

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202292046 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.11.10(22) Дата подачи заявки
2021.03.04

(51) Int. Cl. C10J 3/82 (2006.01)
C10J 3/84 (2006.01)
C10K 1/32 (2006.01)
C12P 1/02 (2006.01)
C12P 1/04 (2006.01)
C12P 5/02 (2006.01)
C12N 1/20 (2006.01)

(54) ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАЦИОННОГО ОСТАТОЧНОГО ГАЗА В
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ГАЗИФИКАЦИИ И ГАЗОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

(31) 62/990,216; 17/180,583

(32) 2020.03.16; 2021.02.19

(33) US

(86) PCT/US2021/020801

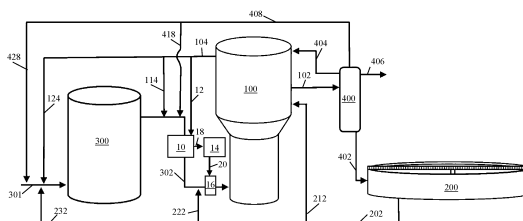
(87) WO 2021/188301 2021.09.23

(71) Заявитель:
ЛАНЦАТЕК, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Гао Аллан Хейминг, Конрадо Роберт
Джон, Розин Ричард, Морин Грегори,
Новак Франц-Маркус (US)

(74) Представитель:
Хмара М.В. (RU)

(57) В изобретении описано выделение и сжигание по меньшей мере одного углеводорода, кислородсодержащего соединения, соединения серы и/или соединения азота из промышленного газа или синтез-газа, полученного при газификации, для получения пара. Процесс газификации и процесс газовой ферментации можно интегрировать путем применения остаточного газа, поступающего из процесса ферментации, для сжигания в пламени смолы и других соединений из синтез-газа, полученного в процессе газификации. Интеграцию можно обеспечить путем удаления смолы и других соединений из промышленного газа или синтез-газа, полученного при газификации, путем применения адсорбента и регенерации адсорбента с помощью остаточного газа, поступающего из процесса газовой ферментации. Остаточный газ, обогащенный десорбированной смолой и другими соединениями, можно использовать для производства пара в паровом котле, при этом указанный пар можно использовать для различных целей, включая выработку электроэнергии для приведения в действие, например, компрессора, применяемого в процессе газовой ферментации.



202292046
A1

202292046

A1

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАЦИОННОГО ОСТАТОЧНОГО ГАЗА В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ГАЗИФИКАЦИИ И ГАЗОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

5 Настоящая заявка испрашивает приоритет на основании предварительной заявки на патент США № 62/990216, поданной 16 марта 2020 года, и заявки на патент США № 17/180583, поданной 19 февраля 2021 года. Содержание обеих заявок явным образом включено в настоящий документ в полном объеме посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

10 Настоящее изобретение относится к способам улучшения интеграции процесса газификации и процесса газовой ферментации. В частности, настоящее изобретение относится к применению по меньшей мере части остаточного газа процесса газовой ферментации для десорбции по меньшей мере одной смолы из адсорбента, применяемого для отделения смолы от синтез-газа, полученного в
15 процессе газификации, перед применением указанного синтез-газа в качестве загрузочного материала, подаваемого в процесс газовой ферментации. Согласно другому варианту реализации остаточный газ используют для регенерации адсорбента, применяемого для отделения смолы от промышленного газа перед введением указанного промышленного газа в процесс газовой ферментации.

20 УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

По мере увеличения населения мира отходы, производимые таким населением, становятся все более серьезной проблемой. Одним из решений утилизации отходов является газификация. Газификация представляет собой процесс, в результате которого органические или ископаемые топливные
25 углеродистые материалы превращаются в синтез-газ, содержащий монооксид углерода, диоксид углерода и водород. Преимущество газификации состоит в том, что она позволяет как уменьшить количество отходов, которые попадают на свалку, так и получить продукт, синтез-газ, который можно превратить в полезные продукты посредством одного или более последующего процесса.

30 Синтез-газ, полученный путем газификации, можно использовать в ряде процессов, включая синтез Фишера-Тропша. Синтез Фишера-Тропша обеспечивает каталитическое гидрирование монооксида углерода с получением

различных продуктов, в том числе углеводородов, спиртов или других кислородсодержащих углеводородов. Однако слои катализаторов 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, для получения подходящего газа для синтеза Фишера-Тропша часто требуется технология масштабной очистки газа.

Одной из альтернатив синтезу Фишера-Тропша является газовая ферментация. Газовая ферментация обеспечивает биологическую фиксацию газов, в том числе синтез-газа, в одном или более продукте. Газовая ферментация обладает рядом преимуществ по сравнению с синтезом Фишера-Тропша. Во-первых, в синтезе Фишера-Тропша используют высокие температуры (от 150 до 350 °C), повышенные давления (30 бар) и гетерогенные катализаторы, такие как кобальт, рутений и железо. Для сравнения, газовая ферментация происходит при температуре около 37 °C и часто проводится при атмосферном давлении, что обеспечивает значительную экономию энергии и затрат по сравнению с синтезом Фишера-Тропша. Кроме того, синтез Фишера-Тропша требует относительно фиксированного отношения $H_2:CO$ в синтез-газе, составляющего около 2:1, тогда как при газовой ферментации можно получать и использовать широкий диапазон субстратов с различными отношениями $H_2:CO$.

При газификации биомасса или бытовые отходы превращаются посредством частичного окисления в газообразную смесь синтез-газа, содержащую монооксид углерода, водород, метан, азот, водяной пар, диоксид углерода и смолы. В частности, полученный из биомассы синтез-газ содержит высокие концентрации смолистых соединений и частиц, которые необходимо удалять из синтез-газа при его применении. Смолы часто содержат ряд углеводородов и кислородсодержащих соединений. Примеры включают ароматические соединения, полиароматические соединения, фурановые структуры основной цепи с алифатическими и кислородсодержащими функциональными группами, такими как кислоты, альдегиды, кетоны и спирты, присоединенными к основной цепи. Предполагается, что в зависимости от источника промышленного газа указанный газ может также содержать смолы.

Сохраняется потребность в эффективном удалении смол из промышленного газа или полученного при газификации синтез-газа перед тем, как промышленный газ или синтез-газ можно будет использовать в последующем процессе. Кроме того, сохраняется потребность в более высоком уровне интеграции между операцией газификации и операцией газовой ферментации с тем, чтобы поток отходов от одной операции использовать наиболее выгодным образом для всей системы в целом. Неожиданно выгодное применение остаточного газа, поступающего из операции газовой ферментации, заключается в применении по меньшей мере части указанного остаточного газа для регенерации адсорбента, используемого для отделения по меньшей мере одной смолы от синтез-газа перед применением синтез-газа в качестве загрузочного материала, подаваемого в операцию газовой ферментации. Степень интеграции можно дополнительно увеличить путем сжигания остаточного газа после десорбции смолы и, следовательно, обогащенного смолой и имеющего более высокую теплотворную способность, в паровом котле с получением пара. В остаточном газе, обогащенном смолой, содержится неожиданное количество остаточной энергии, и, таким образом, образуется неожиданное количество пара. Интеграция может быть еще более усилена путем применения пара для выработки энергии для компрессора, применяемого в операции газовой ферментации. Другие варианты включают выработку электроэнергии, например, в газовом двигателе или газовой турбине.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В настоящем изобретении предложен способ, включающий обработку потока синтез-газа, поступающего из процесса газификации, или промышленного газа путем адсорбции на адсорбенте по меньшей мере одного углеводорода и/или кислородсодержащего соединения и получение обработанного потока; ферментацию по меньшей мере части обработанного потока в биореакторе с помощью микроорганизма с получением выходящего потока, содержащего по меньшей мере один продукт и поток остаточного газа; регенерацию адсорбента путем десорбции по меньшей мере одного углеводорода или кислородсодержащего соединения с применением по меньшей мере части потока остаточного газа с получением обогащенного потока остаточного газа, дополнительно содержащего десорбированный по меньшей мере один углеводород или кислородсодержащее соединение; и применение по меньшей мере части обогащенного остаточного газа в по меньшей мере одном из

следующих процессов: сжигании в паровом котле для получения пара; выработки энергии; или рециклинге в процесс газификации.

Настоящее изобретение также включает устройство, включающее: адсорбционную установку, содержащую адсорбент; газификатор, сообщаемый по 5 по текучей среде с адсорбционной установкой; биореактор, сообщаемый по текучей среде с адсорбционной установкой; трубопровод для остаточного газа, сообщаемый по текучей среде с биореактором и адсорбционной установкой; парогенерирующий блок; и трубопровод для обогащенного остаточного газа, сообщаемый по текучей среде с адсорбционной установкой и 10 парогенерирующим блоком. Предложенное устройство может дополнительно содержать паропровод, сообщаемый по текучей среде с системой по производству электроэнергии. Предложенное устройство может дополнительно содержать компрессор, сообщаемый посредством электрической связи с системой по производству электроэнергии и сообщаемый по текучей среде с 15 биореактором.

Согласно одному из вариантов реализации в процессе ферментации используют один или более C1-фиксирующих микроорганизмов, подходящих для ферментации C1-содержащего газообразного субстрата, такого как синтез-газ, полученный посредством газификации. Согласно различным вариантам 20 реализации C1-фиксирующий микроорганизм выбирают из группы, состоящей из *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculu*. Например, микроорганизм может являться представителем рода *Clostridium*. В некоторых случаях указанный микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

Согласно различным вариантам реализации исходное сырье для газификации представляет собой твердые бытовые отходы, сельскохозяйственные отходы, микробную биомассу или любую их комбинацию. Исходное сырье для газификации высушивают в сушилке и затем газифицируют с получением потока синтез-газа. По меньшей мере часть потока синтез-газа 30 подают в процесс ферментации для получения одного или более продукта и, возможно, по меньшей мере одного побочного продукта. Согласно некоторым вариантам реализации микробную биомассу, полученную в процессе ферментации, подают на операцию газификации в качестве исходного сырья для газификации.

Согласно некоторым вариантам реализации по существу всю микробную биомассу, полученную в процессе ферментации, либо рециклируют в процесс ферментации после выделения продукта и обрабатывают в процессе обработки сточных вод и/или направляют в процесс газификации для получения синтез-газа. В определенных случаях в процесс газификации поступает по меньшей 5 20 %, по меньшей 30 %, по меньшей 40 %, по меньшей 50 %, по меньшей 60 %, по меньшей 70 %, по меньшей 80 %, по меньшей 90 % микробной биомассы или по существу вся микробная биомасса, выходящая из процесса ферментации.

Согласно некоторым вариантам реализации микробную биомассу, 10 полученную в процессе обработки сточных вод, направляют в процесс газификации. Микробную биомассу, полученную в процессе обработки сточных вод, могут, по меньшей мере частично, извлекать из процесса, протекающего в анаэробном ферментере, в рамках процесса обработки сточных вод. В различных случаях по меньшей мере часть микробной биомассы, поступающей 15 из процесса обработки сточных вод, высушивают перед подачей в процесс газификации. В определенных случаях по существу всю микробную биомассу, поступающую из процесса обработки сточных вод, высушивают перед подачей в процесс газификации.

Согласно конкретным вариантам реализации по меньшей мере часть 20 воды, обедненной микробной биомассой, поступающей из процесса ферментации, направляют в процесс газификации. В различных случаях воду, обедненную микробной биомассой, направляют в процесс газификации для увеличения отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. По меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, предпочтительно направляют в 25 процесс газификации для увеличения отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление воды, обедненной микробной биомассой, в процесс газификации, в котором происходит увеличение отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, может привести к повышению селективности в отношении этанола, полученного в 30 процессе газовой ферментации, снижению селективности в отношении продуцирования микробной биомассы, снижению потребления воды при реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока, направляемого в процесс обработки сточных вод.

Согласно конкретным вариантам реализации по меньшей мере часть сточных вод, полученных в процессе ферментации, направляют в процесс газификации. Такие сточные воды могут содержать один или более продукт и/или побочный продукт, в том числе, но не ограничиваясь ею, микробную биомассу. В различных случаях сточные воды, полученные в процессе ферментации, направляют в процесс газификации для увеличения отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. По меньшей мере часть сточных вод, полученных в процессе ферментации, предпочтительно направляют в процесс газификации для увеличения отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление сточных вод, полученных в процессе ферментации, в процесс газификации, в котором происходит увеличение отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, может привести к повышению селективности в отношении этанола, полученного в процессе газовой ферментации, снижению селективности в отношении продуцирования микробной биомассы, снижению потребления воды при реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока, направляемого в процесс обработки сточных вод.

Согласно конкретным вариантам реализации по меньшей мере часть осветленной воды, поступающей из процесса обработки сточных вод, направляют в процесс газификации. В различных случаях осветленную воду, поступающую из процесса обработки сточных вод, направляют в процесс газификации для увеличения отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. По меньшей мере часть осветленной воды, поступающей из процесса обработки сточных вод, предпочтительно направляют в процесс газификации для увеличения отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление осветленной воды из процесса обработки сточных вод в процесс газификации, в котором происходит увеличение отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, может привести к повышению селективности в отношении этанола, полученного в процессе газовой ферментации, снижению селективности в отношении продуцирования микробной биомассы, снижению потребления воды при реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока, направляемого в процесс обработки сточных вод.

По меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока, поступающего из процесса ферментации и/или процесса обработки сточных вод,

предпочтительно заменяют на по меньшей мере часть технологической воды, необходимой для проведения процесса газификации. В определенных случаях количество технологической воды, необходимой для проведения процесса газификации, уменьшается на по меньшей мере 45 процентов. Согласно по меньшей мере одному из вариантов реализации количество технологической воды, необходимой для проведения процесса газификации, уменьшается на от 45 до 100 процентов. Согласно определенным вариантам реализации количество технологической воды, необходимой для проведения процесса газификации, уменьшается на от 45 до 75 процентов, от 55 до 75 процентов, от 65 до 75 процентов, от 55 до 100 процентов, от 65 до 100 процентов или от 75 до 100 процентов.

В определенных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока вводят в поток синтез-газа, полученный в процессе газификации, для снижения температуры потока синтез-газа. Выходящий поток, введенный в поток синтез-газа, полученный в процессе газификации, предпочтительно выбирают из группы, состоящей из: воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, полученных в процессе ферментации, и осветленной воды, поступающей из установки для обработки сточных вод. Температуру потока синтез-газа предпочтительно снижают на по меньшей мере 100 градусов по Цельсию. Согласно по меньшей мере одному из вариантов реализации температура потока синтез-газа, выходящего из процесса газификации, составляет от 800 °C до 1200 °C. Температуру потока синтез-газа предпочтительно снижают в пределах температурного диапазона, подходящего для дальнейшей обработки и/или ферментации газа. В различных случаях введение по меньшей мере одного выходящего потока в поток синтез-газа выполняют для удаления из потока синтез-газа по меньшей мере одного вида твердых частиц.

В определенных случаях поток синтез-газа подвергают частичной закалке. Поток синтез-газа предпочтительно подвергают частичной закалке путем введения одного или более выходящего потока в поток синтез-газа, при этом один или более выходящий поток выбирают из группы, состоящей из воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, полученных в процессе ферментации, и осветленной воды, поступающей из установки для обработки сточных вод. Согласно различным вариантам реализации частичная закалка потока синтез-газа позволяет снизить температуру потока синтез-газа до от 700

до 800 °С. Согласно различным вариантам реализации такое снижение температуры требует около 1,2 тонны технологической воды на 10000 нм³ закаленного синтез-газа, начиная с 1000 °С. 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 % технологической воды или по существу всю такую технологическую воду предпочтительно заменяют путем введения в поток синтез-газа одного или более выходящего потока.

В определенных случаях поток синтез-газа подвергают полной закалке. Поток синтез-газа предпочтительно подвергают полной закалке путем введения одного или более выходящего потока в поток синтез-газа, при этом один или более выходящий поток выбирают из группы, состоящей из воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, полученных в процессе ферментации, и осветленной воды, поступающей из установки для обработки сточных вод.

Согласно различным вариантам реализации полная закалка потока синтез-газа позволяет уменьшить температуру потока синтез-газа до менее чем 300 °С. Согласно различным вариантам реализации такое снижение температуры требует около 4 тонны технологической воды на 10000 нм³ закаленного синтез-газа, начиная с 1000 °С. 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 % технологической воды или по существу всю такую технологическую воду предпочтительно заменяют путем введения в поток синтез-газа одного или более выходящего потока.

Согласно конкретным вариантам реализации по меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе обработки сточных вод, направляют в процесс газификации. Такой биогаз может содержать один или более компонент, выбранный из группы, состоящей из метана, диоксида углерода, монооксида углерода, аммиака и соединения серы. В различных случаях такое соединение серы представляет собой сероводород. Согласно по меньшей мере одному из вариантов реализации биогаз содержит около 60 процентов метана и около 40 процентов диоксида углерода. Согласно по меньшей мере одному из вариантов реализации биогаз содержит около 65 процентов метана и около 35 процентов диоксида углерода.

Согласно конкретным вариантам реализации по меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе обработки сточных вод, используют в качестве источника тепла. По меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе обработки сточных вод, предпочтительно используют в качестве источника тепла в процессе газификации. В различных случаях по меньшей мере часть биогаза, направляемого в процесс газификации, используют в качестве источника тепла для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе газификации. Согласно одному или более варианту реализации биогаз, поступающий из процесса обработки сточных вод, направляют в процесс удаления перед направлением в процесс газификации. В различных случаях процесс удаления включает один или более модуль удаления, способный удалять, превращать и/или снижать количество по меньшей мере одного компонента в потоке биогаза. Процесс удаления позволяет предпочтительно удалять по меньшей мере часть по меньшей мере одного соединения серы из потока биогаза перед направлением указанного потока биогаза в процесс газификации.

Согласно конкретным вариантам реализации по меньшей мере часть метана в биогазе подвергается риформингу с образованием CO и H₂ при газификации в процессе газификации. В различных случаях метан взаимодействует с влагой, содержащейся в синтез-газе, с образованием монооксида углерода и водорода.

Согласно одному из вариантов реализации по меньшей мере часть остаточного газа, полученного в процессе ферментации, неиспользованный синтез-газ, полученный в процессе газификации, неочищенный этанол, поступающий из процесса выделения продукта, и/или сивушное масло, поступающее из процесса выделения продукта, используют в качестве источника тепла. По меньшей мере часть по меньшей мере одного из перечисленных выходящих потоков предпочтительно используют в качестве источника тепла в процессе газификации. В различных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного из указанных выходящих потоков направляют в процесс газификации для применения в качестве источника тепла для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе газификации. Согласно одному или более варианту реализации указанный выходящий поток обрабатывают в процессе удаления перед направлением в процесс газификации. В различных случаях процесс удаления включает один

или более модуль удаления, способный удалять, превращать и/или снижать количество по меньшей мере одного компонента в выходящем потоке.

Наряду с направлением по меньшей мере части осветленной воды из процесса обработки сточных вод в процесс газификации по меньшей мере часть осветленной воды, поступающей из процесса обработки сточных вод, можно подавать в процесс ферментации. В конкретных случаях по существу всю осветленную воду, поступающую из процесса обработки сточных вод, рециклируют или в процесс газификации, и/или в процесс ферментации. В определенных случаях в процесс 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 % осветленной воды или по существу вся осветленная вода, выходящая из процесса обработки сточных вод. В определенных случаях в процесс 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 % осветленной воды или по существу вся осветленная вода, выходящая из процесса обработки сточных вод.

В процессе ферментации предпочтительно используют по меньшей мере часть синтез-газа, поступающего из процесса газификации, для получения одного или более видов топлива или химических веществ. По меньшей мере один из продуктов, полученных в процессе ферментации, можно выбрать из группы, включающей: этанол, ацетат, бутанол, бутират, 2,3-бутандиол, 1,3-бутандиол, лактат, бутен, бутадиен, метилэтилкетон, этилен, ацетон, изопропанол, липиды, 3-гидропропионат, терпены (в том числе, но не ограничиваясь им, изопрен), жирные кислоты, 2-бутанол, изобутилен, изобутанол, 1,2-пропандиол, 1-пропанол и C6-C12 спирты.

Согласно одному или более варианту реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, полученной в процессе ферментации, можно превратить в белок одноклеточных организмов (SCP).

В различных случаях по меньшей мере часть одного или более видов топлива или химических веществ направляют в процесс вторичного превращения. В процессе вторичного превращения предпочтительно дополнительно превращают по меньшей мере часть одного или более видов

топлива или химических веществ в по меньшей мере один компонент дизельного топлива, реактивного топлива, бензина, пропилен, компонент нейлона 6-6, резины и/или смол.

5 Согласно одному или более варианту реализации синтез-газ, поступающий из процесса газификации, направляют в процесс удаления перед направлением в процесс ферментации. В различных случаях процесс удаления включает один или более модуль удаления, способный удалять, превращать и/или снижать количество ингибиторов микроорганизмов и/или ингибиторов катализаторов, содержащихся в потоке синтез-газа.

10 По меньшей мере один компонент, который был удален, подвергся превращению или количество которого в потоке синтез-газа было уменьшено в процессе удаления, предпочтительно выбирают из группы, включающей: соединения серы, ароматические соединения, алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, твердые
15 частицы, твердые вещества, кислород, галогенированные соединения, кремнийсодержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, простые эфиры и смолы.

Процесс удаления предпочтительно включает по меньшей мере один модуль удаления, выбранный из группы, включающей: модуль гидролиза,
20 модуль удаления кислого газа, модуль дезоксигенирования, модуль каталитического гидрирования, модуль удаления частиц, модуль удаления хлоридов, модуль удаления смол и модуль глубокой очистки от цианистого водорода. В различных случаях процесс удаления включает по меньшей мере два модуля удаления.

25 Настоящее изобретение может дополнительно обеспечивать повышение и/или снижение давления потока синтез-газа в одной или более точках реализации предложенного процесса.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

30 На фиг. 1 изображена схема интеграции процессов, на которой показана интеграция процесса газификации, процесса газовой ферментации, процесса выделения продукта и процесса обработки сточных вод, в которой остаточный газ, поступающий из процесса газовой ферментации, используют в качестве продувочного газа для адсорбционной установки для потока синтез-газа, при

этом обогащенный остаточный газ направляют в паровой котел для получения пара высокого давления, который затем используют для приведения в действие компрессора для операции газовой ферментации, в соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения.

5 На фиг. 2 показана схема интеграции процессов, изображенная на фиг. 1, дополнительно включающая процесс удаления, осуществляемый между процессом газификации и процессом газовой ферментации, в соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения.

10 На фиг. 3 показана схема интеграции процессов, изображенная на фиг. 2, дополнительно включающая процесс удаления, осуществляемый после процесса обработки сточных вод, в соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения.

15 На фиг. 4 показана схема интеграции процессов, на которой изображена интеграция процесса газовой ферментации, процесса выделения продукта и процесса обработки сточных вод, в которой остаточный газ, поступающий из процесса газовой ферментации, используют в качестве продувочного газа для адсорбционной установки для потока загрузочного материала, при этом обогащенный остаточный газ направляют в паровой котел для получения пара высокого давления, который затем используют для приведения в действие компрессора для подачи на операцию газовой ферментации, в соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения.

20 На фиг. 5 показан вариант реализации, в котором используют промышленный отработанный газ в качестве субстрата или источника C1-углерода без получения синтез-газа путем газификации материала, при этом обогащенный остаточный газ на линии направляют в энергетическую установку. На фиг. 5 также показан альтернативный вариант реализации, в котором обогащенный остаточный газ направляют в процесс выделения продукта и установку, например, для сушки продукта.

25 На фиг. 6 показан вариант реализации с применением газификатора для получения синтез-газа в качестве субстрата или источника C1-углерода, при этом обогащенный остаточный газ направляют в энергетическую установку. На фиг. 6 также показан альтернативный вариант реализации, в котором

обогащенный остаточный газ направляют в процесс выделения продукта и установку, например, для сушки продукта.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

В настоящей заявке описана интеграция процесса газификации и процесса ферментации и необязательно процесса обработки сточных вод. Синтез-газ, поступающий из процесса газификации, направляют через адсорбционную установку для удаления по меньшей мере одной смолы, такой как углеводород или кислородсодержащее соединение. Для простоты описания подразумевают, что смола, применяемая в настоящем изобретении, включает соединения серы и соединения азота, а также углеводороды и кислородсодержащие соединения. Остаточный газ, поступающий из процесса ферментации, рециклируют в адсорбционную установку для регенерации адсорбента. Остаточный газ, обогащенный десорбированной смолой, подают в парогенерирующий блок для получения пара. Пар можно использовать для различных целей, например, для одного или более компрессоров, применяемых в процессе газовой ферментации. Обеспечивают существенные неожиданные преимущества в отношении эффективности и синергии интегрированных процессов газификации и газовой ферментации. Как правило, смолы и другие примеси десорбируют из адсорбента с помощью азота. Такой метод требует производства и хранения азота, что дорого, с последующим получением большого объема загрязненного азота, который теперь необходимо обрабатывать, вместе с потоком разбавленного остаточного газа, имеющего низкую энергетическую ценность. Альтернативой может быть применение обработанного синтез-газа для регенерации адсорбента, при этом потеря выхода может быть значительной. За счет применения остаточного газа в качестве средства продувки для адсорбционной установки можно избежать указанных затрат и проблем.

Термины «повышение эффективности», «повышенная эффективность» и т. п. при применении в отношении процесса ферментации включают, но не ограничиваются ими, увеличение одного или более показателя, выбранного скорости роста микроорганизмов, катализирующих ферментацию, скорости роста и/или получения продукта при повышенных концентрациях продукта, увеличения объема требуемого продукта, полученного на объем потребляемого субстрата, увеличения скорости получения или уровня получения требуемого

продукта, увеличения относительного содержания требуемого полученного продукта по сравнению с другими побочными продуктами ферментации, уменьшения количества воды, потребляемой в указанном процессе, и уменьшения количества энергии, применяемой в указанном процессе.

5 Термины «повышение эффективности», «повышенная эффективность» и т. п. при применении в отношении процесса газификации включают, но не ограничиваются ими, увеличение количества синтез-газа, полученного в
10 указанном процессе, уменьшение количества подаваемой воды, применяемой в указанном процессе, оптимизацию потока синтез-газа для газовой ферментации, снижение выбросов парниковых газов и уменьшение количества энергии, в том числе, но не ограничиваясь им, внешнего топлива, применяемого в указанном процессе.

 Термины «повышение эффективности», «повышенная эффективность» и т. п. при применении в отношении процесса обработки сточных вод включают, но
15 не ограничиваются ими, сокращение времени удержания воды в указанном процессе, увеличение применения биогаза, полученного в указанном процессе, уменьшение количества выходящего потока, направляемого в процесс обработки сточных вод, снижение объема, необходимого для указанного процесса, снижение необходимости в отделении аммиака в указанном процессе
20 и уменьшение количества энергии, применяемой в указанном процессе.

 Субстрат и/или источник C1-углерода может представлять собой отработанный газ, полученный в виде побочного продукта промышленного процесса или поступающий из какого-либо другого источника, например, из
25 выхлопных газов автомобилей или процесса газификации биомассы. Согласно определенным вариантам реализации промышленный процесс выбирают из производства продуктов из черных металлов, такого как производство сталелитейного завода, производства продуктов из цветных металлов, нефтепереработки, газификации угля, производства электроэнергии, производства углеродной сажи, производства аммиака, производства метанола
30 и производства кокса. Согласно указанным вариантам реализации субстрат и/или источник C1-углерода можно улавливать из промышленного процесса перед его выбросом в атмосферу, используя любой подходящий способ. Понимают, что термин «промышленный газ» включает указанные субстраты, полученные из промышленного процесса.

Термин «ферментация», «газовая ферментация» и т. п. следует толковать как процесс, в который поступает один или более субстрат, такой как синтез-газ, полученный путем газификации, и в котором получают один или более продукт путем применения одного или более C1-фиксирующего микроорганизма. Процесс ферментации предпочтительно включает применение одного или более биореактора. Процесс ферментации можно описать либо как «периодический», либо как «непрерывный». «Периодическую ферментацию» используют для описания процесса ферментации, в котором биореактор заполняют сырьевым материалом, например источником углерода, вместе с микроорганизмами, при этом продукты остаются в биореакторе до завершения ферментации. В «периодическом» процессе после завершения ферментации продукты извлекают и очищают биореактор перед запуском следующей «партии». «Непрерывную ферментацию» используют для описания процесса ферментации, в котором указанный процесс ферментации протекает в течение более длительных интервалов времени, при этом продукт и/или метаболит извлекают во время ферментации. Предложенный процесс ферментации предпочтительно является непрерывным.

Термин «обработка сточных вод» и т. п. следует толковать как процесс, в котором компоненты отделяют от выходящего потока, поступающего из процесса ферментации, с получением осветленной воды. Процесс обработки сточных вод может включать, но не ограничиваться ими, один или более анаэробных ферментеров с различными временами пребывания и один или более процесс отгонки аммиака.

Термин «газификация» и т. п. следует толковать как процесс, в котором углеродистые материалы на основе органического или ископаемого топлива превращают в монооксид углерода (CO), водород (H₂) и диоксид углерода (CO₂). Процесс газификации может включать различные технологии, в том числе, но не ограничиваясь ими, противоточные газификаторы с неподвижным слоем, прямоточные газификаторы с неподвижным слоем, реакторы с псевдоожиженным слоем, газификаторы с газификацией в потоке и плазменные газификаторы. В процессе газификации можно использовать любое сырье, из которого можно получить поток синтез-газа. Термин «процесс газификации» включает сам газификатор вместе с отдельными операциями, связанными с газификацией, в том числе источник тепла для газификатора и процессы закалки синтез-газа.

«Поток синтез-газа», «поток синтетического газа» и т. п. относятся к газообразному субстрату, выходящему из процесса газификации. Поток синтез-газа должен преимущественно состоять из монооксида углерода (CO), водорода (H₂) и диоксида углерода (CO₂). Состав потока синтез-газа может значительно
 5 меняться в зависимости от исходного сырья и задействованного процесса газификации; однако типичный состав синтез-газа включает от тридцати до шестидесяти процентов (от 30 до 60 %) монооксида углерода (CO), от двадцати
 10 пяти до тридцати процентов (от 25 до 30 %) водорода (H₂), от нуля до пяти процентов (0 до 5 %) метана (CH₄), от пяти до пятнадцати процентов (от 5 до 15%) диоксида углерода (CO₂) плюс меньшее или большее количество водяного
 пара, меньшие количества соединений серы, сероводорода (H₂S), карбонилсульфида (COS), аммиака (NH₃) и других микропримесей.

Согласно конкретным вариантам реализации присутствие водорода приводит к улучшению общей эффективности получения спирта в процессе
 15 ферментации.

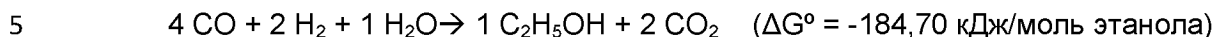
Состав синтез-газа можно улучшить для обеспечения требуемого или оптимального отношения H₂:CO:CO₂. Состав синтез-газа можно улучшить путем регулирования исходного сырья, подаваемого в процесс газификации. Требуемое отношение H₂:CO:CO₂ зависит от требуемого продукта ферментации,
 20 получаемого в процессе ферментации.

Осуществление процесса ферментации в присутствии водорода обеспечивает дополнительное преимущество, состоящее в уменьшении количества CO₂, получаемого в процессе ферментации. Например, из газообразного субстрата, содержащего минимальное количество H₂, обычно
 25 получают этанол и CO₂ согласно следующей стехиометрии: [6 CO + 3 H₂O → C₂H₅OH + 4 CO₂]. По мере увеличения количества водорода, потребляемого C1-фиксирующей бактерией, количество полученного CO₂ уменьшается [например, 2 CO + 4 H₂ → C₂H₅OH + H₂O].

Когда CO является единственным источником углерода и энергии для
 30 получения этанола, часть углерода теряется на образование CO₂ следующим образом:



По мере увеличения количества H_2 , присутствующего в субстрате, количество полученного CO_2 уменьшается. При стехиометрическом соотношении 2:1 ($H_2:CO$), образование CO_2 полностью исключено.



«Поток» относится к любому субстрату, который можно направлять, например, из одного процесса в другой, из одного модуля в другой и/или из одного процесса в устройство улавливания углерода.

10 В настоящем документе «реагенты» относятся к веществу, которое принимает участие в химической реакции и подвергается изменению во время химической реакции. Согласно конкретным вариантам реализации реагенты включают, но не ограничиваются ими, CO и/или H_2 .

15 В настоящем документе «ингибиторы микроорганизмов» относятся к одному или более компоненту, который замедляет или препятствует конкретной химической реакции или иному процессу с участием микроорганизма. Согласно конкретным вариантам реализации ингибиторы микроорганизмов включают, но не ограничиваются ими, кислород (O_2), цианистый водород (HCN), ацетилен (C_2H_2) и БТЭК (бензол, толуол, этилбензол, ксилол).

20 В настоящем документе «ингибитор катализатора», «ингибитор адсорбента» и т.п. относятся к одному или более веществу, которое снижает скорость химической реакции или препятствует ее протеканию. Согласно конкретным вариантам реализации ингибиторы катализаторов и/или адсорбента могут включать, но не ограничиваются ими, сероводород (H_2S) и карбонилсульфид (COS).

25 «Процесс удаления», «модуль удаления», «модуль очистки» и т.п. включает технологии, которые способны или превращать и/или удалять ингибиторы микроорганизмов и/или ингибиторы катализаторов из газового потока. Согласно конкретным вариантам реализации ингибиторы катализаторов должны быть удалены с помощью расположенного выше по потоку модуля удаления для
30 предотвращения ингибирования одного или более катализатора в расположенном ниже по потоку модуле удаления.

В настоящем документе термин «компоненты», «загрязняющие вещества» и т. п. относится к ингибиторам микроорганизмов и/или ингибиторам катализаторов, которые могут находиться в газовом потоке. Согласно конкретным вариантам реализации указанные компоненты включают, но не ограничиваются ими, 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.

10 Термин «обработанный газ», «обработанный поток» и т. п. относится к газовому потоку, который был пропущен через по меньшей мере один модуль удаления и в котором один или более компонент был удален и/или подвергся превращению.

В настоящем документе термин «улавливание углерода» относится к удалению соединений углерода, в том числе CO_2 и/или CO , из потока, содержащего CO_2 и/или CO , и или:

превращению CO_2 и/или CO в продукты; или

превращению CO_2 и/или CO в вещества, подходящие для длительного хранения; или

20 удерживанию CO_2 и/или CO в веществах, подходящих для длительного хранения;

или комбинации перечисленных процессов.

Термин «биореактор», «реактор» и т.п. включает ферментационное устройство, состоящее из одного или более сосудов и/или башен или трубопроводных обвязок, которое включает реактор непрерывного действия с перемешиванием (CSTR), реактор с иммобилизованными клетками (ICR), реактор с орошаемым слоем (TBR), барботажную колонку, газлифтный ферментер, статический смеситель, петлевой реактор с циркуляцией, мембранный реактор, такой как мембранный биореактор с системой полых волокон (HFM BR), барботажный реактор, мелкопузырьковый реактор, микропузырьковый реактор или другой сосуд или другое устройство, подходящее для газожидкостного контакта. Биореактор предпочтительно выполнен с возможностью приема газообразного

субстрата, содержащего CO, или CO₂, или H₂, или их смеси. Указанный реактор может содержать несколько реакторов (ступеней), расположенных параллельно или последовательно. Например, реактор может содержать первый реактор с растущими клетками, в котором культивируют бактерии, и второй ферментационный реактор, в который можно подавать ферментационный бульон из реактора с растущими клетками и в котором можно получать основную часть продуктов ферментации.

«Питательные среды» или «питательную среду» используют для описания среды для роста бактерий. В процессе ферментации питательную среду предпочитают использовать внутри биореактора. В общем случае, такой термин относится к средам, содержащим питательные вещества и другие компоненты, подходящие для роста микробной культуры. Термин «питательное вещество» включает любое вещество, которое можно использовать в метаболическом пути микроорганизма. Типичные питательные вещества включают калий, витамины группы B, микропримеси металлов и аминокислоты.

Подразумевают, что термин «ферментационный бульон» или «бульон» включает смесь компонентов, содержащую питательную среду и культуру или один или более микроорганизмов. В процессе ферментации предпочитают использовать ферментационный бульон для ферментации потока синтез-газа с образованием одного или более продукта.

В настоящем документе термин «кислота» включает как карбоновые кислоты, так и связанный с ними карбоксилат-анион, например, смесь свободной уксусной кислоты и ацетата, присутствующую в ферментационном бульоне, как описано в настоящем документе. Отношение молекулярной кислоты к карбоксилату в ферментационном бульоне зависит от pH такой системы. Кроме того, термин «ацетат» включает как ацетатную соль саму по себе, так и смесь молекулярной или свободной уксусной кислоты и ацетатной соли, такую как смесь ацетатной соли и свободной уксусной кислоты, присутствующую в ферментационном бульоне, как описано в настоящем документе.

Термин «требуемый состав» используют для обозначения требуемого уровня и типов компонентов в веществе, таком как, например, газовый поток, в том числе, но не ограничиваясь им, синтез-газ. Более конкретно, считается, что газ имеет «требуемый состав», если он содержит конкретный компонент (например, CO, H₂ и/или CO₂), и/или содержит конкретный компонент в определенной пропорции, и/или

не содержит конкретный компонент (например, загрязняющее вещество, вредное для микроорганизмов), и/или не содержит конкретный компонент в определенной пропорции. При определении, имеет ли газовый поток требуемый состав, можно учитывать более одного компонента.

- 5 Если контекст не требует иного, в настоящем документе подразумевают, что выражения «ферментация», «процесс ферментации» или «реакция ферментации» и т. п. включают как фазу роста, так и фазу биосинтеза продукта газообразного субстрата.

- 10 «Микроорганизм» представляет собой микроскопический организм, в частности, бактерию, архею, вирус или грибок. Микроорганизм согласно настоящему изобретению обычно представляет собой бактерию. Следует понимать, что в настоящем документе термин «микроорганизм» включает «бактерию». Следует отметить, что термин «микроорганизм» и термин «бактерии» используют в настоящем документе взаимозаменяемо.

- 15 «Родительский микроорганизм» представляет собой микроорганизм, применяемый для продуцирования микроорганизма согласно настоящему изобретению. Родительский микроорганизм может представлять собой природный микроорганизм (например, микроорганизм дикого типа) или микроорганизм, который был предварительно модифицирован (например, мутантный или рекомбинантный
- 20 микроорганизм). Микроорганизм согласно настоящему изобретению можно модифицировать таким образом, чтобы он экспрессировал или сверхэкспрессировал один или более ферментов, которые не были экспрессированы или сверхэкспрессированы в родительском микроорганизме. Аналогичным образом, микроорганизм согласно настоящему изобретению можно
- 25 модифицировать таким образом, чтобы он содержал один или более генов, которые не содержались в родительском микроорганизме. Микроорганизм согласно настоящему изобретению также можно модифицировать таким образом, чтобы он не экспрессировал или экспрессировал более низкие количества одного или более ферментов, которые были экспрессированы в родительском микроорганизме.
- 30 Согласно одному из вариантов реализации родительский микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. Согласно предпочтительному варианту реализации родительский микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, который был депонирован 7 июня 2010 года в Deutsche Sammlung von

Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ) (Немецкая коллекция микроорганизмов и клеточных культур (DSMZ)), расположенной в Inhoffenstraße 7B, D-38124 Брауншвейг, Германия 7 июня 2010 года, в соответствии с условиями Будапештского договора о международном признании депонирования микроорганизмов для целей патентной процедуры и имеет регистрационный номер DSM23693. Такой 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, родительской или дикого типа) нуклеиновой кислоты, белка или микроорганизма с целью получения новой нуклеиновой кислоты, белка или микроорганизма. Такие модификации или адаптации обычно включают вставку, делецию, мутацию или замену нуклеиновых кислот или генов. В общем случае, микроорганизм согласно настоящему изобретению получают от родительского микроорганизма. Согласно одному из вариантов реализации микроорганизм согласно настоящему изобретению получают из *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. Согласно предпочтительному варианту реализации микроорганизм согласно настоящему изобретению получают из *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, который депонирован под регистрационным номером DSMZ DSM23693.

«Метаболический путь Вуда-Льюнгдаля» относится к пути Вуда-Льюнгдаля фиксации углерода, описанному, например, в Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784: 1873-1898, 2008. «Микроорганизмы Вуда-Льюнгдаля» относятся, как и следовало ожидать, к микроорганизмам, использующим путь Вуда-Льюнгдаля. В общем случае, микроорганизм согласно настоящему изобретению использует нативный путь Вуда-Льюнгдаля. В настоящем документе путь Вуда-Льюнгдаля может представлять собой нативный, немодифицированный путь Вуда-Льюнгдаля или может представлять собой путь Вуда-Льюнгдаля с некоторой степенью генетической модификации (например, сверхэкспрессией, гетерологичной экспрессией, нокаутом и т. д.) при условии, что он все еще функционирует с превращением CO, CO₂ и/или H₂ в ацетил-КоА.

Термин «C1» относится к молекуле, содержащей один атом углерода, например, CO, CO₂, CH₄ или CH₃OH. «C1-кислородсодержащее соединение» относится к молекуле, содержащей один атом углерода, которая также содержит по меньшей мере один атом кислорода, например, CO, CO₂ или CH₃OH. «Источник C1-

углерода» относится к молекуле, содержащей один атом углерода, которая служит в качестве частичного или единственного источника углерода для микроорганизма согласно настоящему изобретению. Например, источник C1-углерода может содержать одно или более соединений из CO, CO₂, CH₄, CH₃OH или CH₂O₂.

5 Источник C1-углерода предпочтительно содержит одно или оба соединения CO и CO₂. «C1-фиксирующий микроорганизм» представляет собой микроорганизм, способный продуцировать один или более продуктов из источника C1-углерода. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой C1-фиксирующую бактерию.

10 «Анаэроб» представляет собой микроорганизм, не требующий кислорода для роста. Анаэроб может реагировать отрицательно или даже погибнуть в присутствии кислорода выше определенного порогового значения. Однако некоторые анаэробы способны переносить низкие уровни кислорода (например, от 0,000001 до 5% кислорода). Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению
15 представляет собой анаэроб.

«Ацетогены» представляют собой облигатно-анаэробные бактерии, использующие путь Вуда-Льюнгдаля в качестве их основного механизма 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,
20 ацетогены используют путь Вуда-Льюнгдаля в качестве (1) механизма восстановительного синтеза ацетил-КоА из CO₂, (2) терминального электроноакцепторного процесса сохранения энергии, (3) механизма фиксации (ассимиляции) CO₂ при синтезе углерода в клетках (Drake, *Acetogenic Prokaryotes*, In: *The Prokaryotes*, 3rd edition, p. 354, New York, NY, 2006). Все природные ацетогены
25 являются C1-фиксирующими, анаэробными, автотрофными и неметанотропными. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой ацетоген.

«Этанологен» представляет собой микроорганизм, который образует или способен образовать этанол. Как правило, микроорганизм согласно настоящему
30 изобретению представляет собой этанологен.

«Автотроф» представляет собой микроорганизм, способный расти в отсутствие органического углерода. Вместо этого автотрофы используют неорганические источники углерода, такие как CO и/или CO₂. Как правило, микроорганизм согласно настоящему изобретению представляет собой автотроф.

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

- 5 «Метанотроф» представляет собой микроорганизм, способный потреблять метан в качестве единственного источника углерода и энергии. Согласно определенным вариантам реализации микроорганизм, предложенный в настоящем изобретении, представляет собой метанотроф или получен из метанотрофа. Согласно другим вариантам реализации микроорганизм, предложенный в
10 настоящем изобретении, не представляет собой метанотроф или не получен из метанотрофа.

- «Субстрат» относится к источнику углерода и/или энергии для микроорганизма согласно настоящему изобретению. Как правило, субстрат является газообразным и содержит источник С1-углерода, например СО, СО₂ и/или
15 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 «субстратный кофактор» относится к веществу, которое, хотя и не обязательно является первичным источником энергии и материала для синтеза
20 продукта, можно использовать для синтеза продукта при добавлении к другому субстрату, например, первичному субстрату.

- Состав субстрата может оказывать значительное влияние на эффективность и/или стоимость реакции. Например, присутствие кислорода (О₂) может уменьшить эффективность процесса анаэробной ферментации. В зависимости от состава
25 субстрата может быть необходима обработка, очистка или фильтрация субстрата для удаления нежелательных примесей, таких как токсины, нежелательные компоненты или частицы пыли, и/или для увеличения концентрации требуемых компонентов.

- Согласно определенным вариантам реализации ферментацию проводят в
30 отсутствие углеводных субстратов, таких как сахар, крахмал, лигнин, целлюлоза или гемицеллюлоза.

Микроорганизм согласно настоящему изобретению можно культивировать с потоком газа для получения одного или более продуктов. Например, микроорганизм

согласно настоящему изобретению может продуцировать или может быть сконструирован с возможностью 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, в том числе изопрена (WO 2013/180584), жирных кислот (WO 2013/191567), 2-бутанола (WO 2013/185123), 1,2-пропандиола (WO 2014/0369152), 1-пропанола (WO 2014/191625), продуктов, полученных из хориозата (WO 2016/191625), 3-гидроксипропионата (WO 2017/066498) и 1,3-бутандиола (WO 2017/0066498). Согласно определенным вариантам реализации микробную биомассу саму по себе можно рассматривать в качестве продукта. Такие продукты можно дополнительно подвергнуть превращению с получением по меньшей мере одного компонента дизельного топлива, реактивного топлива и/или бензина. Кроме того, микробную биомассу можно подвергнуть дальнейшей переработке с получением белка одноклеточных организмов (SCP).

«Белок одноклеточных организмов» (SCP) относится к микробной биомассе, которую можно использовать в богатых белком пищевых продуктах для людей и/или животных, часто заменяющих традиционные источники обогащения белком, такие как соевая мука или рыбная мука. Для получения белка одноклеточных организмов или другого продукта предложенный способ может включать дополнительные стадии отделения, переработки или обработки. Например, предложенный способ может включать стерилизацию микробной биомассы, центрифугирование микробной биомассы и/или сушку микробной биомассы. Согласно определенным вариантам реализации микробную биомассу высушивают посредством распылительной сушки или лопастной сушки. Предложенный способ также может включать уменьшение содержания нуклеиновой кислоты в микробной биомассе с помощью любого способа, известного в данной области техники, поскольку соблюдение диеты с высоким содержанием нуклеиновой кислоты может приводить к накоплению продуктов распада нуклеиновой кислоты и/или желудочно-кишечному расстройству. Белок одноклеточных организмов может подходить для кормления животных, таких как домашний скот или домашние животные. В частности, корм для животных может подходить для кормления одного или более животных из мясного

скота, молочного скота, свиней, овец, коз, лошадей, мулов, ослов, оленей, буйволов/бизонов, лам, альпак, северных оленей, верблюдов, бантенгов, гайалов, яков, кур, индюков, уток, гусей, перепелов, цесарок, сквопов/голубей, рыбы, креветок, ракообразных, кошек, собак и грызунов. Состав корма для животных
 5 можно адаптировать к пищевым потребностям различных животных. Кроме того, предложенный способ может включать смешивание или объединение микробной биомассы с одним или более вспомогательными веществами.

Термин «вспомогательное вещество» может относиться к любому веществу, которое можно добавлять в микробную биомассу для улучшения или изменения
 10 формы, свойств или содержания питательных веществ в корме для животных. Например, вспомогательное вещество может содержать одно или более веществ из углевода, волокна, жира, белка, витамина, минерала, воды, вкусовой добавки, подсластителя, антиоксиданта, фермента, консерванта, пробиотика или антибиотика. Согласно некоторым вариантам реализации вспомогательное
 15 вещество может представлять собой сено, солому, силос, злаки, масла или жиры или другой растительный материал. Вспомогательное вещество может представлять собой любой кормовой ингредиент, указанный в Chiba, Section 18: Diet Formulation and Common Feed Ingredients, Animal Nutrition Handbook, 3rd revision, pages 575-633, 2014.

«Нативный продукт» представляет собой продукт, продуцируемый
 20 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,
 25 но не продуцируемый генетически немодифицированным микроорганизмом, из которого получен генетически модифицированный микроорганизм.

«Селективность» относится к отношению количества полученного целевого
 продукта к количеству всех полученных продуктов ферментации, продуцируемых
 микроорганизмом. Микроорганизм согласно настоящему изобретению может быть
 30 сконструирован для продуцирования продуктов с определенной селективностью или с минимальной селективностью. Согласно одному из вариантов реализации целевой продукт составляет по меньшей мере около 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50% или 75% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно настоящему изобретению. Согласно одному из вариантов реализации

целевой продукт составляет по меньшей мере 10% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно настоящему изобретению, так что микроорганизм согласно настоящему изобретению обладает селективностью по отношению к целевому продукту, составляющей по меньшей мере 10%. Согласно
5 другому варианту реализации целевой продукт составляет по меньшей мере 30% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно настоящему изобретению, так что микроорганизм согласно настоящему изобретению обладает селективностью по отношению к целевому продукту, составляющей по меньшей мере 30%.

10 Культуру обычно поддерживают в водной культуральной среде, содержащей питательные вещества, витамины и/или минералы в количестве, достаточном для обеспечения роста микроорганизма. Водная культуральная среда предпочтительно представляет собой среду для анаэробного роста микроорганизмов, такую как минимальная среда для анаэробного роста микроорганизмов.

15 Для получения целевого продукта культивирование/ферментацию желательно проводить в соответствующих условиях. Как правило, культивирование/ферментацию проводят в анаэробных условиях. Условия реакции, которые следует учитывать, включают давление (или парциальное давление), температуру, скорость газового потока, скорость потока жидкости, pH среды,
20 восстановительно-окислительный потенциал среды, скорость перемешивания (при применении реактора непрерывного действия с перемешиванием), уровень посевного материала, максимальные концентрации газового субстрата, обеспечивающие то, что газ в жидкой фазе не станет ограничивающим фактором, а также максимальные концентрации продукта для избежания ингибирования
25 продукта. В частности, скорость введения субстрата можно регулировать таким образом, чтобы гарантировать, что концентрация газа в жидкой фазе не станет ограничивающим фактором, поскольку в условиях ограниченного количества газа указанная культура может потреблять продукты.

30 Работа 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 превращения газа частично зависит от времени удерживания субстрата, а время удерживания определяет необходимый объем биореактора, 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 время удерживания, определяемое как объем жидкости в биореакторе, деленный на скорость потока нагнетаемого газа, можно уменьшить при поддержании в биореакторах повышенного давления, а не атмосферного давления. Оптимальные условия реакции будут частично зависеть от конкретного применяемого микроорганизма. Однако в общем случае, предпочтительно проводить ферментацию при давлении выше атмосферного давления. Кроме того, поскольку заданная скорость превращения газа частично зависит от времени удерживания субстрата, а достижение требуемого времени удерживания, в свою очередь, определяет необходимый объем биореактора, применение систем под давлением может значительно уменьшить требуемый объем биореактора и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для ферментации.

Целевые продукты можно отделять или очищать от ферментационного бульона с помощью любого подходящего процесса удаления, в котором используют способ или комбинацию способов, известных в данной области техники, в том числе, например, фракционную перегонку, вакуумную перегонку, испарение, испарение через полупроницаемую мембрану, отдувку газом, фазовое разделение и экстракционную ферментацию, в том числе, например, жидкость-жидкостную экстракцию. Согласно определенным вариантам реализации целевые продукты извлекают из ферментационного бульона путем непрерывного удаления из биореактора части бульона, отделения микробных клеток от бульона (обычно путем фильтрации) и выделения из бульона одного или более целевых продуктов. Спирты и/или ацетон можно извлекать, например, с помощью перегонки. Кислоты можно извлекать, например, путем адсорбции на активированном древесном угле. Отделенные микробные клетки можно вернуть в биореактор. Бесклеточный пермеат, оставшийся после удаления целевых продуктов, также можно вернуть в биореактор. К бесклеточному пермеату можно добавлять дополнительные питательные вещества (например, витамины группы В) для восполнения среды перед ее возвратом в биореактор.

«Обогащенный» относится к потоку, содержащему повышенное количество компонента по сравнению с потоком до стадии обогащения.

Описание

В настоящей заявке показано, что путем объединения операции газификации и операции ферментации в интегрированную систему неожиданный синергизм приводит к повышению общей эффективности такой интегрированной системы.

- 5 Более конкретно, в настоящей заявке описана интеграция, при которой синтез-газ, поступающий из процесса газификации, обрабатывают с применением адсорбента для удаления по меньшей мере одной смолы, такой как углеводород или кислородсодержащее соединение, при этом остаточный газ, полученный при операции ферментации, используют для регенерации адсорбента, в результате чего
- 10 указанный обогащается смолой и его теплотворная способность увеличивается. Обогащенный остаточный газ можно сжигать в парогенерирующем блоке с получением пара, который можно использовать для многих различных целей. Одно из таких применений, которое обеспечивает дальнейшую интеграцию, состоит в применении пара для выработки электроэнергии, которая затем приводит в
- 15 действие компрессор, применяемый в процессе газовой ферментации.

- Синтез-газ, полученный путем газификации биомассы или исходного сырья в виде отходов, содержит углеводороды и кислородсодержащие соединения, широко известные как смолы, получение и концентрация которых зависят от исходного сырья и температуры процесса газификации. Как правило, в газификаторе, где в
- 20 качестве окислителя используют воздух, температура ниже по сравнению с процессом, в котором в качестве окислителя используют обогащенный воздух или очищенный кислород. В низкотемпературных газификаторах получают синтез-газ, содержащий значительную концентрацию смолы, например, от 1000 до 10000 ppmv (объемных частей на миллион), а также метан, от 1 до 5 % об. Смолы и метан
- 25 являются нежелательными продуктами при газовой ферментации. Ни одно из этих соединений не поддается ферментации, при этом смолы, в частности, должны быть удалены для проведения процесса газовой ферментации.

- Удаление более тяжелых смол с более высокой температурой кипения можно осуществить путем охлаждения синтез-газа, при котором указанные смолы
- 30 конденсируются вместе с водой, присутствующей в синтез-газе. Такой жидкий продукт, конденсат, содержащий одно или более соединений из углеводородов, кислородсодержащих соединений и/или воды, является отходом, который часто требует утилизации. Согласно некоторым вариантам реализации, когда образуется большое количество конденсата и один компонент конденсата имеет значительную

концентрацию, может быть желательно и экономически целесообразно очищать такой компонент для продажи. Согласно другому варианту реализации способом утилизации в случае такого конденсата является сжигание. Конденсат можно сжигать путем применения пламени, образующегося при сжигании топливного газа, природного газа, синтез-газа или ферментационного остаточного газа, полученного в процессе газовой ферментации. В качестве альтернативы, конденсат можно направлять в процесс обработки сточных вод для утилизации, что приводит к увеличению выхода по сравнению со сжиганием конденсата. Применение ферментационного остаточного газа, который может содержать метан и остаточные СО и H_2 , является идеальным, поскольку остаточный газ имеет низкую стоимость и часто также представляет собой поток отходов, который может требовать утилизации. Применение ферментационного остаточного газа также уникально подходит для предложенной интеграции благодаря любому содержанию метана в синтез-газе, который может приходить в остаточный газ и вызывать повышение теплотворной способности остаточного газа, увеличивая, тем самым, ценность остаточного газа как потока горючей смеси.

Согласно другим вариантам реализации, например, согласно вариантам реализации низкотемпературной газификации, в синтез-газе присутствуют как значительные количества конденсата, так и метана, и, таким образом, образующийся остаточный газ представляет значительную ценность в случае сжигания. Однако некоторые процессы газификации, такие как процессы высокотемпературной газификации, могут привести к получению синтез-газа, который содержит очень мало смолы или метана, например, <0,5% согласно одному из вариантов реализации или до 0,1 мол. % согласно другому варианту реализации, что приводит к получению ферментационного остаточного газа, который может быть слишком разбавлен, чтобы подвергаться сжиганию. Согласно такому варианту реализации конденсата, требующего утилизации, очень мало или он отсутствует. Десорбция смол и кислородсодержащих соединений с применением потока ферментационного остаточного газа, благодаря которой происходит увеличение плотности энергии ферментационного остаточного газа, обеспечивает возможность применения такого газа, который в противном случае представлял бы малоценный остаточный газ в условиях создания более высокой ценности. Например, вместо добавления метана для сжигания остаточного газа на факеле, обогащенный остаточный газ после десорбции смол и кислородсодержащих соединений можно использовать в паровом котле или даже в энергетической установке, такой как

установка для комбинированного производства тепла и электроэнергии или установка для прямого производства электроэнергии. Обогащенный ферментационный остаточный газ имеет дополнительную энергетическую ценность, что повышает эффективность сжигания при применении в паровом котле или энергетической установке и т.п. Дополнительная эффективность достигается за счет того, что в отсутствие применения остаточного газа для десорбции углеводородов и кислородсодержащих соединений из адсорбента может потребоваться получение и применение азота для десорбции и регенерации адсорбента. Применение внутреннего технологического потока обеспечивает снижение затрат.

Более легкие смолы с более низкими температурами кипения, такие как бензол, толуол, этилбензол и ксилол (БТЭК), также могут присутствовать в синтез-газе, поступающем из процесса газификации, или в промышленном газе и должны быть удалены перед проведением газовой ферментации. БТЭК можно удалить с помощью адсорбционной установки, такой как установка адсорбции при переменной температуре (TSA) или установка адсорбции при переменном давлении (PSA). Второе применение ферментационного остаточного газа состоит в его применении в качестве продувочного газа для десорбции БТЭК из адсорбирующих слоев. После применения в качестве продувочного газа остаточный газ содержит остаточные компоненты синтез-газа (CH_4 , CO , H_2) и обогащен десорбированными БТЭК, образуя, таким образом, обогащенный остаточный газ, содержащий значительное количество извлекаемой энергии. Поток обогащенного остаточного газа, наряду с оставшимся ферментационным остаточным газом, можно сжигать в паровом котле с получением пара, такого как пар высокого давления, подходящего для применения в различных технологических установках, в том числе установках, которые используют в системе газификации и газовой ферментации.

В обогащенном остаточном газе содержится неожиданно большое количество остаточной энергии, и, таким образом, из обогащенного остаточного газа получают неожиданно большое количество пара. Согласно одному из вариантов реализации в системе газификации на воздушном дутье 75% химической энергии, содержащейся в исходном сырье, можно извлечь в виде синтез-газа, 20% (15% от исходного сырья, 20% из 75%) из которых могут присутствовать в виде БТЭК, метана и других легких углеводородов и 80% в виде CO и H_2 . Для 1 тонны сухого загрузочного материала с более низкой теплотворностью 18 ГДж/тону это означает, что 3 ГДж будут присутствовать в виде неферментируемых соединений, что

эквивалентно приблизительно 1,2 тоннам паровыделения. По сравнению с потоком синтез-газа, поступающим из процесса газификации, или промышленным отработанным газом обогащенный остаточный газ обогащен N_2 ; обогащен CO_2 ; обеднен примесями; или характеризуется любой их комбинацией, что приводит к обогащенному остаточному газу, обеспечивающему неожиданное улучшение десорбции адсорбированных компонентов. Полученный пар можно использовать для: перегонки продуктов ферментации, работы адсорбционного охладителя, сжатия под действием пара, испарения сточных вод, сушки биомассы, операций с паром на месте (SIP), очистки на месте (CIP), сушки исходного сырья, конвейеров для исходного сырья, приводимых в действие паром, отопления зданий и производства электроэнергии. Дополнительную степень интеграции можно достигнуть при применении полученного пара для выработки электроэнергии и при применении указанной энергии для приведения в действие компрессора, используемого в процессе газовой ферментации.

Другие варианты реализации включают один или более выходящих потоков, выбранных из биогаза, полученного в процессе обработки сточных вод, остаточного газа, полученного в процессе ферментации, неиспользованного синтез-газа, полученного в процессе газификации, микробной биомассы, полученной в процессе ферментации, микробной биомассы, полученной в процессе обработки сточных вод, неочищенного этанола, поступающего из процесса выделения продукта, сивушного масла, поступающего из процесса выделения продукта, воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, полученных в процессе ферментации, и осветленной воды, поступающей из процесса обработки сточных вод, которые можно направлять в процесс газификации с получением потока синтез-газа, применяемого в процессе газификации в качестве источника тепла, и/или использовать в процессе газификации для закалки потока синтез-газа. Такой поток синтез-газа предпочтительно подходит для газовой ферментации.

Перечисленные различные выходящие потоки получают либо в процессе ферментации, либо после процесса ферментации. В процессе 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 микропримеси металлов. Такой поток сточных вод часто направляют в процесс обработки сточных вод. Типичный процесс обработки сточных вод включает следующие стадии: (i) отделение микробной биомассы, представляющей собой суспендированное твердое вещество; (ii)

концентрирование твердой фазы микробной биомассы в отдельном анаэробном ферментере с длительным временем пребывания, около тридцати дней; (iii) концентрирование осветленного выходящего потока с уменьшенными количествами твердой фазы микробной биомассы, содержащего растворимые органические вещества, в анаэробном ферментере с более коротким временем пребывания, около от двух до трех дней. Как правило, в указанных анаэробных ферментерах потребляется большая часть, предпочтительно более восьмидесяти процентов (80 %) органического вещества, содержащегося в загрузочном материале, и образуется продукт в виде биогаза. Продукт в виде биогаза состоит в основном из метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2).

Такой продукт в виде биогаза может быть полезен для выработки электроэнергии. Однако для применения такого биогаза для выработки электроэнергии указанный биогаз обычно необходимо обработать с помощью одного или более модулей удаления. Кроме того, как показано ниже, оказалось, что применение микробной биомассы для получения биогаза представляет собой относительно малоценное применение микробной биомассы по сравнению с возможностями газификации или сушки микробной биомассы.

В дополнение к перечисленным выше стадиям процесс обработки сточных вод может также включать дополнительные стадии обработки, выполняемые после анаэробных ферментеров. Как правило, обработанный выходящий поток из анаэробных ферментеров подвергают дополнительной обработке, включающей аэробную обработку, выделение струвита, выделение азота и в некоторых случаях обратный осмос. Осветленная вода, полученная в процессе обработки сточных вод, подходит для повторного применения и/или слива. Одним из подходящих способов применения такой осветленной воды является рециклинг осветленной воды в процесс ферментации и/или процесс газификации.

Хотя процесс обработки сточных вод позволяет успешно обрабатывать сточные воды, поступающие из процесса ферментации, с получением осветленной воды, органические метаболиты в потоке сточных вод часто создают несколько проблем. В частности, обработка микробной биомассы, содержащейся в потоке сточных вод, в процессе обработки сточных вод может создавать проблемы при проектировании вследствие (i) высокого содержания белка и, следовательно, образования большого количества аммиака во время анаэробной ферментации и (ii)

большой площади земельного участка, необходимой для проведения процесса обработки сточных вод.

Аммиак представляет угрозу для анаэробной ферментации, поскольку аммиак связан с ингибированием метаногенеза во время процесса анаэробной ферментации, если он присутствует в высоких концентрациях. Было обнаружено, что ингибирующие концентрации аммиака составляют от 2 г/л до 3 г/л. Такое пороговое значение может быть значительно превышено, поскольку ферментация отделенной микробной биомассы может привести к концентрациям аммиака выше 20 г/л. Таким образом, для обработки микробной биомассы в процессе обработки сточных вод часто требуется процесс отгонки аммиака для снижения концентрации аммиака ниже ингибирующих уровней.

Потребность в большой площади земельного участка представляет собой серьезную проблему в местах, в которых земля имеет высокую цену. Для каждого компонента процесса обработки сточных вод требуется большая площадь пространства вследствие значительных объемов, подвергаемых обработке. Например, объем анаэробного ферментера с длительным временем пребывания может в некоторых случаях превышать 7000 м³.

Авторы изобретения обнаружили, что указанные проблемы можно решить путем рециклинга по меньшей мере части микробной биомассы в процесс газификации. Чем меньше микробной биомассы направляют на анаэробную ферментацию, тем меньше образуется аммиака, и, следовательно, необходимость в процессе отгонки аммиака уменьшается и/или устраняется. Кроме того, поскольку большие объемы выходящего потока, поступающего из процесса ферментации, направляют в процесс газификации, меньшие объемы выходящего потока направляются в процесс обработки сточных вод. При меньших объемах выходящего потока, обрабатываемого в процессе обработки сточных вод, необходимый объем и соответствующие требования к площади земельного участка снижаются, что делает настоящий проект выгодным для мест, в которых земля имеет высокую цену.

Наряду с устранением перечисленных выше проблем рециклинг микробной биомассы в процесс газификации обеспечивает следующие преимущества: (i) извлекают большую часть энергии, содержащейся в биомассе; (ii) увеличивается отношение $H_2:CO$ в полученном потоке синтез-газа; (iii) неорганические вещества, соединения металлов и щелочные элементы в микробной биомассе, которые обычно требуют дополнительные стадии обработки в процессе обработки сточных

вод, легко собирают в процессе газификации в виде части зольной фракции, для которой уже требуется утилизации, таким образом сокращается общий процесс обработки отходов; и (iv) азот, содержащийся в биомассе, в газификаторе будет подвергаться реакции с превращением в N_2 , NH_3 и следовые количества HCN , что

5 позволяет хорошо интегрироваться с существующими процессами удаления.

Авторы изобретения также неожиданно обнаружили прирост дохода при рециклинге биомассы в процесс газификации по сравнению с применением биомассы в производстве биогаза. В частности, авторы изобретения обнаружили прирост дохода, составляющий 321 %, при сравнении применения биомассы в

10 синтез-газе относительно применения биомассы при производстве биогаза.

Такой процент прироста дохода лучше всего проиллюстрирован ниже в таблице. В таблице указана стоимость, создаваемая 20 ГДж/ч биомассы, приведенная для каждого способа.

ТАБЛИЦА

	ГДж/ч био- массы	ГДж/ч газооб- разного продукта	ГДж/ч этанола	Стоимость продукта, \$/ГДж	Доход, \$/ч	Прирост дохода, %	Стоимость биомассы, \$/ГДж
Анаэробная ферментация с получением биогаза	20	12	данные отсут- ствуют	8	96,0	данные отсут- ствуют	4,80
Газификация с получением синтез-газа	20	15	8,25	37,3	307,7	321 %	15,39

15

Расчеты, представленные в приведенной выше таблице, позволяют сравнивать стоимость превращения биомассы в биогаз посредством анаэробной ферментации относительно стоимости превращения биомассы в синтез-газ посредством газификации. Эффективность превращения при получении биогаза из

20 биомассы посредством анаэробной ферментации составляет около шестидесяти процентов (60 %). Эффективность превращения при получении синтез-газа из биомассы посредством газификации составляет около семидесяти пяти процентов (75 %), при этом указанное значение может меняться в зависимости от применяемой технологии газификации. ГДж/час газообразного продукта

25 представляет собой ГДж/час биомассы, умноженное на соответствующую эффективность превращения. ГДж/час этанола представляет собой ГДж/час

газообразного продукта, умноженное на эффективность превращения при газовой ферментации. Эффективность превращения при газовой ферментации для получения этанола составляет, по осторожным оценкам, около пятидесяти пяти процентов (55 %). При такой эффективности превращения было обнаружено, что

5 ГДж/ч этанола составляет 8,25. Рыночная цена биогаза в отсутствие стимулов для применения возобновляемых источников энергии составляет от четырех долларов (\$4) в США до десяти долларов (\$10) в Европейском союзе по состоянию на 5 ноября 2018 года. Для целей анализа используют цену восемь долларов за гигаджоуль биогаза (стоимость продукта \$8/ГДж). Цена низкоуглеродного этанола в

10 настоящее время составляет, по состоянию на 5 ноября 2018 года, \$850/тонну этанола в Европейском союзе, \$1100/тонну этанола в Китае и \$1200/тонну этанола в США. Для целей анализа используют цену \$1000/тонну этанола, что эквивалентно \$37,30/ГДж. Доход в \$/ч представляет собой ГДж/час газообразного продукта, умноженное на стоимость продукта в \$/ГДж. Прирост дохода в % представляет

15 собой сравнительную величину дохода в \$/ч для анаэробной ферментации с получением биогаза относительно дохода в \$/ч для газификации с получением синтез-газа. Стоимость биомассы в \$/ГДж иллюстрирует стоимость биомассы с учетом выбранного процесса. Ее рассчитывают путем деления дохода в \$/ч на ГДж/час биомассы. Как показано, применение биомассы для получения синтез-газа

20 посредством газификации значительно увеличивает как доход, так и стоимость биомассы.

Дополнительное преимущество подачи микробной биомассы в процесс газификации состоит в том, что микробная биомасса может способствовать получению дополнительных количеств синтез-газа, которые могут потребоваться

25 для адекватного снабжения процесса ферментации. Например, для подачи синтез-газа, необходимого для процесса ферментации при производстве этанола в количестве 100000 тонн/год, требуется скорость загрузки газификатора около 1200 тонн сухого материала в сутки, что эквивалентно 50 тоннам сухого материала в час, исходя из текущих проектных параметров. Биомасса, полученная в процессе

30 ферментации такого масштаба, обычно составляет от 1000 кг/час до 1200 кг/час. Это значительное количество биомассы. Дополнительные количества синтез-газа, которые можно получить путем газификации биомассы, могут быть особенно полезными в ситуациях, когда исходное сырье для газификатора ограничено или когда цена на исходное сырье является высокой.

Для увеличения процента содержания биомассы перед подачей в газификатор может потребоваться дополнительная стадия сушки биомассы, полученной в процессе ферментации. В зависимости от требований к газификатору может потребоваться сушка биомассы до точки, при которой биомасса составит более 20 % масс.

Однако газификация биомассы с повышенным содержанием влаги имеет дополнительное преимущество, состоящее в увеличении отношения $H_2:CO$ в полученном синтез-газе. При содержании влаги в исходном сырье для газификации около 15 % масс. отношение $H_2:CO$ в полученном потоке синтез-газа составляет 1:1. При увеличении влажности в исходном сырье для газификации до 40 % масс., отношение $H_2:CO$ в полученном потоке синтез-газа составляет 2:1. Как указано ранее, увеличение отношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, подаваемом в процесс ферментации, приводит к увеличению эффективности процесса ферментации.

Субстрат и/или источник C1-углерода может представлять собой отработанный газ, полученный в виде побочного продукта промышленного процесса или из какого-либо другого источника, такого как выхлопные газы автомобилей, биогаз или свалочный газ или газ, образующийся при электролизе. Субстрат и/или источник C1-углерода может представлять собой синтез-газ, полученный в результате пиролиза, торрефикации или газификации. Другими словами, отходы можно перерабатывать путем пиролиза, торрефикации или газификации с получением синтез-газа, который используют в качестве субстрата и/или источника C1-углерода. Согласно определенным вариантам реализации промышленный процесс выбирают из производства продуктов из черных металлов, такого как производство сталелитейного завода, производства продуктов из цветных металлов, нефтепереработки, производства электроэнергии, производства углеродной сажи, производства бумаги и целлюлозы, производства аммиака, производства метанола, производства кокса или любой их комбинации. Согласно указанным вариантам реализации субстрат и/или источник C1-углерода можно улавливать из промышленного процесса перед его выбросом в атмосферу, используя любой удобный способ. Субстрат и/или источник C1-углерода может представлять собой синтез-газ, такой как синтез-газ, полученный путем газификации угля, газификации остатков нефтеперерабатывающих заводов, газификации биомассы, газификации лигноцеллюлозного материала, газификации черного щелока, газификации твердых бытовых отходов, газификации промышленных твердых отходов, газификации канализационных стоков, газификации осадка,

полученного при обработке сточных вод, риформинга природного газа, риформинга биогаза, риформинга свалочного газа или любой их комбинации. Примеры твердых бытовых отходов включают шины, пластмассу и волокна в обуви, одежде, текстильных материалах. Твердые бытовые отходы могут быть отсортированными или неотсортированными. Примеры биомассы могут включать лигноцеллюлозный материал, а также могут включать микробную биомассу. Лигноцеллюлозный материал может включать сельскохозяйственные отходы и отходы лесозаготовки.

Обсуждаемые ниже фигуры в первую очередь относятся к процессам и устройству, связанным с газификацией, а затем относятся к процессам и устройству, в которых газификация для производства синтез-газа не требуется. Во всех случаях остаточный газ, поступающий из процесса ферментации, используют для десорбции из адсорбента по меньшей мере одного компонента с обогащением, тем самым, указанного остаточного газа. Обогащенный остаточный газ имеет множество возможных применений. Остаточный газ, поступающий из процесса ферментации, также неожиданно работает как лучший десорбент, чем, например, необработанный синтез-газ.

На фиг. 1 изображена схема интеграции процессов, на которой показана интеграция процесса 300 газификации, включающая процесс 100 ферментации газа, процесс 400 выделения продукта и процесс 200 обработки сточных вод, в соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения. Указанные процессы интегрированы таким образом, который обеспечивает неожиданную синергию и преимущества. В процесс 300 газификации поступает загрузочный материал 301 для газификации, который может представлять собой любой подходящий материал, способный подвергаться газификации с образованием потока 302 синтез-газа. В различных случаях загрузочный материал 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из отсортированных и/или неотсортированных твердых бытовых отходов. В других случаях загрузочный материал 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из отходов лесозаготовки и/или сельскохозяйственных отходов. Согласно конкретным вариантам реализации загрузочный материал 301 для газификации состоит из комбинации двух или более из следующих компонентов: отсортированных твердых бытовых отходов, неотсортированных твердых бытовых отходов, отходов лесозаготовки, сельскохозяйственных отходов, по меньшей мере одного выходящего потока, поступающего из процесса 100 ферментации, по меньшей мере одного выходящего потока, поступающего из процесса 400 выделения продукта, и

по меньшей мере одного выходящего потока, поступающего из процесса 200 обработки сточных вод.

В процесс 300 газификации поступает загрузочный материал 301 для газификации и образуется поток 302 синтез-газа, подходящий для ферментации в процессе 100 газовой ферментации. В процессе 100 ферментации такой поток используют в качестве источника углерода для получения одного или более продукта, который может по меньшей мере частично содержаться в одном или более выходящем потоке 102, 104. В различных случаях выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, представляет собой ферментационный бульон. Однако некоторые компоненты синтез-газа должны быть удалены в адсорбционной установке 10 перед ферментацией синтез-газа в процессе ферментации 300. Удаленные компоненты включают по меньшей мере одно соединение из углеводорода, кислородсодержащего соединения, соединения серы и/или соединения азота. Указанный компонент адсорбируется на адсорбенте в адсорбционной установке. Адсорбционная установка может представлять собой систему адсорбции при переменной температуре, систему адсорбции при переменном давлении, систему с вращающимся слоем, систему с подвижным слоем или систему с неподвижным слоем. Со временем адсорбент может достичь своей емкости и нуждаться в регенерации. Десорбент и/или продувочный газ способствуют регенерации адсорбента. Как описано выше, дальнейшая интеграция процесса газификации и процесса газовой ферментации заключается в применении по меньшей мере части остаточного газа 104, образующегося в процессе 100 ферментации, в качестве десорбента или средства продувки 12 для адсорбционной установки 10. Остаточный газ, применяемый в качестве десорбента или средства продувки 12 для адсорбционной установки 10, обогащается компонентами, десорбированными из адсорбента, в том числе по меньшей мере одним углеводородом, кислородсодержащим соединением, соединением серы и/или соединением азота, с образованием обогащенного остаточного газа 18, который имеет более высокую теплотворную способность, чем поток 12. Согласно такому варианту реализации обогащенный остаточный газ 18 направляют в паровой котел 14 для получения пара 20 высокого давления. Пар 20 высокого давления подают в систему 16, которая вырабатывает энергию из пара высокого давления и приводит в действие компрессор, который сжимает синтез-газ перед введением указанного синтез-газа в процесс 100 газовой ферментации.

Один или более продуктов, полученных в процессе 100 ферментации, удаляют и/или отделяют от ферментационного бульона в процессе 400 выделения продукта. В процессе 400 выделения продукта предпочтительно происходит удаление одного или более продуктов 406 и получение по меньшей мере одного

5 выходящего потока 402, 404, 408, содержащего уменьшенные количества по меньшей мере одного продукта. Такой выходящий поток можно направить по трубопроводу 402 в процесс 200 обработки сточных вод с получением по меньшей мере одного выходящего потока 202, который можно рециклировать в процесс 300 газификации и/или процесс 100 ферментации.

10 Выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, представляет собой остаточный газ, полученный в процессе 100 ферментации. По крайней мере, часть такого остаточного газа можно направить по трубопроводу 104, 124 и 125 в процесс 300 газификации. Часть газа из контейнера направляют на

15 линию 12 для применения в качестве десорбента и/или продувочного газа для адсорбционной установки 10. Согласно необязательному варианту реализации по меньшей мере часть остаточного газа можно направить по трубопроводу 124 в процесс 300 газификации для применения в качестве части загрузочного материала 301 для газификации. Согласно другому необязательному варианту реализации по меньшей мере часть остаточного газа можно направить по трубопроводу 114 в

20 процесс 300 газификации для закалки потока 302 синтез-газа.

Согласно по меньшей мере одному из вариантов реализации выходящий поток, поступающий от процесса 100 ферментации, представляет собой ферментационный бульон. По меньшей мере часть ферментационного бульона направляют по трубопроводу 102 в процесс 400 выделения продукта. Согласно по

25 меньшей мере одному из вариантов реализации в процессе 400 выделения продукта отделяют по меньшей мере часть микробной биомассы, поступающей из процесса 100 ферментации. Согласно различным вариантам реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, которую отделяют от ферментационного бульона, рециклируют в процесс 100 ферментации по трубопроводу 404. Согласно

30 различным вариантам реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, которую отделяют от ферментационного бульона, направляют по трубопроводу 428 в процесс 300 газификации. Можно использовать по меньшей мере часть микробной биомассы в качестве части загрузочного материала 301 для газификации.

Согласно различным необязательным вариантам реализации по меньшей мере часть потока сточных вод, содержащего ферментационный бульон, который может содержать микробную биомассу, из процесса 100 ферментации можно направить непосредственно по трубопроводу 104 в процесс 300 газификации без направления в процесс 400 выделения продукта. По меньшей мере часть сточных вод можно направить по трубопроводу 124 в процесс 300 газификации для применения в качестве части загрузочного материала 301 для газификации. По меньшей мере часть ферментационного бульона можно направить по трубопроводу 114 в процесс 300 газификации для закалки потока 302 синтез-газа.

10 В случаях, когда ферментационный бульон обрабатывают в процессе 400 выделения продукта, по меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, полученной путем удаления микробной биомассы из ферментационного бульона, можно вернуть в процесс 100 ферментации по трубопроводу 404 и/или направить по трубопроводу 408 в процесс 300 газификации. По меньшей мере часть
15 воды, обедненной микробной биомассой, можно направить по трубопроводу 428 в процесс 300 газификации для применения в качестве части загрузочного материала 301 для газификации. По меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, можно направить по трубопроводу 418 для закалки потока 302 синтез-газа. Кроме того, по меньшей мере часть выходящего потока, поступающего из
20 процесса 400 выделения продукта, можно направить по трубопроводу 402 в процесс 200 обработки сточных вод. Выходящий поток, поступающий из процесса 400 выделения продукта, предпочтительно содержит уменьшенные количества продукта и/или микробной биомассы.

Процесс 200 обработки сточных вод предпочтительно позволяет принять и
25 обработать выходящий поток, поступающий из одного или более процесса, с получением осветленной воды. Такую осветленную воду можно направить по трубопроводу 202 в один или более процесс. В определенных случаях по меньшей мере часть осветленной воды направляют по трубопроводу 212 в процесс ферментации. По меньшей мере часть осветленной воды можно направить по
30 трубопроводу 232 в процесс 300 газификации для применения в качестве части загрузочного материала 301 для газификации. По меньшей мере часть осветленной воды можно направить по трубопроводу 222 в процесс 300 газификации для закалки потока 302 синтез-газа.

В определенных случаях в процессе 200 обработки сточных вод образуется микробная биомасса как часть процесса обработки. По меньшей мере часть такой микробной биомассы можно направить по трубопроводу 232 в процесс 300 газификации. В процессе 300 газификации предпочтительно используют по меньшей мере часть микробной биомассы, полученной в процессе 200 обработки сточных вод, в качестве части загрузочного материала 301 для газификации.

В процессе 200 обработки сточных вод в качестве побочного продукта обработки микробной биомассы получают биогаз. По меньшей мере часть такого биогаза можно направить по трубопроводу 202 в процесс 300 газификации. В определенных случаях по меньшей мере часть биогаза направляют по трубопроводу 232 в процесс 300 газификации для применения в качестве части загрузочного материала 301 для газификации. По меньшей мере часть биогаза можно направить по трубопроводу 222 в процесс 300 газификации для закалки потока 302 синтез-газа.

В процесс 300 газификации предпочтительно направляют один или более выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, процесса 400 выделения продукта и/или процесса 200 обработки сточных вод, при этом образуется поток 302 синтез-газа. Такой поток 302 синтез-газа предпочтительно подходит для применения в качестве исходного сырья для процесса 100 газовой ферментации.

Для возможности применения в качестве исходного сырья для процесса 100 газовой ферментации поток 302 синтез-газа предпочтительно должен иметь требуемый состав. В конкретных случаях синтез-газ 302, полученный в процессе 300 газификации, содержит один или более компонент, который необходимо удалить и/или подвергнуть превращению.

Типичные компоненты, содержащиеся в потоке 302 синтез-газа, которые могут требовать удаления и/или превращения, включают, но не ограничиваются ими, 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. Перечисленные компоненты можно удалять посредством одного или более процесса удаления.

На фиг. 2 показана схема интеграции процессов, изображенная на фиг. 1, дополнительно включающая процесс 500 удаления, осуществляемый между процессом 300 газификации и процессом 100 газовой ферментации, в соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения, и, кроме того, адсорбционная установка 10.

Процесс 500 удаления предпочтительно включает один или более из следующих модулей: модуль гидролиза, модуль удаления кислого газа, модуль дезоксигенирования, модуль каталитического гидрирования, модуль удаления частиц, модуль удаления хлоридов и модуль глубокой очистки от цианистого водорода.

При включении процесса 500 удаления по меньшей мере часть синтез-газа 302, поступающего из процесса 300 газификации, направляют в процесс 500 удаления для удаления и/или превращения по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента, содержащегося в потоке 302 синтез-газа. В процессе 500 удаления содержание компонентов предпочтительно доводят до допустимых уровней для получения обработанного потока 502, подходящего для ферментации в процессе 100 ферментации.

В различных случаях процесс 500 удаления включает два или более модулей удаления, выбранных из группы, включающей: модуль гидролиза, модуль удаления кислого газа, модуль дезоксигенирования, модуль каталитического гидрирования, модуль удаления частиц, модуль удаления хлоридов и модуль глубокой очистки от цианистого водорода. В определенных случаях один или более из указанных модулей удаления используют для удаления из газового потока одного или более компонента, который может оказывать неблагоприятное воздействие на последующие процессы, например, последующий процесс 100 ферментации, и/или последующие модули удаления, участвующие в процессе 500 удаления.

Один или более компонент, удаленный и/или подвергнутый превращению в процессе 500 удаления, может быть введен и/или сконцентрирован посредством газификации микробной биомассы. В определенных случаях процесс 500 удаления позволяет удалять аммиак (NH_3) и/или цианистый водород (HCN). Такой аммиак и/или цианистый водород может быть введен и/или сконцентрирован при газификации микробной биомассы в процессе 300 газификации. Аммиак и цианистый водород могут быть получены из азота, содержащегося в микробной

биомассе, который будет подвергаться реакции в процессе 300 газификации вступит с превращением в N_2 , NH_3 и следовые количества HCN .

Как правило, поток синтез-газа, подаваемый в процесс 100 ферментации, является газообразным. Однако поток синтез-газа также можно получить в альтернативных формах. Например, поток синтез-газа можно растворить в жидкости, насыщенной синтез-газом, которую затем можно подавать в процесс 100 ферментации. В качестве дополнительного примера синтез-газ можно адсорбировать на твердую подложку.

В процессе 100 ферментации предпочтительно используют $C1$ -фиксирующие микроорганизмы для ферментации потока CO_2 синтез-газа и получения одного или более продукта. $C1$ -фиксирующий микроорганизм в процессе 100 ферментации обычно представляет собой карбоксидотрофную бактерию. Согласно конкретным вариантам реализации карбоксидотрофная бактерия выбрана из группы, включающей *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*. Согласно различным вариантам реализации карбоксидотрофная бактерия представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

В определенных случаях один или более из процессов объединяют посредством применения по меньшей мере части по меньшей мере одного выходящего потока, поступающего из одного процесса, в качестве источника тепла для по меньшей мере одного другого процесса.

На фиг. 3 изображена схема интеграции процессов, на которой показана интеграция процесса 300 газификации, процесса 100 газовой ферментации, процесса 400 выделения продукта и процесса 200 обработки сточных вод, в соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения. В различных случаях указанные процессы интегрируют путем применения по меньшей мере одного выходящего потока, поступающего из по меньшей мере одного процесса, в качестве источника тепла в по меньшей мере одном другом процессе. Согласно конкретным вариантам реализации биогаз, полученный в процессе 200 обработки сточных вод, используют в качестве источника тепла для одного или более процесса. По меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе 200 обработки сточных вод, предпочтительно используют в качестве источника тепла для процесса 300 газификации. В определенных случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе 200 обработки сточных вод,

для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе 300 газификации. Согласно одному или более варианту реализации по меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе 200 обработки сточных вод, используют в качестве источника тепла для процесса 100 газовой ферментации. Согласно одному

5 или более варианту реализации по меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе 200 обработки сточных вод, используют в качестве источника тепла для процесса 400 выделения продукта. Согласно одному или более варианту реализации по меньшей мере часть биогаза, полученного в процессе 200 обработки сточных вод, используют в качестве источника тепла для процесса 500 удаления.

10 В различных случаях поток биогаза, поступающий из процесса 200 обработки сточных вод, направляют по трубопроводу 202 в по меньшей мере один процесс 600 удаления перед направлением в один или более процесс. Процесс 600 удаления предпочтительно позволяет уменьшить количество по меньшей мере одного соединения серы в потоке биогаза.

15 При включении процесса 600 удаления после процесса 200 обработки сточных вод по меньшей мере часть биогаза, поступающего из процесса 200 обработки сточных вод, направляют в процесс 600 удаления для удаления и/или превращения по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента, содержащегося в потоке биогаза. В процессе 600 удаления содержание

20 компонентов предпочтительно доводят до допустимых уровней с тем, чтобы получить обработанный поток 642, 612, 622 и/или 632, подходящий для применения в последующем одном или более процессе 400, 100, 500 и/или 300, соответственно.

Согласно определенным вариантам реализации остаточный газ, полученный в процессе 100 ферментации, можно использовать в качестве источника тепла для

25 одного или более процесса. По меньшей мере часть остаточного газа, полученного в процессе 100 ферментации, используют в качестве источника тепла для процесса 300 газификации. В определенных случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть остаточного газа, полученного в процессе 100 ферментации, для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в

30 процессе 300 газификации. Согласно одному или более варианту реализации по меньшей мере часть остаточного газа, полученного в процессе 100 ферментации, используют в качестве источника тепла для процесса 400 выделения продукта. В различных случаях остаточный газ, поступающий из процесса 100 ферментации,

направляют в по меньшей мере один процесс удаления перед направлением в один или более процесс.

Согласно конкретным вариантам реализации неиспользованный синтез-газ, полученный в процессе 300 газификации, используют в качестве источника тепла для одного или более процесса. По меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, полученного в процессе 300 газификации, предпочтительно используют в качестве источника тепла для процесса 300 газификации. В некоторых случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, полученного в процессе 300 газификации, для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе 300 газификации. Согласно одному или более варианту реализации по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, полученного в процессе 300 газификации, используют в качестве источника тепла для процесса 400 выделения продукта. В различных случаях неиспользованный синтез-газ, поступающий из процесса 300 газификации, направляют в по меньшей мере один процесс удаления перед направлением в один или более процесс.

Процесс 100 ферментации предпочтительно позволяет получать разнообразные продукты. Указанные продукты предпочтительно можно разделить путем применения процесса 400 выделения продукта. В различных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного из указанных продуктов, полученных в процессе 100 ферментации, можно использовать в качестве источника для одного или более процесса. В определенных случаях по меньшей мере часть этанола, поступающего из процесса 400 выделения продукта, используют в качестве источника тепла для процесса 300 газификации. Этанол, применяемый в качестве источника тепла для одного или более процесса, предпочтительно представляет собой неочищенный этанол, не соответствующий техническим требованиям для топливного этанола. В определенных случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть неочищенного этанола, поступающего из процесса 400 выделения продукта, для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе 300 газификации.

В определенных случаях в процессе 100 ферментации получают сивушное масло. Такое сивушное масло можно извлекать в процессе 400 выделения продукта любыми подходящими способами. Например, в ректификационной колонне установки для перегонки. Согласно по меньшей мере одному из вариантов

реализации по меньшей мере часть сивушного масла, поступающего из процесса 400 выделения продукта, используют в качестве источника тепла для одного или более процесса. В определенных случаях по меньшей мере часть сивушного масла, поступающего из процесса 400 выделения продукта, используют в качестве источника тепла для процесса 300 газификации. В процессе 300 газификации предпочтительно используют по меньшей мере часть сивушного масла, поступающего из процесса 400 выделения продукта, для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе 300 газификации.

На фиг. 4 показан вариант реализации, в котором используют промышленный отработанный газ в качестве субстрата или источника C1-углерода без получения синтез-газа путем газификации материала. В различных случаях загрузочный материал 401 состоит из отработанного газа, полученного в качестве побочного продукта промышленного процесса или из другого источника, такого как выхлопные газы автомобилей, биогаз или свалочный газ или газ, образующийся при электролизе. Промышленный процесс выбирают из производства продуктов из черных металлов, такого как производство сталелитейного завода, производства продуктов из цветных металлов, нефтепереработки, производства электроэнергии, производства углеродной сажи, производства бумаги и целлюлозы, производства аммиака, производства метанола, производства кокса или любой их комбинации. Не обязательно загрузочный материал 401 также может содержать по меньшей мере один выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, по меньшей мере один выходящий поток, поступающий из процесса 400 выделения продукта и по меньшей мере один выходящий поток, поступающий из процесса 200 обработки сточных вод.

В процессе 100 ферментации такой поток загрузочного материала предпочтительно используют в качестве источника углерода для получения одного или более продукта, который может по меньшей мере частично содержаться в одном или более выходящем потоке 102, 104. В различных случаях выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, представляет собой ферментационный бульон. Однако некоторые компоненты загрузочного материала должны быть удалены в адсорбционной установке 10 перед направлением обработанного загрузочного материала по линии 22 и ферментацией в процессе 100 ферментации. Удаленные компоненты включают по меньшей мере одно соединение из углеводорода, кислородсодержащего соединения, соединения серы и/или соединения азота. Типичные компоненты, которые могут содержаться в загрузочном

материале 401, которые могут требовать удаления с помощью адсорбционной установки, включают, но не ограничиваться ими, 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.

Компонент(ы) адсорбируют на адсорбенте адсорбционной установки 10. Адсорбционная установка может представлять собой систему адсорбции при переменной температуре, систему адсорбции при переменном давлении, систему с вращающимся слоем, систему с подвижным слоем или систему с неподвижным слоем. Со временем адсорбент может достичь своей емкости и нуждаться в регенерации. Десорбент и/или продувочный газ способствуют регенерации адсорбента. По меньшей мере часть остаточного газа 104, образующегося в процессе 100 ферментации, можно использовать в качестве десорбента или средства продувки 12 для адсорбционной установки 10. Остаточный газ, применяемый в качестве десорбента или средства продувки 12 для адсорбционной установки 10, обогащается компонентами, десорбированными из адсорбента, в том числе по меньшей мере одним углеводородом, кислородсодержащим соединением, соединением серы и/или соединением азота, с образованием обогащенного остаточного газа 18, который имеет более высокую теплотворную способность, чем десорбент 12 в виде остаточного газа. Согласно такому варианту реализации обогащенный остаточный газ 18 направляют в паровой котел 14 для получения пара 20 высокого давления. Пар 20 высокого давления подают в систему 16, которая вырабатывает энергию из пара высокого давления и приводит в действие компрессор, который сжимает загрузочный материал перед его подачей в процесс 100 газовой ферментации по линии 22.

Выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, представляет собой остаточный газ, полученный в процессе 100 ферментации. Часть остаточного газа направляют на линию 104 и 12 для применения в качестве десорбента и/или продувочного газа для адсорбционной установки 10. Согласно необязательному варианту по меньшей мере часть остаточного газа можно направить по трубопроводу 124 для объединения с загрузочным материалом 401.

Один или более продуктов, полученных в процессе 100 ферментации, удаляют и/или отделяют от ферментационного бульона в процессе 400 выделения продукта, как описано выше. Аналогичным образом, согласно по меньшей мере одному из вариантов реализации выходящий поток, поступающий из процесса 100 ферментации, представляет собой ферментационный бульон, при этом по меньшей мере часть указанного ферментационного бульона направляют по трубопроводу 102 в процесс 400 выделения продукта, как описано выше.

На фиг. 5 показан вариант реализации, в котором используют промышленный отработанный газ в качестве субстрата или источника C1-углерода без получения синтез-газа путем газификации материала, при этом обогащенный остаточный газ на линии 18 направляют в энергетическую установку 48. На фиг. 5 также показан альтернативный вариант реализации, в котором обогащенный остаточный газ на линии 18 направляют в процесс выделения и установку 400 по линии 50, например, для сушки продукта.

На фиг. 6 показан вариант реализации, в котором используют газификатор 300 для получения синтез-газа в качестве субстрата или источника C1-углерода, при этом обогащенный остаточный газ на линии 18 направляют в энергетическую установку. На фиг. 6 также показан альтернативный вариант реализации, в котором обогащенный остаточный газ направляют в процесс выделения продукта и установку 400, например, для сушки продукта.

В случаях, когда ферментационный бульон обрабатывают в процессе 400 выделения продукта, по меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, полученной путем удаления микробной биомассы из ферментационного бульона, можно вернуть в процесс 100 ферментации по трубопроводу 404 и/или направить по трубопроводу 408 для применения в качестве части загрузочного материала 401. Кроме того, по меньшей мере часть выходящего потока, поступающего из процесса 400 выделения продукта, можно направить по трубопроводу 402 в процесс 200 обработки сточных вод. Выходящий поток, поступающий из процесса 400 выделения продукта, предпочтительно содержит уменьшенные количества продукта и/или микробной биомассы.

Все ссылки, в том числе публикации, заявки на патенты и патенты, цитируемые в настоящем документе, тем самым включены посредством ссылки в той же степени, как если бы каждая ссылка была отдельно и конкретно указана для включения в настоящий документ посредством ссылки и изложена в полном

объеме. В настоящем описании ссылка на какой-либо известный уровень техники не является и не должна рассматриваться как признание того, что такой известный уровень техники составляет часть общедоступных известных знаний в области деятельности в любой стране.

5 Следует считать, что применение терминов в единственном числе и аналогичных ссылок в контексте описания настоящего изобретения (особенно в контексте приведенной ниже формулы изобретения) включает как единственное, так и множественное число, если только в настоящем документе не указано иное или это явно не противоречит контексту. Термины «включающий», «имеющий», «в том

10 числе» и «содержащий» следует рассматривать как неограничивающие термины (т. е. означающие «в том числе, но не ограничиваясь ими»), если не указано иное. Термин «состоящий по существу из» ограничивает диапазон состава, процесса или способа указанными материалами или стадиями, или материалами или стадиями, которые не оказывает существенного влияния на основные и новые характеристики

15 состава, процесса или способа. Следует понимать, что применение альтернативного варианта (например, «или») означает одну, обе или любую их комбинацию альтернативных вариантов. В настоящем документе термин «около» означает $\pm 20\%$ от приведенного диапазона, значения или структуры, если не указано иное.

20 Подразумевают, что в настоящем документе перечисление диапазонов значений просто служит в качестве способа сокращения конкретной ссылки на каждое отдельное значение, попадающее в такой диапазон, если в настоящем документе не указано иное, при этом каждое отдельное значение включено в данное описание изобретения, как если бы оно было отдельно приведено в

25 настоящем документе. Например, следует понимать, что любой диапазон концентраций, диапазон процентов, диапазон отношений, диапазон целых чисел, диапазон размеров или диапазон толщин включает значение любого целого числа в указанном диапазоне и, при необходимости, его долей (например, одной десятой и одной сотой целого числа), если не указано иное.

30 Все способы, описанные в настоящем документе, можно осуществлять в любом подходящем порядке, если в настоящем документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту. Применение всевозможных примеров или вводных слов перед примером (например, «такой как»), приведенных в настоящем документе, предназначено просто для лучшего освещения настоящего изобретения

и не налагает ограничение на объем изобретения, если не заявлено иное. Ни одно выражение, приведенное в настоящем описании изобретения, не следует понимать как указание на какой-либо незаявленный элемент как необходимый для практического реализации настоящего изобретения.

- 5 В настоящем документе описаны предпочтительные варианты реализации данного изобретения. Вариации указанных предпочтительных вариантов реализации станут очевидными для специалистов в данной области техники при прочтении представленного выше описания. Авторы настоящего изобретения ожидают, что квалифицированные специалисты будут использовать такие вариации
- 10 при необходимости, при этом авторы изобретения предполагают, что настоящее изобретение будет осуществляться на практике иначе, чем конкретно описано в настоящем документе. Соответственно, настоящее изобретение включает все модификации и эквиваленты объекта изобретения, приведенные ниже в прилагаемой формуле изобретения, как предусмотрено применяемым законом.
- 15 Кроме того, любая комбинация описанных выше элементов во всех их возможных вариациях включена в настоящее изобретение, если в настоящем документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ, включающий:

- a. обработку потока синтез-газа, поступающего из процесса газификации, или промышленного отработанного газа путем адсорбции на адсорбенте компонента, включающего по меньшей мере одно соединение из углеводорода, кислородсодержащего соединения, соединения серы, соединения азота или любой их комбинации, и получение обработанного потока;
- b. ферментацию по меньшей мере части обработанного потока в биореакторе с применением микроорганизма с получением выходящего потока, содержащего по меньшей мере один продукт, и потока остаточного газа, содержащего по меньшей мере диоксид углерода;
- c. регенерацию адсорбента путем по меньшей мере частичной десорбции указанного компонента с применением по меньшей мере части потока остаточного газа с получением обогащенного потока остаточного газа, содержащего диоксид углерода и десорбированный компонент; и
- d. применение потока обогащенного остаточного газа в по меньшей мере одном процессе из:
 - i. сжигания в паровом котле с получением пара;
 - ii. выработки энергии;
 - iii. рециклинга в процесс газификации; или
 - iv. направления в зону выделения продукта.

2. Способ по п. 1, в котором остаточный газ дополнительно содержит метан, монооксид углерода и водород.

3. Способ по п. 1, в котором микроорганизм представляет собой один или более C1-фиксирующих микроорганизмов.

4. Способ по п. 3, в котором C1-фиксирующий микроорганизм выбран из *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*.

5. Способ по п. 1, в котором пар представляет собой пар высокого давления.

6. Способ по п. 1, дополнительно включающий применение пара для перегонки продуктов ферментации, работы адсорбционного охладителя, сжатия под действием пара, испарения сточных вод, сушки биомассы, операций с паром на месте, операций по очистке на месте, сушки исходного сырья, конвейеров для
5 исходного сырья, приводимых в действие паром, отопления зданий, выработки электроэнергии и генерирования электроэнергии для приведения в действие компрессора, применяемого в процессе ферментации.

7. Способ по п. 1, в котором промышленный отработанный газ поступает из процессов, выбранных из производства продуктов из черных металлов,
10 производства продуктов из цветных металлов, нефтепереработки, производства электроэнергии, производства углеродной сажи, производства бумаги и целлюлозы, производства аммиака, производства метанола, производства кокса и любой их комбинации, и/или поток синтез-газа получают в результате газификации угля, газификации остатков нефтеперерабатывающих заводов, газификации биомассы,
15 газификации лигноцеллюлозного материала, газификации черного щелока, газификации твердых бытовых отходов, газификации твердых промышленных отходов, газификации канализационных стоков, газификации осадка, полученного при обработке сточных вод, риформинга природного газа, риформинга биогаза, риформинга свалочного газа или любой их комбинация.

8. Способ по п. 1, в котором выработка энергии представляет собой комбинированное производство тепла и электроэнергии или прямое производство
20 электроэнергии.

9. Способ по п. 1, в котором поток остаточного газа по сравнению с потоком синтез-газа, поступающим из процесса газификации, или промышленным
25 отработанным газом

e. обогащен N_2 ;

f. обогащен CO_2 ;

g. обеднен примесями; или

h. характеризуется любой комбинацией (a), (b) или (c).

10. Способ по п. 9, в котором десорбция компонента с применением по меньшей мере части потока остаточного газа улучшена по сравнению с десорбцией компонента с применением потока синтез-газа.

11. Способ, включающий:

- i. газификацию исходного сырья для газификации с получением синтез-газа, содержащего по меньшей мере монооксид углерода, водород, воду и смолы;
- j. охлаждение синтез-газа для отделения воды и по меньшей мере одной смолы
5 путем конденсации и получения остатка синтез-газа, обедненного водой, и по меньшей мере одной смолы;
- k. утилизацию по меньшей мере одной смолы путем:
 - i. сжигания по меньшей мере одной смолы с применением пламени, полученного при сжигании топливного газа, природного газа, синтез-газа,
10 остаточного газа, поступающего из процесса газовой ферментации, или любой их комбинации; или
 - ii. подачи по меньшей мере одной смолы в процесс обработки сточных вод; и
- l. ферментацию по меньшей мере части остатка синтез-газа в биореакторе с применением микроорганизма с получением выходящего потока, содержащего
15 по меньшей мере один продукт.

12. Способ по п. 11, дополнительно включающий удаление по меньшей мере второй смолы из синтез-газа путем адсорбции с применением адсорбента.

13. Способ по п. 12, в котором в результате ферментации дополнительно образуется остаточный газ.

20 14. Способ по п. 13, дополнительно включающий регенерацию адсорбента с помощью остаточного газа.

15. Способ по п. 14, дополнительно включающий применение остаточного газа после регенерации адсорбента с получением пара.

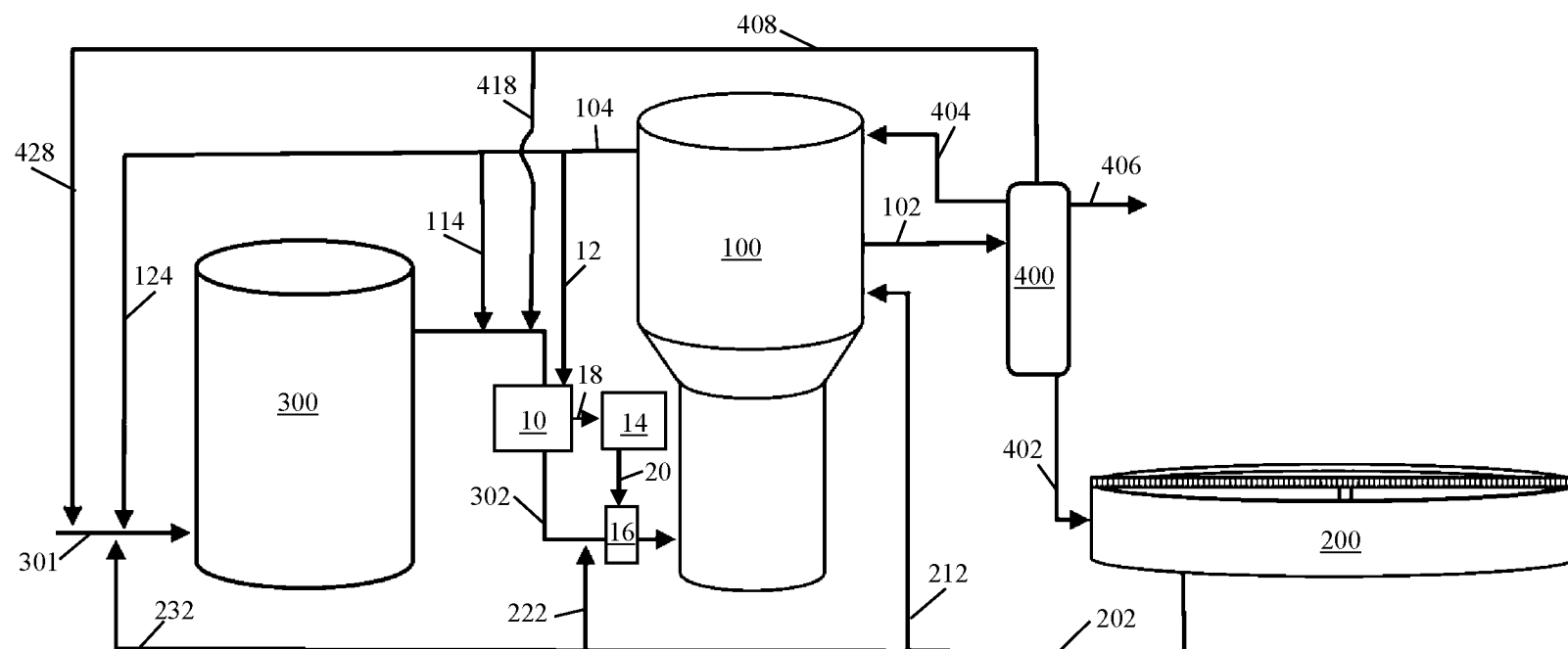
25 16. Способ по п. 15, дополнительно включающий применение пара для выработки электричества.

17. Способ по п. 16, дополнительно включающий применение электричества для приведения в действие компрессора, используемого на стадии ферментации.

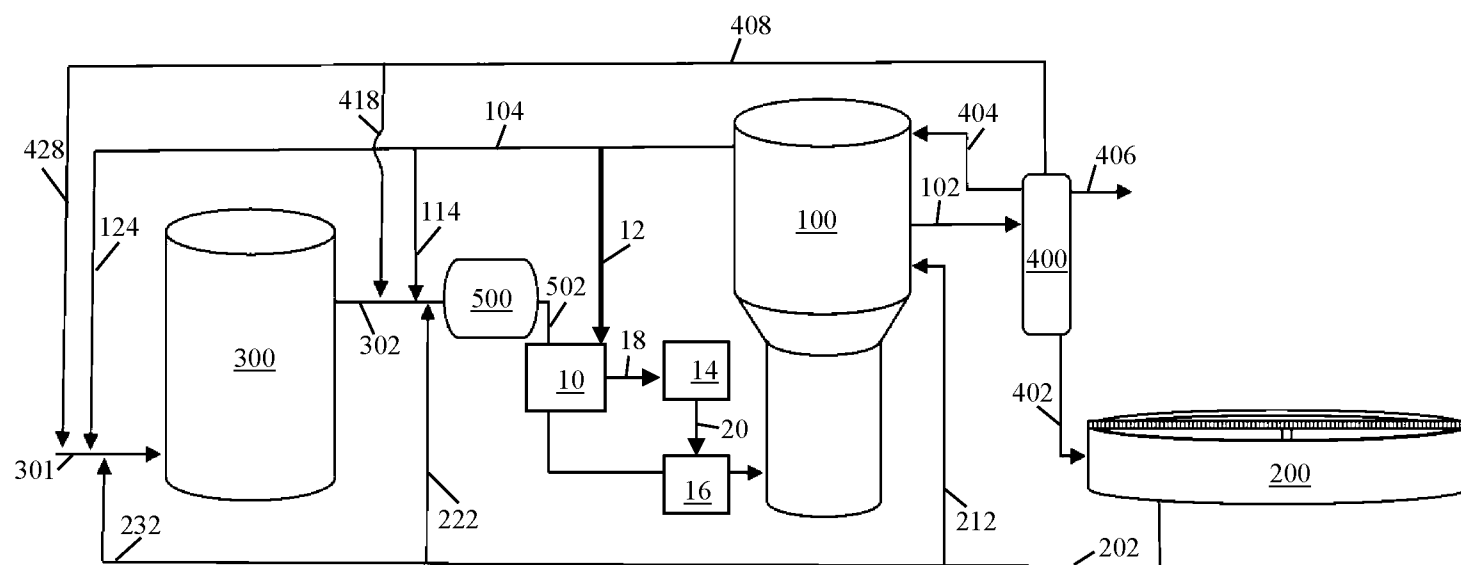
18. Устройство, содержащее:

30 m. адсорбционную установку, содержащую адсорбент;

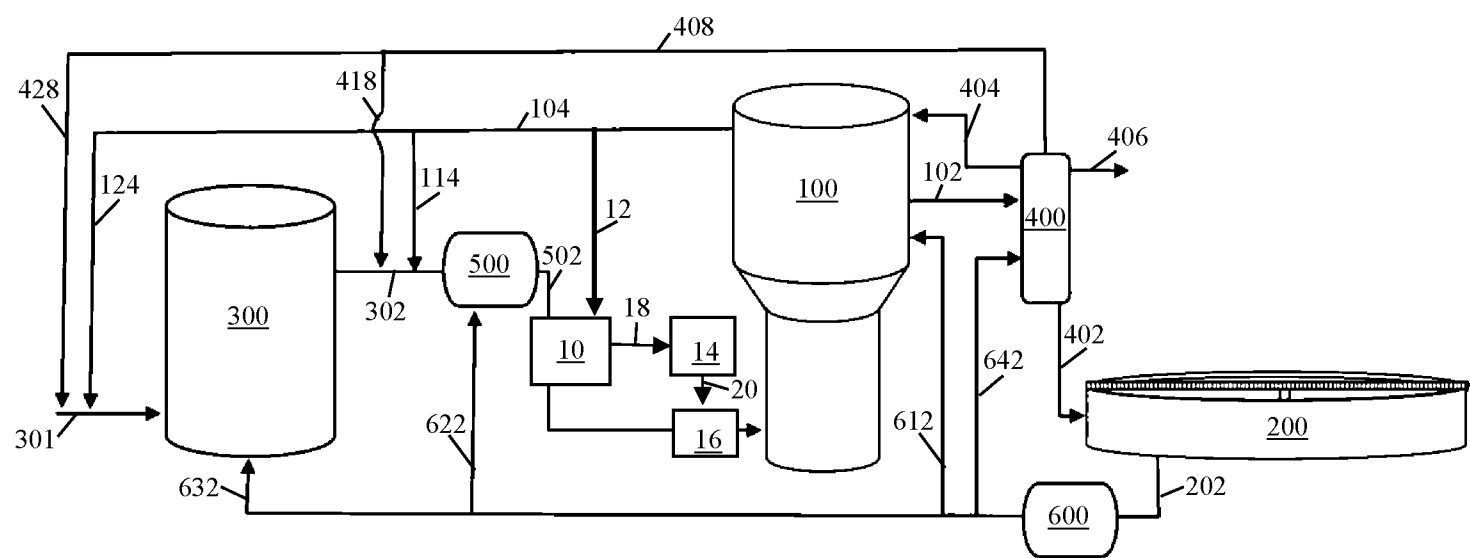
- n. биореактор, сообщающийся по текучей среде с адсорбционной установкой;
- о. трубопровод для остаточного газа, сообщающийся по текучей среде с биореактором и адсорбционной установкой;
- р. установку для утилизации обогащенного остаточного газа, включающую по
- 5 меньшей мере один компонент из
 - i. газификатора, сообщающегося по текучей среде с адсорбционной установкой;
 - ii. парогенерирующего блока;
 - iii. блока выработки электроэнергии; или
 - 10 iv. блок выделения продукта, сообщающийся по текучей среде с биореактором; и
- q. трубопровод для обогащенного остаточного газа, сообщающийся по текучей среде с адсорбционной установкой и блоком для утилизации обогащенного остаточного газа.
- 15 19. Устройство по п. 18, дополнительно содержащее паропровод, сообщающийся по текучей среде с парогенерирующим блоком и системой по производству электроэнергии.
- 20 20. Устройство по п. 19, дополнительно содержащее компрессор, сообщающийся посредством электрической связи с системой по производству электроэнергии и сообщающийся по текучей среде с биореактором.
- 21. Устройство по п. 18, в котором блок выработки электроэнергии представляет собой установку для комбинированного производства тепла и электроэнергии или установку для прямого производства электроэнергии.
- 22. Устройство по п. 18, дополнительно содержащее трубопровод для
- 25 исходного сырья, сообщающийся по текучей среде с адсорбционной установкой.



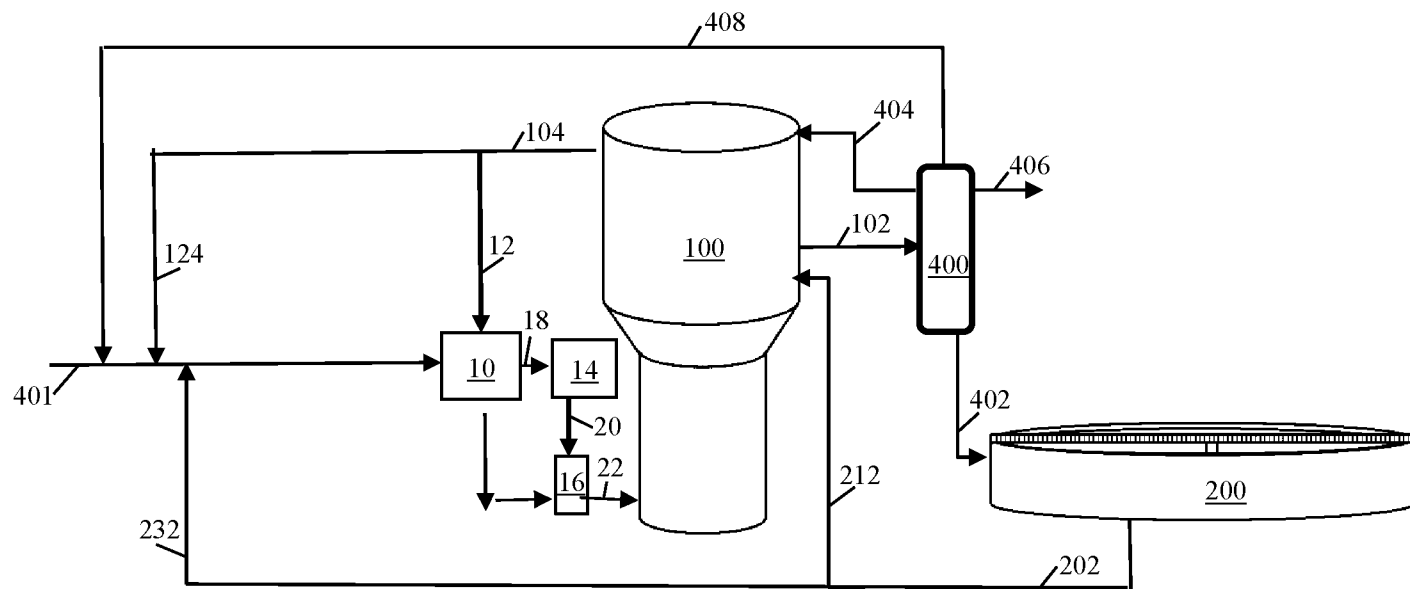
ФИГ. 1



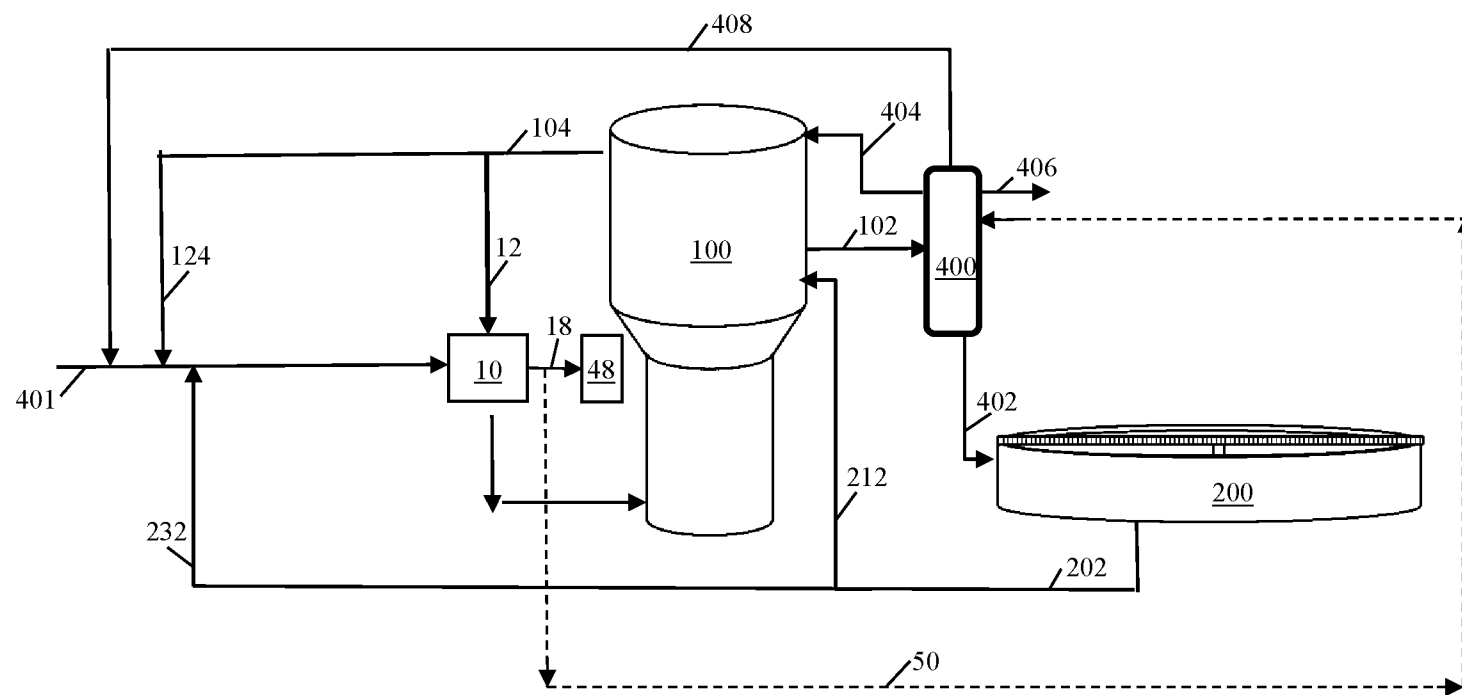
ФИГ. 2



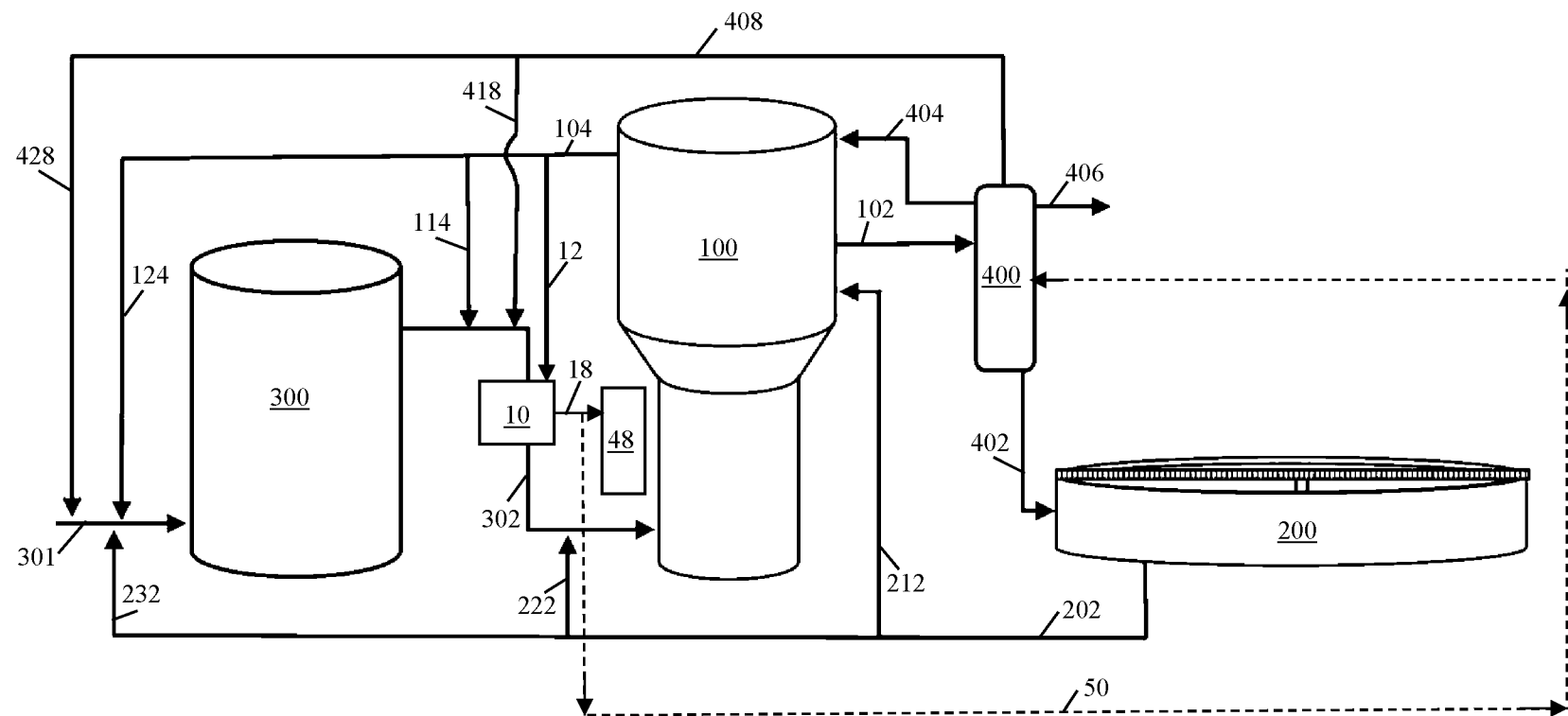
ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6