Reactor), барботажную колонну, газлифтный ферментер, статический смеситель, циркуляционный петлевой реактор, мембранный реактор, такой как мембранный биореактор с системой полых волокон (HFM BR; Hollow Fibre Membrane Bioreactor), или другую емкость или другое устройство, подходящее для контакта газ-жидкость. Реактор предпочтительно выполнен с возможностью получения газообразного субстрата, содержащего CO или CO₂ или H₂ или их смеси. Реактор может содержать несколько реакторов (ступеней), расположенных параллельно или последовательно. Так, например, реактор может содержать первый реактор выращивания, в котором выращивают бактерии, и второй реактор ферментации, в который можно подавать ферментационный бульон из реактора выращивания и в котором можно получать основную часть продуктов ферментации.

"Питательные среды" или "питательную среду" используют для описания среды бактериального роста. Предпочтительно в способе ферментации используют питательную среду внутри биореактора. Как правило, этот термин относится к среде, содержащей питательные вещества и другие компоненты, подходящие для роста микробной культуры. Термин "питательное вещество" включает в себя любое вещество, которое может быть использовано в метаболическом пути микроорганизма. Типичные питательные вещества включают калий, витамины группы B, металлические микроэлементы и аминокислоты.

Термин "ферментативный бульон" или "бульон" охватывает смесь компонентов, включая питательную среду и культуру одного или более микроорганизмов. Предпочтительно, в способе ферментации применяют ферментативный бульон для ферментации потока синтез-газа с образованием одного или более продуктов.

Используемый в данном документе термин "кислота" включает в себя как карбоновые кислоты, так и связанной с ними карбоксилат-анион, как например смесь свободной уксусной кислоты и ацетата, присутствующая в ферментативном бульоне, как описано в настоящем документе. Соотношение молекулярной кислоты и карбоксилата в ферментативном бульоне зависит от pH системы. Кроме того, термин "ацетат" включает как соль уксусной кислоты, так и смесь молекулярной или свободной уксусной кислоты и соли уксусной кислоты, такую как смесь соли уксусной кислоты и свободной уксусной кислоты, присутствующую в ферментативном бульоне, как описано в настоящем документе.

Термин "требуемый состав" используют для обозначения требуемого количества и типов компонентов в веществе, таком как, например, газовый поток, включая, без ограничений, синтез-газ. В частности, считается, что газ имеет "требуемый состав", если он содержит конкретный компонент (например, CO, H₂ и/или CO₂) и/или содержит конкретный компонент в конкретной пропорции и/или не содержит конкретный компонент (например, компонент, вредный для микроорганизмов) и/или не содержит конкретный компонент в конкретной пропорции. Можно учитывать более одного компонента при определении того, имеет ли газовый поток требуемый состав.

Если из контекста не следует иное, выражения "ферментация", "способ ферментации" или "реакция ферментации" и т.п. в данном документе включают как фазу выращивания, так и фазу биосинтеза продукта из газообразного субстрата.

"Микроорганизм" представляет собой микроскопический организм, в частности, бактерию, архею, вирус или грибок. Микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой, как правило, бактерию. Подразумевается, что используемый в данном документе термин "микроорганизм" включает в себя "бактерию". Следует отметить, что термин "микроорганизм" и термин "бактерии" используются взаимозаменяемо по всему документу.

Термин "родительский микроорганизм" обозначает микроорганизм, применяемый для создания микроорганизма согласно настоящему изобретению. Родительский микроорганизм может представлять собой встречающийся в природе микроорганизм (например, микроорганизм дикого типа) или микроорганизм, который был предварительно модифицирован (например, мутантный или рекомбинантный микроорганизм). Микроорганизм согласно настоящему изобретению может быть модифицирован с возможностью экспрессии или сверхэкспрессии одного или нескольких ферментов, которые не были экспресси-

рованы или сверхэкспрессированы в родительском микроорганизме. Аналогичным образом микроорганизм согласно настоящему изобретению может быть модифицирован с возможностью содержания одного или нескольких генов, которые не содержались в родительском микроорганизме. Микроорганизм согласно настоящему изобретению также может быть модифицирован для того, чтобы он не экспрессировал или экспрессировал более низкие количества одного или более ферментов, которые экспрессировались в родительском микроорганизме. В одном варианте реализации родительский микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. В предпочтительном варианте реализации родительский микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, внесенный 7 июня 2010 года в немецкую коллекцию микроорганизмов и клеточных культур (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ)), расположенную по адресу Inhoffenstraße 7B, D-38124 Braunschweig, Германия, 7 июня 2010 года в соответствии с Будапештским договором о международном признании депонирования микроорганизмов для целей патентной процедуры под номером доступа DSM23693. Этот штамм описан в международной заявке на патент № PCT/NZ2011/000144, опубликованной как WO 2012/015317.

Термин "получен из" означает, что нуклеиновая кислота, белок или микроорганизм модифицированы или адаптированы из другой (например, исходной или дикого типа) нуклеиновой кислоты, белка или микроорганизма с целью получения новой нуклеиновой кислоты, белка или микроорганизма. К таким модификациям или адаптациям, как правило, относится вставка, делеция, мутация или замена нуклеиновых кислот или генов. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению получен из родительского микроорганизма. В одном варианте реализации микроорганизм согласно настоящему изобретению получен из *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. В одном варианте реализации микроорганизм согласно настоящему изобретению получен из *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, который был депонирован под регистрационным номером DSMZ DSM23693.

Термин "Вуд-Льонгдаль" обозначает путь фиксации углерода Вуда-Льонгдаля, описанный, например, в работе Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784: 1873-1898, 2008. Термин "микроорганизмы Вуда-Льонгдаля" ожидаемо обозначает микроорганизмы, содержащие путь Вуда-Льонгдаля. В общем случае микроорганизм согласно настоящему изобретению содержит нативный путь Вуда-Льонгдаля. В настоящем документе путь Вуда-Льонгдаля может представлять собой нативный немодифицированный путь Вуда-Льонгдаля или может представлять собой путь Вуда-Льонгдаля с некоторой степенью генетической модификации (например, сверхэкспрессией, гетерологичной экспрессией, нокаутом и т.п.) при условии, что он продолжает использоваться для конверсии CO, CO₂ и/или H₂ в ацетил-КоА.

Термин "C1" обозначает молекулу, содержащую один атом углерода, например, CO, CO₂, CH₄ или CH₃OH. Термин "C1-оксигенат" обозначает одноуглеродную молекулу, которая также содержит по меньшей мере один атом кислорода, например, CO, CO₂ или CH₃OH. "C1-источник углерода" относится к одноуглеродной молекуле, которая служит частичным или единственным источником углерода для микроорганизма согласно настоящему изобретению. Так, например, источник C1-углерода может содержать одно или более соединений, выбранных из CO, CO₂, CH₄, CH₃OH или CH₂O₂. Источник C1-углерода предпочтительно содержит одно или оба соединения CO и CO₂. "C1-связывающий микроорганизм" представляет собой микроорганизм, способный продуцировать один или более продуктов из источника C1-углерода. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой C1-связывающую бактерию.

"Анаэроб" представляет собой микроорганизм, которому для роста не требуется кислород. Анаэроб может реагировать отрицательно или даже погибнуть в присутствии кислорода выше определенного порогового значения. Однако некоторые анаэробы способны переносить низкие уровни кислорода (например, 0,000001% - 5% кислорода). Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой анаэроб.

"Ацетогены" представляют собой облигатно-анаэробные бактерии, использующие путь Вуда-Льонгдаля в качестве основного механизма для сохранения энергии и синтеза ацетил-КоА и продуктов, полученных из ацетил-КоА, таких как ацетат (Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784: 1873-1898, 2008). В частности, ацетогены используют путь Вуда-Льонгдаля в качестве (1) механизма восстановительного синтеза ацетил-КоА из CO₂, (2) терминального процесса акцептирования электронов, сохранения энергии, (3) механизма связывания (ассимиляции) CO₂ в синтезе клеточного углерода (Drake, *Acetogenic Prokaryotes*, в: *The Prokaryotes*, 3-е издание, стр. 354, New York, NY, 2006). Все ацетогены природного происхождения являются C1-связывающими, анаэробными, автотрофными и неметанотрофными. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой ацетоген.

"Этанологен" представляет собой микроорганизм, который продуцирует или способен продуцировать этанол. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой этанологен.

"Автотроф" представляет собой микроорганизм, способный расти при отсутствии органического углерода. Вместо этого автотрофы используют источники неорганического углерода, например, CO и/или CO₂. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой автотроф.

"Карбоксидотроф" представляет собой микроорганизм, способный использовать СО в качестве единственного источника углерода и энергии. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой карбоксидотроф.

"Метанотроф" представляет собой микроорганизм, способный использовать метан в качестве единственного источника углерода и энергии. В определенных вариантах реализации изобретения микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой метанотроф или получен из метанотрофа. В других вариантах реализации изобретения микроорганизм согласно настоящему изобретению не является метанотрофом или не получен из метанотрофа.

Термин "субстрат" обозначает источник углерода и/или источник энергии для микроорганизма согласно настоящему изобретению. Как правило, субстрат является газообразным и содержит источник С1-углерода, например СО, СО₂ и/или СН₄. Субстрат предпочтительно содержит источник С1-углерода в виде СО или СО + СО₂. Субстрат может дополнительно содержать другие неуглеродные компоненты, такие как Н₂ или N₂.

Термин "косубстрат" относится к веществу, которое, хотя и не обязательно является первичным источником энергии и материала для синтеза продукта, может быть использовано для синтеза продукта при добавлении к другому субстрату, например, первичному субстрату.

Состав субстрата может оказывать значительное влияние на эффективность и/или стоимость реакции. Так, например, присутствие кислорода (О₂) может понижать эффективность процесса анаэробной ферментации. В зависимости от состава субстрата может быть желательной обработка, очистка или фильтрация субстрата для удаления нежелательных примесей, например, токсинов, нежелательных компонентов или частиц пыли, и/или для увеличения концентрации желаемых компонентов.

В некоторых вариантах реализации ферментацию проводят при отсутствии углеводных субстратов, таких как сахар, крахмал, лигнин, целлюлоза или гемицеллюлоза.

Микроорганизм согласно настоящему изобретению может быть культивирован с потоком газа с получением одного или нескольких продуктов. Например, микроорганизм согласно настоящему изобретению может продуцировать или может быть разработан для продуцирования этанола (WO 2007/117157), ацетата (WO 2007/117157), бутанола (WO 2008/115080 и WO 2012/053905), бутирата (WO 2008/115080), 2,3-бутандиола (WO 2009/151342 и WO 2016/094334), лактата (WO 2011/112103), бутена (WO 2012/024522), бутадиена (WO 2012/024522), метилэтилкетона (2-бутанона) (WO 2012/024522 и WO 2013/185123), этилена (WO 2012/026833), ацетона (WO 2012/115527), изопропанола (WO 2012/115527), липидов (WO 2013/036147), 3-гидроксипропионата (3-HP) (WO 2013/180581), терпенов, включая изопрен (WO 2013/180584), жирных кислот (WO 2013/191567), 2-бутанола (WO 2013/185123), 1,2-пропандиола (WO 2014/036152), 1-пропанола (WO 2014/0369152), продуктов на основе хоризматов (WO 2016/191625), 3-гидроксибутирата (WO 2017/066498) и 1,3-бутандиола (WO 2017/0066498). В определенных вариантах реализации сама микробная биомасса может рассматриваться в качестве продукта. Эти продукты могут быть дополнительно преобразованы для производства по меньшей мере одного компонента дизельного топлива, реактивного топлива и/или бензина. Кроме того, микробная биомасса может быть подвергнута дальнейшей переработке для получения белка одноклеточных организмов (БОО).

Термин "белок одноклеточных организмов" (БОО) относится к микробной биомассе, которая может быть использована в богатых белками пищевых продуктах для людей и/или животных, часто заменяя традиционные источники белковых добавок, такие как соевая мука или рыбная мука. Для получения белка одноклеточных или другого продукта способ может включать дополнительные стадии выделения, переработки или обработки. Так, например, способ может включать стерилизацию микробной биомассы, центрифугирование микробной биомассы и/или сушку микробной биомассы. В некоторых вариантах реализации микробную биомассу сушат с использованием распылительной сушки или лопастной сушки. Способ также может включать уменьшение содержания нуклеиновой кислоты в микробной биомассе с использованием любого способа, известного в данной области техники, поскольку потребление рациона с высоким содержанием нуклеиновой кислоты может приводить к накоплению продуктов распада нуклеиновой кислоты и/или желудочно-кишечному расстройству. Белок одноклеточных может быть пригодным для кормления животных, таких как домашний скот или домашние животные. В частности, корм для животных может быть пригодным для кормления одного или нескольких из мясного скота, молочного скота, свиней, овец, коз, лошадей, мулов, ослов, оленей, буйволов/бизонов, лам, альпак, северных оленей, верблюдов, бантенгов, гаялов, яки, кур, индюков, уток, гусей, перепелов, цесарок, голубей, рыбы, креветок, ракообразных, кошек, собак и грызунов. Композиция корма для животных может быть адаптирована к потребностям в питании различных животных. Кроме того, способ может включать смешивание или комбинирование микробной биомассы с одним или несколькими наполнителями.

Термин "наполнитель" может относиться к любому веществу, которое может быть добавлено в микробную биомассу для улучшения или изменения формы, свойств или питательной ценности корма для животных. Так, например, наполнитель может содержать один или более из углеводов, клетчатки, жиров, белков, витаминов, минералов, воды, вкусоароматических добавок, подсластителей, антиоксидантов, ферментов, консервантов, пробиотиков или антибиотиков. В некоторых вариантах реализации наполнителем может быть сено, солома, силос, злаки, масла или жиры или другой растительный матери-

ал. Наполнителем может быть любой кормовой ингредиент, указанный в Chiba, Section 18: Diet Formulation and Common Feed Ingredients, Animal Nutrition Handbook, 3-е пересмотренное издание, стр. 575-633, 2014.

"Нативный продукт" представляет собой продукт, продуцируемый генетически немодифицированным микроорганизмом. Например, этанол, ацетат и 2,3-бутандиол являются нативными продуктами *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* и *Clostridium ragsdalei*. "Ненативный продукт" представляет собой продукт, продуцируемый генетически модифицированным микроорганизмом, но не продуцируемый генетически немодифицированным микроорганизмом, из которого получен генетически модифицированный микроорганизм.

Термин "селективность" обозначает отношение объемов продуцирования целевого продукта к объему продуцирования всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом. Микроорганизм согласно настоящему изобретению может быть сконструирован с возможностью продуцирования продуктов с определенной селективностью или с минимальной селективностью. В одном варианте реализации целевой продукт составляет по меньшей мере примерно 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50% или 75% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно настоящему изобретению. В одном варианте реализации целевой продукт составляет по меньшей мере 10% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно настоящему изобретению, в результате чего микроорганизм согласно настоящему изобретению характеризуется селективностью по целевому продукту, составляющей по меньшей мере 10%. В другом варианте реализации целевой продукт составляет по меньшей мере 30% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом по данному изобретению, благодаря чему микроорганизм согласно настоящему изобретению характеризуется селективностью по целевому продукту, составляющей по меньшей мере 30%.

Культивирование, как правило, проводят в водной культуральной среде, содержащей питательные вещества, витамины и/или минералы, достаточные для обеспечения роста микроорганизма. Водная питательная среда предпочтительно представляет собой среду для анаэробного микробного роста, такую как минимальная среда для анаэробного микробного роста.

Для получения целевого продукта культивирование/ферментацию желательно проводить в соответствующих условиях. Как правило, культивирование/ферментацию проводят в анаэробных условиях. К условиям химической реакции, которые следует учитывать, относится давление (или парциальное давление), температура, скорость потока газа, скорость потока жидкости, pH среды, окислительно-восстановительный потенциал среды, скорость перемешивания (при использовании реактора непрерывного действия с перемешиванием), количество посевного материала, максимальные концентрации газового субстрата, чтобы гарантировать, что газ в жидкой фазе не станет ограничивающим фактором, а также максимальные концентрации продукта во избежание ингибирования продукта. В частности, скорость введения субстрата может быть управляемой, чтобы гарантировать, что концентрация газа в жидкой фазе не станет ограничивающим фактором, поскольку продукты могут потребляться культурой в условиях ограниченного количества газа.

Эксплуатация биореактора при повышенных давлениях позволяет повышать скорость массопереноса газа из газовой фазы в жидкую фазу. Соответственно, в общем случае предпочтительно осуществлять культивирование/ферментацию при давлениях выше атмосферного давления. Кроме того, поскольку заданная скорость конверсии газа частично зависит от времени удерживания субстрата, а время удерживания определяет необходимый объем биореактора, то применение систем под давлением может значительно уменьшить требуемый объем биореактора и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для культивирования/ферментации. Это, в свою очередь, означает, что при поддержании в биореакторах повышенного давления, а не атмосферного давления, можно уменьшить время удерживания, определяемое, как объем жидкости в биореакторе, деленный на скорость подачи потока газа. Оптимальные условия химической реакции частично зависят от конкретного применяемого микроорганизма. Однако, в общем случае предпочтительно проводить ферментацию при давлении выше атмосферного давления. Кроме того, поскольку заданная скорость конверсии газа частично зависит от времени удерживания субстрата, а достижение желаемого времени удерживания, в свою очередь, определяет необходимый объем биореактора, то применение систем под давлением может значительно уменьшить требуемый объем биореактора и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для культивирования/ферментации.

Целевые продукты можно отделять или очищать от ферментативного бульона посредством любого подходящего способа удаления, в котором используют способ или комбинацию способов, известных в данной области техники, включая, например, фракционную перегонку, вакуумную перегонку, выпаривание, испарение через полупроницаемую мембрану, отдувку газом, разделение фаз и экстракционную ферментацию, включая, например, жидкофазную экстракцию. В некоторых вариантах реализации целевые продукты выделяют из ферментативного бульона путем непрерывного удаления из биореактора части бульона, отделения микробных клеток от бульона (обычно путем фильтрации) и выделения из бульона одного или нескольких целевых продуктов. Спирты и/или ацетон можно выделять, например, перегонкой. Кислоты можно выделять, например, адсорбцией на активированном угле. Отделенные микробные клетки могут быть возвращены в биореактор. Бесклеточный пермеат, оставшийся после удаления

целевых продуктов, также может быть возвращен в биореактор. Для восполнения среды перед ее возвратом в биореактор к бесклеточному пермеату можно добавлять дополнительные питательные вещества (такие как витамины группы В).

Настоящее изобретение показывает, что за счет интеграции операции газификации и операции ферментации в интегрированную систему неожиданный синергизм приводит к повышению общей эффективности интегрированной системы. Более конкретно, настоящее изобретение определяет интеграцию, в которой остаточный газ операции ферментации применяют для нагрева сушильного газа, который затем применяют для сушки сырья перед операцией газификации.

Остаточный газ из способа ферментации можно применять для производства электроэнергии или пара, но в лучшем случае оператор может восстановить около 60% энергии остаточного газа, из которых примерно 40% приходится на электричество и примерно 20% на пар. Удивительно, но в отличие от вышеизложенного, при применении остаточного газа для сушки сырья перед операцией газификации, оператор может рекуперировать примерно 92% энергии остаточного газа в виде повышения выхода синтез-газа в ходе операции газификации.

Ранее было показано, что сушка сырья с 51,2% до 9,2% может повысить эффективность использования холодного газа, т.е. количество синтез-газа, полученного из сырья для газификации в пересчете на энергию, с 45% до 70%. Кроме того, энергетическая основа производимого синтез-газа увеличивается с 3,8 МДж/Нм³ до 4,9 МДж/Нм³, что указывает на то, что концентрация ферментируемых веществ, таких как СО и Н₂, также увеличится. Это обеспечивает дополнительную экономию средств в последующих частях системы, включая сжатие и ферментацию. Например, это снижает удельное потребление энергии при последующей ферментации, когда более разбавленный газ требует того же сжатия и объема реактора для получения меньшего количества продукта этанола.

Кроме того, настоящее изобретение повышает выход синтез-газа и его качество, что обеспечивает большую экономическую отдачу по сравнению с применением остаточного газа для производства пара или производства электроэнергии. Более конкретно, применение остаточного газа при сушке исходного сырья для газификатора приводит к увеличению производства синтез-газа из газификатора. Большее производство синтез-газа приводит к большему объему и более высокому качеству сырья для способа ферментации и, следовательно, к большему производству продукта в способе ферментации. Стоимость увеличенного количества продукта в способе ферментации превышает стоимость электричества или пара, которые были бы получены из остаточного газа, если бы остаточный газ не применяли в операции сушки.

Сравнение ожидаемого дохода от применения остаточного газа для сушки сырья в газификаторе по сравнению с применением остаточного газа для выработки электроэнергии и потока показано в таблице ниже. Сравнение основано на газификаторе производительностью 41,7 тонны в час (ТРН) и установке ферментации газа исходного сырья производительностью 1000 тонн в сутки (ТРС) с плотностью энергии исходного сырья 11 МДж/кг.

Таблица 1

Остаточный газ	50 ГДж/ч
Эффективность сушилки	3 ГДж/т воды
Удаляемая вода	6,7 т/ч
Твердые бытовые отходы Исходная влажность	40 %
Твердые бытовые отходы Конечная влажность	23 %
Предполагаемое повышение эффективности синтез-газа	16,7 % относительных
Предполагаемый рост производства синтез-газа	45,9 ГДж/ч
Предполагаемый рост производства этанола	1,0 т/ч
Стоимость остаточного газа при цене этанола 1000 долл. США за тонну.	20 долларов США за гигаджоуль

Таблица 2

Остаточный газ	50 ГДж/ч
Эффективность комбинированной выработки электроэнергии	40 %
Эффективность комбинированной выработки пара	20 %
Расчетная производительность по электричеству	5,6 МВт
Расчетная производительность по пару	4,5 т/ч
Стоимость отходящего газа при цене на электроэнергию 80 долларов США за МВт-ч и на пар 20 долларов США за тонну	10,8 долларов США за гигаджоуль

Также отмечается, что остаточный газ может быть слишком разбавленным для применения в производстве электроэнергии, и в этом случае ценность применения для сушки сырья в газификаторе стано-

вится еще выше.

Настоящее изобретение выполнено с возможностью рециркуляции одного или более выходящих потоков, содержащих биогаз, образующийся в способе очистки сточных вод, остаточный газ, образующийся в способе ферментации, неиспользованный синтез-газ, образующийся в способе газификации, микробную биомассу, образующуюся в способе ферментации, микробную биомассу, образующуюся в способе очистки сточных вод, неочищенный этанол, полученный в способе выделения продукта, сивушное масло, полученное в способе выделения продукта, обедненную микробной биомассой воду, сточные воды, образующиеся в способе ферментации, и осветленную воду, полученную в способе очистки сточных вод, в способ газификации. Этот поток синтез-газа предпочтительно подходит для ферментации газа.

Эти различные выходящие потоки образуются либо в способе ферментации, либо ниже по технологической цепи. В способе ферментации образуется поток сточных вод, содержащий органические метаболиты, такие как микробная биомасса, этанол, ацетат и 2-3 бутандиол, а также различные неорганические соединения, такие как соли и металлические микроэлементы. Этот поток сточных вод часто направляют в способ очистки сточных вод. Типичный способ очистки сточных вод включает следующие стадии: (i) деление микробной биомассы, которая представляет собой взвешенное твердое вещество; (ii) концентрирование твердых веществ микробной биомассы в отдельном анаэробном биореакторе с длительным временем пребывания, приблизительно тридцать дней; (iii) концентрирование осветленного выходящего потока с уменьшенными количествами твердых веществ микробной биомассы, содержащих растворимые органические вещества, с более коротким временем пребывания, приблизительно от двух до трех дней, в анаэробном биореакторе. Обычно эти анаэробные биореакторы потребляют большую часть, предпочтительно более 80% (восемьдесят процентов), органического вещества в сырье и продуцируют продукт биогаза. Продукт биогаза состоит в основном из метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2).

Этот продукт биогаза может быть полезен для выработки электроэнергии. Однако, чтобы применять биогаз для выработки электроэнергии, биогаз обычно необходимо обработать с помощью одной или более установок удаления. Кроме того, как показано ниже, применение микробной биомассы для получения биогаза оказалось относительно малозатратным применением микробной биомассы по сравнению с возможностями газификации микробной биомассы.

В дополнение к вышеупомянутым стадиям способ очистки сточных вод может также включать дополнительные стадии очистки после анаэробных биореакторов. Обычно очищенный выходящий поток из анаэробных биореакторов подвергается дополнительной обработке, включая аэробную обработку, выделение струвита, выделение азота и в некоторых случаях обратный осмос. Осветленная вода, полученная в способе очистки сточных вод, подходит для повторного применения и/или сброса. Одним из подходящих способов применения этой осветленной воды является рециркуляция осветленной воды в способ ферментации и/или способ газификации.

Хотя способ очистки сточных вод позволяет успешно очищать сточные воды, образующиеся в способе ферментации, с получением осветленной воды, органические метаболиты в потоке сточных вод часто создают несколько проблем. В частности, очистка микробной биомассы в потоке сточных вод с помощью способа очистки сточных вод может создавать проблемы проектирования из-за (i) высокого содержания белка и, следовательно, высокого образования аммиака во время анаэробного сбраживания и (ii) большой площади участка, необходимого для проведения способа очистки сточных вод.

Аммиак представляет собой проблему для анаэробного сбраживания, потому что аммиак в высоких концентрациях связан с ингибированием метаногенеза во время способа анаэробного сбраживания. Было обнаружено, что ингибирующие концентрации аммиака находятся в диапазоне от 2 г/л до 3 г/л. Это пороговое значение может быть значительно превышено, поскольку при сбраживании отделенной микробной биомассы концентрация аммиака может превышать 20 г/л. Таким образом, для обработки микробной биомассы в способе очистки сточных вод, часто требуется способ отгонки аммиака для снижения концентрации аммиака ниже ингибирующих уровней.

Требование к большой площади участка представляет собой серьезную проблему в местностях, в которых земля стоит дорого. Для каждой составляющей способа очистки сточных вод требуется значительная площадь пространства из-за значительных обрабатываемых объемов. Например, анаэробный биореактор с длительным временем пребывания может в некоторых случаях превышать 7000 м^3 .

Авторы изобретения обнаружили, что эти проблемы можно решить за счет рециркуляции по меньшей мере части микробной биомассы в способ газификации. Чем меньше микробной биомассы направляется на анаэробное сбраживание, тем меньше аммиака образуется, и, следовательно, уменьшается и/или устраняется потребность в способе отгонки аммиака. Кроме того, поскольку большие объемы выходящего потока, образующегося в способе ферментации, направляются в способ газификации, меньшие объемы выходящего потока направляются в способ очистки сточных вод. При меньших объемах выходящего потока, обрабатываемого в способе очистки сточных вод, требуемый объем и соответствующие требования к площади участка снижаются, что делает конструкцию более выгодной для местностей, в которых земля стоит дорого.

В дополнение к устранению вышеупомянутых проблем рециркуляция микробной биомассы в спо-

соб газификации дает следующие выгодные результаты: (i) регенерируется большая часть энергии, содержащейся в биомассе; (ii) увеличивается соотношение $H_2:CO$ в полученном потоке синтез-газа; (iii) неорганические вещества, соединения металлов и щелочные элементы в микробной биомассе, для которых обычно требуются дополнительные этапы очистки в способе очистки сточных вод, удобно собираются в способе газификации как часть зольной фракции, уже для которой требуется утилизация, таким образом снижается общий объем очистки отходов; и (iv) азот, содержащийся в биомассе, будет подвергаться реакции в газификаторе, превращаясь в N_2 , NH_3 и следы HCN , что хорошо интегрируется с существующими способами удаления.

Авторы изобретения также неожиданно обнаружили прирост дохода при рециркуляции биомассы в газификацию по сравнению с применением биомассы в получении биогаза. В частности, авторы изобретения обнаружили увеличение дохода на 321% при сравнении применения биомассы в синтез-газе с применением биомассы при получении биогаза.

Этот процент прироста дохода лучше всего показан ниже в таблице. В табл. 3 приведена стоимость, создаваемая 20 ГДж/ч биомассы, получаемая посредством каждого пути.

Таблица 3

	ГДж/ч биомассы	ГДж/ч газообразного продукта	ГДж/ч этанола	Стоимость продукта, \$/ГДж	Доход, \$/ч	% прироста дохода	Стоимость биомассы в \$/ГДж
Анаэробное сбраживание для получения биогаза	20	12	н/о	8	96,0	н/о	4,80
Газификация для получения синтез-газа	20	15	8,25	37,3	307,7	321 %	15,39

Расчеты, представленные в приведенной выше таблице, сравнивают стоимость преобразования биомассы в биогаз посредством анаэробного сбраживания и биомассы в синтез-газ посредством газификации. Эффективность преобразования при получении биогаза из биомассы посредством анаэробного сбраживания составляет примерно 60% (шестьдесят процентов). Эффективность преобразования при получении синтез-газа из биомассы посредством газификации составляет примерно 75% (семьдесят пять процентов), что может варьироваться в зависимости от применяемой технологии газификации. ГДж/час газообразного продукта представляет собой ГДж/час биомассы, умноженное на соответствующую эффективность преобразования. ГДж/час этанола представляет собой ГДж/час газообразного продукта, умноженное на эффективность преобразования при ферментации газа. Эффективность преобразования при ферментации газа для получения этанола составляет, по скромным подсчетам, примерно 55% (пятьдесят пять процентов). При такой эффективности преобразования было обнаружено, что ГДж/ч этанола составляет 8,25. Текущая цена биогаза при отсутствии стимулов к возобновляемым источникам находится в диапазоне от \$4 (четыре долларов) в США до \$10 (десяти долларов) в Европейском союзе по состоянию на 5 ноября 2018 г. Для целей анализа используется цена \$8/ГДж (восемь долларов за гигаджоуль) биогаза (Стоимость продукта, \$/ГДж). Цена низкоуглеродного этанола в настоящее время составляет, по состоянию на 5 ноября 2018 г., \$850/тонну этанола в Европейском союзе, \$1100/тонну этанола в Китае и \$1200/тонну этанола в США. Для целей анализа используется цена \$1000/тонну этанола, что эквивалентно \$37,30/ГДж. Доход, \$/ч представляет собой ГДж/час газообразного продукта, умноженное на стоимость продукта, \$/ГДж. % прироста дохода представляет собой сравнительное значение Дохода, \$/ч для Анаэробного сбраживания для получения биогаза по сравнению с Доходом, \$/ч для Газификации для получения синтез-газа. Стоимость биомассы в \$/ГДж показывает стоимость биомассы для выбранного способа. Она рассчитывается путем деления Дохода, \$/ч на ГДж/час биомассы. Как показано, применение биомассы для получения синтез-газа посредством газификации значительно увеличивает как доход, так и стоимость биомассы.

Дополнительное преимущество подачи микробной биомассы в способ газификации состоит в том, что микробная биомасса может помочь обеспечить дополнительные количества синтез-газа, которые могут потребоваться для адекватного обеспечения способа ферментации. Например, для подачи синтез-газа, необходимого для способа ферментации этанола при производстве этанола в количестве 100000 тонн/год, требуется скорость подачи в газификатор около 1200 тонн сухого вещества в день, что эквивалентно 50 тоннам сухого вещества в час, исходя из текущих расчетных параметров. Биомасса, получаемая в способе ферментации такого масштаба, обычно составляет от 1000 кг/час до 1200 кг/час. Это значительное количество биомассы. Дополнительные количества синтез-газа, которые могут быть получены путем газификации биомассы, могут быть особенно полезными в ситуациях, когда сырье для газификатора ограничено или когда цена на сырье является высокой.

Для биомассы, полученной в способе ферментации, может потребоваться дополнительная стадия сушки перед подачей в газификатор, чтобы увеличить процент содержания биомассы. В зависимости от требований к газификатору, для биомассы может потребоваться сушка до момента, когда биомасса будет

составлять более 20 мас. %.

Однако газификация биомассы с повышенным содержанием влаги имеет дополнительное преимущество, заключающееся в увеличении соотношения $H_2:CO$ в получаемом синтез-газе. При влажности около 15 мас. %, в исходном сырье для газификации получаемый поток синтез-газа имеет соотношение $H_2:CO$ 1:1. Когда влажность в исходном сырье для газификации увеличивается до 40 мас. %, получаемый поток синтез-газа имеет соотношение $H_2:CO$ 2:1. Как указывалось ранее, увеличение соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, подаваемом в способ ферментации, приводит к увеличению эффективности способа ферментации.

Для достижения вышеупомянутых преимуществ настоящее изобретение рециркулирует один или более из следующих выходящих потоков, выбранных из группы, состоящей из: биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод, остаточного газа, образующегося в способе ферментации, неиспользованного синтез-газа, образующегося в способе газификации, микробной биомассы, образующейся в способе ферментации, микробной биомассы, образующейся в способе очистки сточных вод, неочищенного этанола, получаемого в результате способа выделения продукта, сивушного масла, получаемого в результате способа выделения продукта, обедненной микробной биомассой воды, сточных вод, образующихся в способе ферментации, и осветленной воды, получаемой в способе очистки сточных вод. Один или более из этих выходящих потоков могут быть направлены в способ газификации для получения потока синтез-газа, применяемого в способе газификации в качестве источника тепла и/или применяемого в способе газификации для охлаждения получаемого синтез-газа. Этот поток синтез-газа предпочтительно подходит для ферментации газа.

На фиг. 1 показана схема интеграции способа, изображающая интеграцию способа газификации 300 с использованием сушилки 10, способа ферментации газа 100, способа выделения продукта 400 и способа очистки сточных вод 200 в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения. Эти способы интегрированы таким образом, что обеспечивают удивительную синергию и преимущества. Предпочтительно, в способ газификации 300 поступает сырье 301 для газификации, которое может представлять собой любой подходящий материал, способный подвергаться газификации с образованием потока синтез-газа 302. В различных случаях сырье 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из сортированных и/или несортированных твердых бытовых отходов. В других случаях сырье 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из лесных и/или сельскохозяйственных отходов. В различных случаях сырье 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из твердых промышленных отходов. В конкретных вариантах реализации сырье 301 для газификации состоит из комбинации двух или более из следующих составляющих: сортированных твердых бытовых отходов, несортированных твердых бытовых отходов, твердых промышленных отходов, лесных отходов, сельскохозяйственных отходов, ила, полученного при очистке сточных вод, канализационных стоков, лигноцеллюлозного материала, микробной биомассы, по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в способе ферментации 100, по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в способе выделения продукта 400, и по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в способе очистки сточных вод 200.

Сырье для газификации сушат в сушилке 10 как часть способа газификации 300 в газификаторе. Сушилка 10 работает с использованием сушильного газа, такого как, например, воздух, для сушки сырья для газификации. Сушильный газ, такой как воздух, нагревают и в одном варианте реализации приводят в контакт с сырьем для газификации для сушки сырья для газификации. Предполагается, что в других вариантах реализации сырье для газификации может быть нагрето без прямого контакта с сушильным газом. Воздух или другой сушильный газ можно нагревать с помощью горелок. Сушильный газ в газопроводе сушилки 8 находится в теплообменном сообщении по меньшей мере с одной горелкой. Топливо к горелкам обеспечивают посредством остаточного газа по трубопроводам 104, 124 и 125.

В способ газификации 300 поступает сырье 301 для газификации и образуется поток синтез-газа 302, который подходит для ферментации в способе ферментации газа 100. В способе ферментации 100 этот поток используют в качестве источника углерода для получения одного или более продуктов, которые могут по меньшей мере частично содержаться в одном или более выходящих потоках 102, 104. В различных случаях выходящий поток, образующийся в способе ферментации 100, представляет собой ферментативный бульон. Один или более продуктов, полученных в способе ферментации 100, удаляют и/или отделяют от ферментативного бульона в способе выделения продукта 400 в установке выделения продукта. Предпочтительно, в способе выделения продукта 400 удаляют один или более продуктов 406 и образуется по меньшей мере один выходящий поток 402, 404, 408, который содержит сниженные количества по меньшей мере одного продукта. Этот выходящий поток может быть направлен по трубопроводу 402 в способ очистки сточных вод 200 для получения по меньшей мере одного выходящего потока 202 в трубопроводе для рециркулированного продукта, который может быть рециркулирован в способ газификации 300 и/или способ ферментации 100.

Выходящий поток из способа ферментации 100 представляет собой остаточный газ, образующийся в способе ферментации 100. По меньшей мере часть этого остаточного газа направляют по трубопроводу 104, 124 и 125 в способ газификации 300 и применяют в сушилке 10 в качестве топлива для горелок су-

шилки 10 для нагрева сушильного газа. В необязательном варианте реализации по меньшей мере часть остаточного газа может быть направлена по трубопроводу 124 в способ газификации 300 для применения в качестве части сырья 301 для газификации. В другом необязательном варианте реализации по меньшей мере часть остаточного газа может быть направлена по трубопроводу 114 в способ газификации 300 для охлаждения потока синтез-газа 302.

По меньшей мере в одном варианте реализации выходящий поток, образующийся в способе ферментации 100, представляет собой ферментативный бульон. По меньшей мере часть ферментативного бульона направляют по трубопроводу 102 в способ выделения продукта 400. По меньшей мере в одном варианте реализации в способе выделения продукта 400 отделяют по меньшей мере часть микробной биомассы, полученной в способе ферментации 100. В различных вариантах реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, которую отделяют от ферментативного бульона, рециркулируют в способ ферментации 100 по трубопроводу 404. В различных вариантах реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, которую отделяют от ферментативного бульона, направляют по трубопроводу 428 в способ газификации 300. Можно применять по меньшей мере часть микробной биомассы как часть сырья 301 для газификации.

В различных необязательных вариантах реализации по меньшей мере часть потока сточных вод, содержащего ферментативный бульон, который может содержать микробную биомассу, может быть направлена из способа ферментации 100 непосредственно по трубопроводу 104 в способ газификации 300 без передачи в способ выделения продукта 400. По меньшей мере часть сточных вод может быть направлена по трубопроводу 124 в способ газификации 300 для применения в качестве части сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть ферментативного бульона может быть направлена по трубопроводу 114 в способ газификации 300 для охлаждения потока синтез-газа 302.

В случаях, когда ферментативный бульон обрабатывают в способе выделения продукта 400, по меньшей мере часть обедненной микробной биомассой воды, полученной путем удаления микробной биомассы из ферментативного бульона, может быть возвращена в способ ферментации 100 по трубопроводу 404 и/или направлена по трубопроводу 408 в способ газификации 300. По меньшей мере часть обедненной микробной биомассой воды может быть направлена по трубопроводу 428 в способ газификации 300 для применения в качестве части сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть обедненной микробной биомассой воды может быть направлена по трубопроводу 418 для охлаждения потока синтез-газа 302. Кроме того, по меньшей мере часть выходящего потока, образующегося в способе выделения продукта 400, может быть направлена по трубопроводу 402 в способ очистки сточных вод 200. Предпочтительно, выходящий поток, образующийся в способе выделения продукта 400, содержит сниженные количества продукта и/или микробной биомассы.

Предпочтительно, в способ очистки сточных вод 200 поступает и обрабатывается выходящий поток, образующийся в одном или более способах, с получением осветленной воды. Эта осветленная вода может быть направлена по трубопроводу 202 в один или более способов. В определенных случаях по меньшей мере часть осветленной воды направляют по трубопроводу 212 в способ ферментации. По меньшей мере часть осветленной воды может быть направлена по трубопроводу 232 в способ газификации 300 для применения в качестве части сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть осветленной воды может быть направлена по трубопроводу 222 в способ газификации 300 для охлаждения потока синтез-газа 302.

В определенных случаях в способе очистки сточных вод 200 образуется микробная биомасса как часть способа очистки. По меньшей мере часть этой микробной биомассы может быть направлена по трубопроводу 232 в способ газификации 300. Предпочтительно, в способе газификации 300 применяют по меньшей мере часть микробной биомассы, образующейся в способе очистки сточных вод 200, в качестве части сырья 301 для газификации.

В способе очистки сточных вод 200 в качестве побочного продукта обработки микробной биомассы образуется биогаз. По меньшей мере часть этого биогаза может быть направлена по трубопроводу 202 в способ газификации 300. В определенных случаях по меньшей мере часть биогаза направляют по трубопроводу 232 в способ газификации 300 для применения в качестве части сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть биогаза может быть направлена по трубопроводу 222 в способ газификации 300 для охлаждения потока синтез-газа 302.

Предпочтительно, в способ газификации 300 поступает один или более выходящих потоков, образующихся в способе ферментации 100, способе выделения продукта 400 и/или способе очистки сточных вод 200, и образуется поток синтез-газа 302. Этот поток синтез-газа 302 предпочтительно подходит для применения в качестве сырья для способа ферментации газа 100.

Чтобы подходить для применения в качестве сырья для способа ферментации газа 100, поток синтез-газа 302 предпочтительно должен иметь требуемый состав. В конкретных случаях синтез-газ 302, полученный в способе газификации 300, содержит один или более компонентов, которые необходимо удалить и/или преобразовать.

Типичные компоненты, находящиеся в потоке синтез-газа 302, которые может потребоваться удалить и/или преобразовать, включают, без ограничения, соединения серы, ароматические соединения,

алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, твердые частицы, твердые вещества, кислород, галогенированные соединения, кремнийсодержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, простые эфиры и смолы. Эти компоненты могут быть удалены с помощью одного или более способов удаления.

На фиг. 2 показана схема интеграции способа, представленная на фиг. 1, дополнительно включающая способ удаления 500 между способом газификации 300 и способом ферментации газа 100, в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения.

Предпочтительно способ удаления 500 включает одну или более из следующих установок удаления: установку гидролиза, установку удаления кислых газов, установку деоксигенации, установку каталитического гидрирования, установку удаления твердых частиц, установку удаления хлоридов, установку удаления смол и установку доочистки цианистого водорода.

При включении способа удаления 500 по меньшей мере часть синтез-газа 302, полученного в способе газификации 300, направляют в способ удаления 500 для удаления и/или преобразования по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента, находящегося в потоке синтез-газа 302. Предпочтительно, способ удаления 500 доводит компоненты до допустимых уровней для получения очищенного потока 502, пригодного для ферментации в способе ферментации 100.

В различных случаях способ удаления 500 включает две или более установок удаления, выбранных из группы, включающей: установку гидролиза, установку удаления кислых газов, установку деоксигенации, установку каталитического гидрирования, установку удаления твердых частиц, установку удаления хлоридов, установку удаления смол и установку доочистки цианистого водорода. В определенных случаях одну или более из этих установок удаления применяют для удаления из газового потока одного или более компонентов, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на находящиеся ниже по технологической цепи способы, например, находящийся ниже по технологической цепи способ ферментации 100 и/или находящиеся ниже по технологической цепи установки удаления, задействованные в способе удаления 500.

Один или более компонентов, удаленных и/или преобразованных в способе удаления 500, могут быть введены и/или сконцентрированы посредством газификации микробной биомассы. В определенных случаях в способе удаления 500 происходит удаление аммиака (NH_3) и/или цианистого водорода (HCN). Этот аммиак и/или цианистый водород может быть введен и/или сконцентрирован, когда микробную биомассу подвергают газификации в способе газификации 300. Аммиак и цианистый водород могут быть получены из азота, содержащегося в микробной биомассе, который в способе газификации 300 вступит в реакцию с преобразованием в N_2 , NH_3 и следы HCN .

Обычно поток синтез-газа, подаваемый в способ ферментации 100, является газообразным. Однако поток синтез-газа также может быть обеспечен в альтернативных формах. Например, поток синтез-газа может быть растворен в жидкости, насыщенной синтез-газом, которую затем можно подавать в способ ферментации 100. В качестве дополнительного примера синтез-газ может быть адсорбирован твердой подложкой.

Предпочтительно, в способе ферментации 100 применяют C1-связывающие микроорганизмы для ферментации потока синтез-газа 302 и получения одного или более продуктов. C1-связывающий микроорганизм в способе ферментации 100 обычно представляет собой карбоксидотрофную бактерию. В конкретных вариантах реализации карбоксидотрофная бактерия выбрана из группы, включающей *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*. В различных вариантах реализации карбоксидотрофная бактерия представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

В определенных случаях один или более способов интегрированы посредством использования по меньшей мере части по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в одном способе, в качестве источника тепла для по меньшей мере одного другого способа.

На фиг. 3 показана схема интеграции способа, изображающая интеграцию способа газификации 300, способа ферментации газа 100, способа выделения продукта 400 и способа очистки сточных вод 200 в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения. В различных случаях эти способы интегрированы путем использования по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в по меньшей мере одном способе, в качестве источника тепла в по меньшей мере одном другом способе. В конкретных вариантах реализации биогаз, образующийся в способе очистки сточных вод 200, используют в качестве источника тепла для одного или более способов. Предпочтительно, по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод 200, используют в качестве источника тепла для способа газификации 300. В определенных случаях в способе газификации 300 используют по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод 200, для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в способе газификации 300. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод 200, используют в качестве источника тепла для способа ферментации газа 100. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод 200, используют в качестве источника тепла для способа выделения продукта 400. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере

часть биогаза, образующегося в способе очистки сточных вод 200, используют в качестве источника тепла для способа удаления 500.

В различных случаях поток биогаза, образующийся в способе очистки сточных вод 200, направляют по трубопроводу 202 в по меньшей мере один способ удаления 600 перед направлением в один или более способов. Предпочтительно, в способе удаления 600 снижают количество по меньшей мере одного соединения серы в потоке биогаза.

При включении способа удаления 600 после способа очистки сточных вод 200 по меньшей мере часть биогаза, получаемого в способе очистки сточных вод 200, направляют в способ удаления 600 для удаления и/или преобразования по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента, находящегося в потоке биогаза, в установке очистки биогаза. Предпочтительно, в способе удаления 600 доводят компоненты до допустимых уровней, чтобы получить очищенный поток 642, 612, 622 и/или 632, подходящий для использования в последующих одном или более способах 400, 100, 500 и/или 300 соответственно.

В определенных вариантах реализации остаточный газ, образующийся в способе ферментации 100, можно также использовать в качестве источника тепла для одного или более способов. Например, по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в способе ферментации 100, можно использовать в качестве источника тепла для способа газификации 300. В определенных случаях в способе газификации 300 используют по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в способе ферментации 100, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в способе газификации 300. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в способе ферментации 100, используют в качестве источника тепла для способа выделения продукта 400. В различных случаях остаточный газ, получаемый в способе ферментации 100, направляют в по меньшей мере один способ удаления перед направлением в один или более способов.

В конкретных вариантах реализации неиспользованный синтез-газ, образующийся в способе газификации 300, используют в качестве источника тепла для одного или более способов. Предпочтительно, по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, образующегося в способе газификации 300, используют в качестве источника тепла для способа газификации 300. В некоторых случаях в способе газификации 300 используют по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, образующегося в способе газификации 300, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в способе газификации 300. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, образующегося в способе газификации 300, используют в качестве источника тепла для способа выделения продукта 400. В различных случаях неиспользованный синтез-газ, получаемый в способе газификации 300, направляют в по меньшей мере один способ удаления перед направлением в один или более способов.

Способ ферментации 100 предпочтительно позволяет получать разнообразные продукты. Эти продукты предпочтительно могут быть отделены посредством способа выделения продукта 400. В различных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного из продуктов, получаемых в способе ферментации 100, можно использовать в качестве источника для одного или более способов. В определенных случаях по меньшей мере часть этанола, полученного в способе выделения продукта 400, используют в качестве источника тепла для способа газификации 300. Предпочтительно, этанол, используемый в качестве источника тепла для одного или более способов, представляет собой неочищенный этанол, не соответствующий техническим требованиям для топливного этанола. В определенных случаях в способе газификации 300 используют по меньшей мере часть неочищенного этанола, полученного в способе выделения продукта 400, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в способе газификации 300.

В определенных случаях в способе ферментации 100 получают сивушное масло. Это сивушное масло может быть выделено в способе выделения продукта 400 любыми подходящими средствами. Например, в ректификационной колонне установки для перегонки. По меньшей мере в одном варианте реализации по меньшей мере часть сивушного масла, полученного в способе выделения продукта 400, используют в качестве источника тепла для одного или более способов. В определенных случаях по меньшей мере часть сивушного масла, полученного в способе выделения продукта 400, используют в качестве источника тепла для способа газификации 300. Предпочтительно, в способе газификации 300 используют по меньшей мере часть сивушного масла, полученного в способе выделения продукта 400, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в способе газификации 300.

Первый вариант реализации включает способ, включающий: а) нагрев сушильного газа; б) подачу нагретого сушильного газа в сушилку, содержащую сырье для газификации, с получением высушенного сырья для газификации; в) газификацию по меньшей мере части высушенного сырья для газификации с получением синтез-газа; г) ферментацию по меньшей мере части синтез-газа в биореакторе с использованием микроорганизма с получением по меньшей мере одного продукта и остаточного газа; и е) использование по меньшей мере части остаточного газа для получения тепла для нагрева сушильного газа.

Способ согласно первому варианту реализации может получать исходное сырье для газификации в виде сортированных твердых бытовых отходов, несортированных твердых бытовых отходов, твердых

промышленных отходов, сельскохозяйственных отходов, лесных отходов, микробной биомассы, лигно-целлюлозного материала, канализационных стоков, или от очистки сточных вод или любой их комбинации.

В способе согласно первому варианту реализации остаточный газ может содержать диоксид углерода. Остаточный газ может дополнительно содержать монооксид углерода, водород, азот и метан.

Способ согласно первому варианту реализации может включать микроорганизм в виде одного или более C1-связывающих микроорганизмов. C1-связывающий микроорганизм может быть выбран из *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyrivacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*.

Сырьем для газификации может быть микробная биомасса, которая может содержать один или несколько C1-связывающих микроорганизмов. C1-связывающий микроорганизм может быть выбран из *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyrivacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*. Исходным сырьем для газификации может быть микробная биомасса, которая может поступать с установки по очистке сточных вод.

В способе согласно первому варианту реализации сушильный газ может представлять собой воздух.

В способе согласно первому варианту реализации газификация обеспечивает больший выход синтез-газа по сравнению с газификацией без сушки сырья для газификации.

В способе согласно первому варианту реализации при газификации получают синтез-газ более высокого качества по сравнению с газификацией без сушки сырья для газификации.

В способе согласно первому варианту реализации остаточный газ сжигают для получения тепла для нагрева сушильного газа.

В способе согласно первому варианту реализации остаточный газ сжигают в горелке для получения тепла для нагрева сушильного газа.

Второй вариант реализации включает устройство, содержащее: а) сушилку, имеющую одну или несколько горелок для нагрева сушильного газа, при этом сушилка сообщается с трубопроводом для сырья; б) газификатор, сообщающийся с сушилкой; в) биореактор, сообщающийся по текучей среде с газификатором; г) трубопровод для продукта и трубопровод для остаточного газа, сообщающиеся по текучей среде с биореактором; и д) трубопровод для остаточного газа также сообщается по текучей среде с одной или несколькими горелками.

Устройство согласно второму варианту реализации может дополнительно содержать газопровод сушилки, сообщающийся с сушилкой и имеющий теплообменное сообщение по меньшей мере с одной горелкой.

Устройство согласно второму варианту реализации может дополнительно содержать установку выделения продукта, сообщающуюся по текучей среде с установкой очистки сточных вод, и первый рециркуляционный трубопровод от установки очистки сточных вод к сушилке. Устройство может дополнительно содержать установку очистки биогаза, сообщающуюся по текучей среде с первым рециркуляционным трубопроводом.

Устройство согласно второму варианту реализации может дополнительно содержать второй рециркуляционный трубопровод от установки выделения продукта к сушилке.

Устройство согласно второму варианту реализации может дополнительно содержать по меньшей мере одну установку удаления, сообщающуюся по текучей среде по меньшей мере с газификатором и биореактором.

Все ссылки на литературные источники, в том числе публикации, патентные заявки и патенты, упоминаемые в данном документе, тем самым включены в данный документ посредством ссылки в той же степени, как если бы каждая ссылка была отдельно и конкретно указана для включения в данный документ посредством ссылки и изложена в полном объеме. Ссылка на какой-либо предшествующий уровень техники в данном описании не является и не должна восприниматься как подтверждение того, что этот известный уровень техники является частью общеизвестных знаний в области науки в какой-либо стране.

Использование определений в единственном числе в контексте описания изобретения (особенно в контексте приведенной ниже формулы изобретения) должно толковаться как охватывающее как единственное, так и множественное число, если в данном документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту. Термины "содержащий", "имеющий", "включающий" и "охватывающий" следует рассматривать как неограничивающие термины (т.е. означающие "включающий, без ограничений"), если не указано иное. Термин "состоящий по существу из" ограничивает объем композиции, процесса или способа указанными материалами или стадиями, или теми, которые не оказывают существенного влияния на основные и новые характеристики композиции, процесса или способа. Использование альтернативы (например, "или") следует понимать как означающее одну, обе, или любую комбинацию из вышеуказанных альтернатив. Используемый в данном документе термин "примерно" означает $\pm 20\%$ от приведенного диапазона, значения или структуры, если не указано иное.

Перечисление диапазонов значений в данном документе просто предназначено для использования в качестве сокращенного способа индивидуальной ссылки на каждое отдельное значение, попадающее в этот диапазон, если в данном документе не указано иное, при этом каждое отдельное значение включено

в описание, как если бы оно было отдельно приведено в данном документе. Например, любой диапазон концентраций, диапазон процентов, диапазон соотношений, диапазон целых чисел, диапазон размеров или диапазон толщин следует понимать как включающий значение любого целого числа в указанном диапазоне и, если это уместно, его долей (например, одной десятой и одной сотой целого числа), если не указано иное.

Все способы, описываемые в данном документе, могут быть выполнены в любом пригодном порядке, если в данном документе не указано иное или это явно не противоречит контексту. Использование любого или всех примеров, или вводного слова перед примером (такого как "например") в данном документе предназначено только для лучшего освещения изобретения и не накладывает ограничения на объем изобретения, если не заявлено иное. Ни одно выражение, приведенное в данном описании, не следует понимать как указание на какой-либо незаявленный элемент как необходимый для практического реализации данного изобретения.

Варианты реализации настоящего изобретения описаны в настоящем документе. Вариации этих вариантов реализации могут стать очевидными для специалистов в данной области техники после прочтения предшествующего описания. Авторы изобретения ожидают, что квалифицированные специалисты будут использовать такие вариации в случае целесообразности, а также авторы изобретения предполагают, что изобретение будет применяться на практике иначе, чем конкретно описывается в настоящем документе. Вследствие этого настоящее изобретение включает все модификации и эквиваленты предмета изобретения, изложенные в прилагаемой формуле изобретения, в пределах применимых правовых норм. Более того, настоящее изобретение охватывает любое сочетание вышеописанных элементов во всех их возможных видоизменениях, если иное не указано в данном документе или если это явно не противоречит контексту.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ улучшения интеграции ферментации газа и газификации, включающий:
 - a) нагрев сушильного газа;
 - b) подачу нагретого сушильного газа в сушилку, содержащую сырье для газификации, с получением высушенного сырья для газификации;
 - c) направление по меньшей мере части высушенного сырья для газификации в процесс газификации, и газификация высушенного сырья для газификации с получением синтез-газа;
 - d) ферментацию по меньшей мере части синтез-газа в биореакторе с использованием микроорганизма с получением остаточного газа и ферментативного бульона, содержащего по меньшей мере один продукт и микробную биомассу, содержащую микроорганизм;
 - e) направление ферментативного бульона в процесс выделения продукта, где микробную биомассу, содержащую микроорганизм, отделяют от ферментативного бульона;
 - f) направление по меньшей мере части микробной биомассы со стадии (e) в процесс газификации и газификацию микробной биомассы для получения синтез-газа; и подачу синтез-газа в биореактор на стадии (d); и
 - g) использование по меньшей мере части остаточного газа в качестве топлива для горелок сушилки для обеспечения тепла для нагрева сушильного газа.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что сырье для газификации представляет собой сортированные твердые бытовые отходы, несортированные твердые бытовые отходы, твердые промышленные отходы, сельскохозяйственные отходы, лесные отходы, микробную биомассу, лигноцеллюлозный материал, канализационные стоки, ил от очистки сточных вод или любую их комбинацию.
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что остаточный газ содержит диоксид углерода.
4. Способ по п.3, отличающийся тем, что остаточный газ дополнительно содержит монооксид углерода, водород, азот и метан.
5. Способ по п.1, отличающийся тем, что микроорганизм представляет собой один или более C1-связывающих микроорганизмов.
6. Способ по п.5, отличающийся тем, что C-связывающий микроорганизм выбран из Moorella, Clostridium, Ruminococcus, Acetobacterium, Eubacterium, Butyribacterium, Oxobacter, Methanosarcina и Desulfotomaculum.
7. Способ по п.2, отличающийся тем, что микробная биомасса поступает из установки по очистке сточных вод.
8. Способ по п.1, отличающийся тем, что сушильный газ представляет собой воздух.
9. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанный процесс газификации обеспечивает больший выход синтез-газа по сравнению с газификацией без сушки сырья для газификации.
10. Способ по п.1, отличающийся тем, что при указанной газификации получают синтез-газ более высокого качества по сравнению с газификацией без сушки сырья для газификации.
11. Устройство для осуществления способа по любому из пп.1-10, содержащее:
 - a) сушилку, имеющую одну или более горелок для нагрева сушильного газа, при этом сушилка со-

общается с трубопроводом для сырья;

b) газификатор, сообщающийся с сушилкой;

c) биореактор, сообщающийся по текучей среде с газификатором;

d) трубопровод для ферментативного бульона, сообщающийся по текучей среде с биореактором и установкой выделения продукта;

e) трубопровод для остаточного газа, сообщающийся по текучей среде с биореактором и с одной или более горелками.

12. Устройство по п.11, дополнительно содержащее газопровод для сушильного газа, сообщающийся с сушилкой и имеющий теплообменное сообщение по меньшей мере с одной горелкой.

13. Устройство по п.11, дополнительно содержащее трубопровод выходящих сточных вод, соединенный с установкой выделения продукта и сообщающийся по текучей среде с установкой очистки сточных вод, и первый рециркуляционный трубопровод от установки очистки сточных вод к сушилке.

14. Устройство по п.13, где первый рециркуляционный трубопровод также сообщается с установкой очистки, выполненной с возможностью очистки биогаза из установки очистки сточных вод, причем указанная установка очистки сообщается по текучей среде с трубопроводом выходящих сточных вод.

15. Устройство по п.11, дополнительно содержащее второй рециркуляционный трубопровод от установки выделения продукта к сушилке.

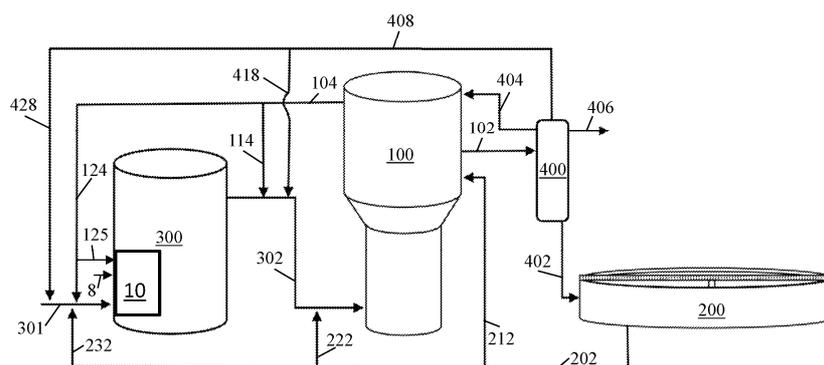
16. Устройство по п.11, дополнительно содержащее по меньшей мере одну установку удаления, сообщающуюся по текучей среде по меньшей мере с газификатором и биореактором.

17. Способ по п.1, дополнительно включающий сушку микробной биомассы перед подачей ее в процесс газификации.

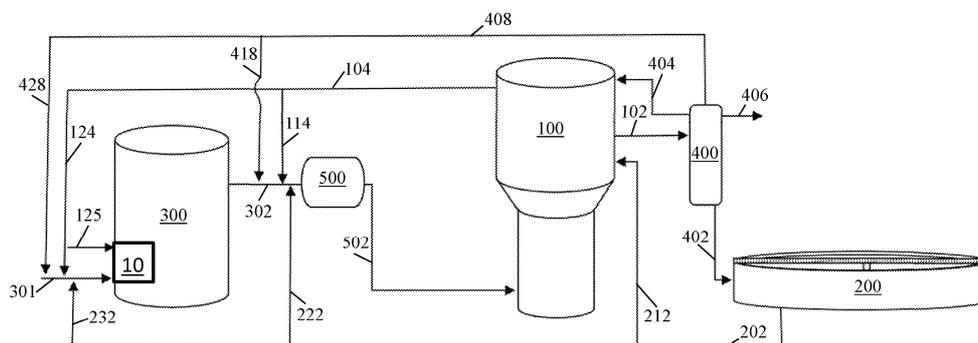
18. Способ по п.1, в котором в процессе выделения продукта образуется поток обедненной микробной биомассой воды, который направляют в процесс газификации для охлаждения потока синтез-газа.

19. Способ по п.1, в котором по меньшей мере 92% энергии в остаточном газе рекуперируют.

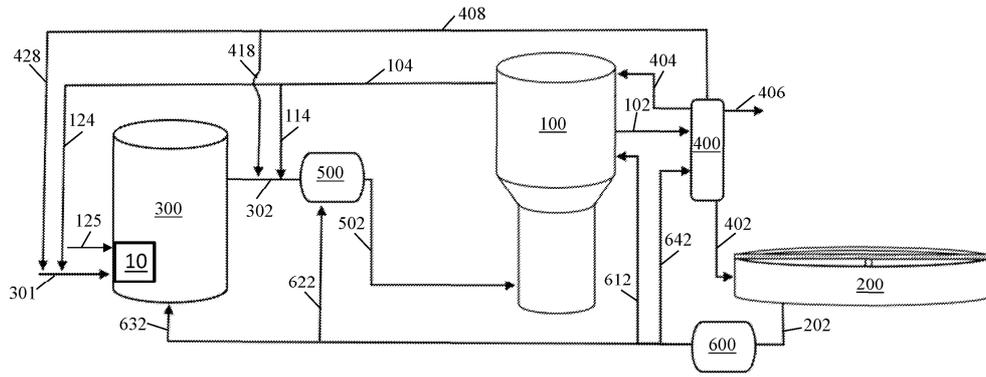
20. Способ по п.1, в котором соотношение $H_2:CO$ в синтез-газе из процесса газификации увеличивается по меньшей мере до 2:1.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3