

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046101**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.02.06

(21) Номер заявки
202192868

(22) Дата подачи заявки
2017.02.01

(51) Int. Cl. **C12P 1/04** (2006.01)
C12P 7/06 (2006.01)
C12P 7/18 (2006.01)
C25B 1/00 (2006.01)

(54) **ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС ФЕРМЕНТАЦИИ И ЭЛЕКТРОЛИЗА**

(31) **62/289,900**

(32) **2016.02.01**

(33) **US**

(43) **2022.05.13**

(62) **201891657; 2017.02.01**

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

(72) Изобретатель:
**Симпсон Шон Деннис, Конрадо
Роберт Джон, Михалцеа Кристоф
Даниэль, Мартин Майкл Эмерсон
(US)**

(74) Представитель:
Хмара М.В. (RU)

(56) **US-A1-20150353965**

FU, QINGXI et al., "Syngas production via high-temperature steam/CO₂ co-electrolysis: an economic assessment", Energy and Environmental Science, 2010, Vol. 3, No. 10, pages 1382-1397, See abstract; pages 1383, 1385, 1387-1388; figs. 1. 4-5; tables 1-2

HANDLER, ROBERT M., et al., "Life cycle assessments of ethanol production via gas fermentation: anticipated greenhouse gas emissions for cellulosic and waste gas feedstocks", Industrial and Engineering Chemistry Research, E-pub. 2015, Vol. 55, Issue 12, pages 3253-3261, See the whole document

KAISER, PHILIPP et al., "Production of liquid hydrocarbons with CO₂ as carbon source based on reverse water gas shift and Fischer-Tropsch synthesis", Chemie Ingenieur Technik, 2013, Vol. 85, No. 4, pages 489-499, See the whole document
WO-A1-2006108532

(57) Изобретение обеспечивает подходы для интеграции процесса ферментации с процессом электролиза и производственным процессом, в результате которого вырабатывается C1. В частности, изобретение обеспечивает процесс использования продуктов электролиза, например H₂ и/или O₂, для повышения эффективности процесса по меньшей мере одного из: процесса ферментации или производственного процесса, в результате которого вырабатывается C1. Более конкретно, данное изобретение обеспечивает процесс, при котором H₂, полученный с помощью электролиза, используют для повышения эффективности субстрата для процесса ферментации, а O₂, полученный в результате процесса электролиза, используют для улучшения состава содержащего C1 остаточного газа, полученного в результате производственного процесса, в котором вырабатывается C1.

B1

046101

**046101
B1**

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Заявка на данное изобретение испрашивает приоритет согласно предварительной заявке на патент США № 62/289900, поданной 1 февраля 2016 г., содержание которой полностью включено в данный документ посредством ссылки.

Уровень техники

Диоксид углерода (CO_2) составляет около 76% глобальных выбросов парниковых газов от человеческой жизнедеятельности, с метаном (16%), оксидом одновалентного азота (6%) и фторированными газами (2%), которые учитывают как оставшуюся часть (согласно данным Агентства по охране окружающей среды США). Большая часть CO_2 выделяется от сжигаемых горючих полезных ископаемых для производства энергии, хотя производственная и лесохозяйственная деятельность также выделяет в атмосферу CO_2 . Сокращение выбросов парниковых газов, особенно CO_2 , имеет решающее значение для остановки прогрессирования глобального потепления и сопутствующих сдвигов в климате и погоде.

Уже давно известно, что для переработки газов, содержащих диоксид углерода (CO_2), монооксид углерода (CO) и/или водород (H_2), как, например, остаточный промышленный газ или синтетический газ, в различные виды топлива и химические вещества могут быть использованы каталитические процессы. Однако в последнее время альтернативной платформой для биологического связывания таких газов стала ферментация газа. В частности, для того, чтобы перерабатывать газы, содержащие CO_2 , CO и/или H_2 , в такие продукты, как этанол и 2,3-бутандиол, были представлены связывающие C1 микроорганизмы. Эффективное производство таких продуктов может быть ограничено, например, медленным ростом микроорганизмов, ограниченным поглощением газа, чувствительностью к токсинам или перенаправлением углеродных субстратов в нежелательные побочные продукты.

Уже давно известно, что для переработки газов, содержащих диоксид углерода (CO_2), монооксид углерода (CO) и/или водород (H_2), в различные виды топлива и химические вещества, могут быть использованы каталитические процессы, такие как процесс Фишера-Тропша. Однако в последнее время альтернативной платформой для биологического связывания таких газов стала ферментация газа. В частности, для того, чтобы перерабатывать газы, содержащие CO_2 , CO и/или H_2 , в такие продукты, как этанол и 2,3-бутандиол, были представлены анаэробные микроорганизмы, связывающие C1.

Такие газы могут быть получены, например, в результате промышленных технологических операций, которые включают в себя производство черных или цветных металлов, нефтепереработку, газификацию, производство электрической энергии, производство газовой сажи, производство аммиака, производство метанола и производство кокса. Однако для обеспечения достижения наивысшей эффективности при использовании в системах ферментации газа эти промышленные газы могут потребовать обработки или переработки состава. В частности, промышленные газы могут не иметь достаточного количества H_2 для обеспечения сетевой фиксации CO_2 путем ферментации газа и снижения выбросов CO_2 в атмосферу.

Интенсивные потоки водорода являются полезными для продуктов ферментации, которые имеют низкие энергетические потребности и где CO_2 можно использовать в качестве реагента, например, при производстве этанола.

Соответственно, существует потребность в улучшенной интеграции производственных процессов с системами ферментации газа, что включает в себя процессы обогащения содержания H_2 в промышленных газах, поступающих в системы ферментации газа.

Краткое описание сущности изобретения

Данное изобретение обеспечивает процесс улучшения улавливания углерода в комплексном ферментационном и производственном процессе, при этом способ включает в себя передачу одного или нескольких исходных материалов в процесс электролиза, результатом чего является полученный с помощью электролиза субстрат, смешивание по меньшей мере части полученного с помощью электролиза субстрата с остаточным газом, содержащим C1, полученным в результате производственного процесса, результатом чего является смешанный газообразный субстрат, содержащий C1, подача смешанного газообразного субстрата, содержащего C1, в биореактор, содержащий культуру по меньшей мере одной бактерии, связывающей C1, и ферментация культуры для получения по меньшей мере одного продукта ферментации. В предпочтительном варианте осуществления изобретения полученный в результате процесса электролиза субстрат содержит по меньшей мере один источник электронов и/или по меньшей мере один источник углерода.

Предпочтительно, когда полученный в результате процесса электролиза субстрат содержит CO или H_2 . Предпочтительно, когда полученный в результате процесса электролиза субстрат дополнительно содержит O_2 , при этом указанный O_2 используют для повышения эффективности производственного процесса. В одном варианте осуществления изобретения полученный в результате процесса электролиза субстрат содержит H_2 и O_2 , и он получен в результате процесса электролиза в водных растворах. В альтернативном варианте осуществления изобретения полученный в результате процесса электролиза субстрат содержит CO и O_2 , и он получен в результате процесса электролиза CO_2 . В одном варианте осуществления изобретения энергия, потребляемая для процесса электролиза, является возобновляемым источником энергии, выбранным из группы, состоящей из энергии ветра, энергии гидроэнергетики, солнечной энергии, ядерной энергии и геотермальной энергии.

Производственный процесс выбирают из группы, состоящей из процессов частичного окисления и процессов полного окисления. Типовые процессы частичного окисления включают в себя реакции Основного Кислородного Конвертера (BOF); процессы производства стали COREX или FINEX, процессы Доменной Печи (BF), ферросплавные процессы, процессы производства диоксида титана и процессы газификации. Процессы полного окисления включают в себя процессы производства природного газа, процессы производства электроэнергии, вырабатываемой на угольной электростанции и процессы производства цемента.

В некоторых вариантах осуществления изобретения часть остаточного газа, содержащего C1, смешивают с частью кислорода из блока электролиза для того, чтобы достичь насыщенности кислородом, необходимой для подачи в производственный процесс.

Продукт(ы) ферментации выбирают из группы, состоящей из этанола, ацетата, бутанола, бутирата, 2,3-бутандиола, лактата, бутена, бутадиена, метилэтилкетона, этилена, ацетона, изопропанола, липидов, 3-гидроксипропионата, изопрена, жирных кислот, 2-бутанола, 1,2-пропандиола и 1-пропанола.

Кроме того, данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс получения одного или нескольких продуктов, процесс включает в себя получение водорода путем электролиза, смешивание по меньшей мере части полученного потока водорода с газообразным потоком, содержащим по меньшей мере CO₂, подачу смешанного потока в биореактор, содержащий культуру по меньшей мере одной связывающей C1 бактерии, и ферментацию культуры для получения одного или нескольких продуктов.

Предпочтительно возобновляемый поток водорода получают путем электролиза в водных растворах. В некоторых вариантах осуществления изобретения процесс электролиза предоставляет O₂ в качестве побочного продукта. Предпочтительно газообразный поток, содержащий по меньшей мере CO₂, получают путем полного окисления. Примеры процессов полного окисления включают в себя, но не ограничиваются перечисленным, газовые электростанции, угольные электростанции и процессы производства цемента.

Кроме того, данное изобретение обеспечивает процесс получения одного или нескольких продуктов из газообразного субстрата, который содержит возобновляемый водород, при этом процесс включает в себя получение первого газообразного субстрата, содержащего возобновляемый водород, и второго газообразного субстрата, содержащего CO₂, подачу первой части водорода и первой части CO₂ в реактор обратной конверсии водяного газа, работающий в условиях для получения выходного потока, содержащего CO, смешивание второй части водорода, второй части CO₂ и выходного потока, содержащего CO, для получения смешанного, содержащего C1, субстрата, подачу смешанного, содержащего C1, субстрата в биореактор, содержащий культуру одной или более связывающих C1 бактерий, и ферментацию культуры для получения одного или нескольких продуктов. Предпочтительно, когда возобновляемый водород получают путем электролиза возобновляемого источника энергии. В одном варианте осуществления изобретения субстрат, содержащий CO₂, получают с помощью производственного процесса. В предпочтительном варианте осуществления изобретения производственный процесс представляет собой процесс производства цемента.

Кроме того, предусмотрена интегрированная система, включающая в себя зону производственного процесса, где получают C1, электролизер и зону ферментации, где связывают C1. Интегрированная система имеет преимущество в том, что производит ценный продукт, содержащий углерод, из C1 остаточного газа, сокращая выбросы CO₂. Предоставление электролизера для электролиза в водных растворах или диоксида углерода также снижает потребность в разделении воздуха альтернативными средствами, как, например, когда O₂, полученный в процессе электролиза, может заменить или дополнить O₂ до требований, предъявляемых производственным процессом.

В одном варианте осуществления изобретения интегрированная система дополнительно содержит зону смешивания, предназначенную для смешивания части полученного с помощью электролиза субстрата по меньшей мере с частью остаточного газа, содержащего C1, полученного из производственной зоны, производящей C1, для получения смешанного субстрата, содержащего C1. Интегрированная система дополнительно содержит трубопровод для подачи смешанного, содержащего C1, субстрата из зоны смешивания в зону ферментации, где связывают C1.

В одном варианте осуществления изобретения энергию для электролизера обеспечивают зоной производства возобновляемой энергии. Зоны производства возобновляемой энергии могут включать в себя по меньшей мере одну технологию, выбранную из группы, состоящей из: энергии ветра, энергии гидроэнергетики, солнечной энергии, ядерной энергии и геотермальной энергии.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 показана схема интеграции процессов, изображающая интеграцию процесса Основного Кислородного Конвертера с процессом ферментации.

На фиг. 2 показана схема интеграции процессов, изображающая интеграцию процесса Основного Кислородного Конвертера с процессом ферментации и процессом электролиза в водных растворах, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

На фиг. 3 показана схема интеграции процессов, изображающая интеграцию процесса производства цемента с процессом ферментации и процесса получения диоксида углерода электролизом, в соответст-

вии с одним аспектом данного изобретения.

На фиг. 4 показан схематический процесс интеграции процесса производства цемента с процессом электролиза и процессом ферментации газа.

Подробное описание сущности изобретения

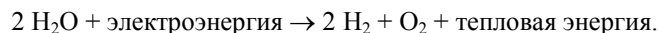
Изобретатели установили, что интеграция производственного процесса, в результате которого вырабатывается С1, с процессом ферментации, при котором связывается С1, и процессом электролиза обеспечивает существенные преимущества производственному процессу, в результате которого вырабатывается С1, и процессу ферментации, при котором связывается С1.

"Производственный процесс, в результате которого вырабатывается С1", представляет собой производственный процесс, который создает по меньшей мере один газ, содержащий С1, в процессе своего функционирования. Производственный процесс, в результате которого вырабатывается С1, предусматривает включение в себя любого производственного процесса, который создает содержащий С1 газ в качестве либо желаемого конечного продукта, либо как побочный продукт при получении одного или нескольких желаемых конечных продуктов. Типовые производственные процессы, в результате которых вырабатывается С1, включают в себя, но не ограничиваются перечисленными, процесс производства стали, включая процессы Основного Кислородного Конвертера (BOF); процессы COREX или FINEX производства стали, процессы Доменной Печи (BF) и процессы Газа Коксовой Печи, процессы газификации, которые включают в себя газификацию твердых бытовых отходов, газификацию биомассы, газификацию лигнина и связанных с ним потоков, газификацию нефтяного кокса и газификацию угля, процессы производства диоксида титана, процессы производства цемента, процессы производства природного газа и процессы производства электроэнергии, вырабатываемой на угольных электростанциях.

Предполагается, что "желаемый конечный продукт" включает в себя основной или целевой продукт производственного процесса. Например, желаемым конечным продуктом процесса производства стали является продукт из стали, а содержащий С1 газ вырабатывается в качестве побочного продукта, однако в процессе газификации ТБО синтетический газ, содержащий С1 газ, является желаемым конечным продуктом процесса газификации.

Водород является особенно подходящим источником энергии для процессов ферментации. Изобретатели нашли ряд синергетических преимуществ для интеграции процессов электролиза, в результате которых вырабатывается водород, как с производственным процессом, в результате которого вырабатывается С1, так и с процессом ферментации, при котором связывается С1. В частности, изобретатели обнаружили, что процесс электролиза может быть соединен с производственным процессом, в результате которого вырабатывается С1, для того, чтобы улучшить состав содержащих С1 газов, образующихся в результате производственного процесса.

Водород может быть получен с помощью процесса электролиза, определяемого следующей стехиометрической реакцией:



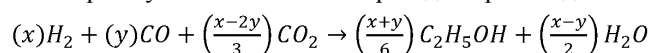
Технологии электролиза в водных растворах известны в данной области техники. Типовые процессы включают в себя электролиз воды в щелочной среде, электролиз при помощи протонно-обменной мембраны (PEM) и электролиз при помощи твердого оксида. Подходящие электролизеры включают в себя щелочные электролизеры, PEM электролизеры и твердооксидные электролизеры (Ursua et al., "Hydrogen Production From Water Electrolysis: Current Status and Future Trends", опубликовано в Proceedings of the IEEE, 100(2):410-426, Feb 2012). Водород, полученный в результате процесса электролиза, может быть использован в качестве исходного материала для ферментации газа, если он подается в сочетании с производственными остаточными газами, содержащими подходящий источник углерода, например по меньшей мере один содержащий С1 газ, такой как монооксид углерода (CO) и/или диоксид углерода (CO₂).

Кроме того, считается, что полученный водород можно смешивать с потоком производственного газа, содержащим по меньшей мере часть водорода, в качестве средства для подачи дополнительного исходного материала и для улучшения состава субстрата. Для обеспечения желаемого или оптимального соотношения H₂:CO:CO₂ состав субстрата может быть улучшен. Желаемое соотношение H₂:CO:CO₂ зависит от желаемого продукта ферментации процесса ферментации. Для этанола оптимальное соотношение H₂:CO:CO₂ будет:

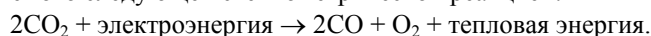
$$(x):(y):\left(\frac{x-2y}{3}\right)$$

где $x > 2y$,

для того, чтобы удовлетворить условиям стехиометрии для производства этанола



В качестве альтернативы монооксид углерода и кислород могут быть получены с помощью процесса электролиза, определяемого следующей стехиометрической реакцией:



Монооксид углерода, полученный в результате процесса электролиза, может быть использован в

качестве исходного материала для ферментации газа. Кроме того, считается, что полученный СО можно смешивать с производственным потоком газа в качестве средства для подачи дополнительного исходного материала.

Известны процессы электролиза и электролизеры сокращения выбросов CO_2 . Использование различных катализаторов для сокращения выбросов CO_2 влияет на конечный продукт. Продемонстрировано, что катализаторы, включающие в себя Au, Ag, Zn, Pd и Ga-катализаторы, являются эффективными для получения СО из CO_2 . Для электролиза в водных растворах могут использоваться стандартные электролизеры, как например те, что описаны выше. (Jhong et al., "Electrochemical conversion of CO_2 to useful chemicals: current status, remaining challenges, and future opportunities", опубликовано в: Science Direct; Current Opinion in Chemical Engineering, 2013, 2:191-199).

Неожиданно изобретатели обнаружили, что побочный продукт O_2 описанных выше процессов электролиза обеспечивает дополнительное преимущество при использовании производственного газа для ферментации. Хотя процессы ферментации в соответствии с данным изобретением являются анаэробными процессами, изобретатели выяснили, что побочный продукт O_2 , как процесса получения водорода, так и процесса получения СО, может быть использован в производственном процессе, в ходе которого вырабатывается С1 и в результате которого получают содержащий С1 остаточный газ. Побочный продукт O_2 с высокой степенью чистоты, полученный в результате процесса электролиза, может быть интегрирован с производственным процессом и выгодно компенсировать затраты, а в некоторых случаях иметь синергетический эффект, что еще больше снижает затраты как на производственный процесс, так и на последующую ферментацию газа.

Как правило, описанные в данном документе производственные процессы обеспечивают необходимый кислород путем разделения воздуха. Производство кислорода путем разделения воздуха является энергоемким процессом, который включает криогенное отделение O_2 от N_2 для достижения наивысшей чистоты.

Совместное производство O_2 путем электролиза и замещение O_2 , производимого путем разделения воздуха, может компенсировать до 5% затрат на электроэнергию в производственном процессе. Например, процесс электролиза может потреблять 224 кВт·ч/кмоль O_2 исходя из потребления электроэнергии 5 кВт·ч/Н·м³ произведенного H_2 . Это сопоставимо с современными блоками разделения воздуха, которые потребляют 300 кВт·ч на 1 т произведенного O_2 с высокой степенью чистоты, 9,6 кВт·ч/кмоль произведенного O_2 . Кроме того, обеспечение источника O_2 с высокой степенью чистоты обогащает остаточный газ, содержащий С1, полученный в результате производственного процесса, тем самым предоставляя для ферментации более эффективный субстрат, содержащий С1. Например, типовой остаточный газ BOF содержит приблизительно 20% азота (типовой состав остаточного газа BOF составляет 60% СО, 20% CO_2 , 20% N_2). N_2 в потоке BOF является результатом подачи O_2 в процесс BOF, который обычно составляет 94% O_2 и 6% N_2 . В случае, когда образуется 100000 Н·м³/ч газа BOF, и поток BOF обеспечивается достаточным количеством H_2 для полного улавливания углерода (около 180000 Н·м³/ч H_2), указанный водород получают с помощью электролиза в водных растворах, доступный в результате процесса электролиза O_2 , когда он подается в процесс BOF для вытеснения типового исходного материала - 94% O_2 /6% N_2 - приводит к уменьшению состава N_2 в полученном в результате газе BOF приблизительно на 57%. В некоторых вариантах осуществления изобретения предлагается процесс снижения концентрации азота в содержащем С1 остаточном газе, процесс включает в себя замещение типового исходного материала O_2 BOF процесса потоком O_2 высокой чистоты, полученным в результате процесса электролиза в водных растворах. В некоторых вариантах осуществления изобретения концентрация азота в содержащем С1 остаточном газе снижается по меньшей мере на 20%, или по меньшей мере на 30%, или по меньшей мере на 40%, или по меньшей мере на 50%, или по меньшей мере на 55% по сравнению с процессом, где типовой исходный материал O_2 не замещается.

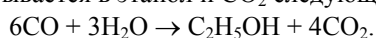
Ряд производственных процессов, в результате которых вырабатывается С1, включающие реакции частичного окисления, требует подвода O_2 . Типовые производственные процессы включают в себя реакции Основного Кислородного Конвертера (BOF); процессы COREX или FINEX производства стали, процессы Доменной Печи (BF), ферросплавные процессы, процессы производства диоксида титана и процессы газификации. Процессы газификации включают в себя, но не ограничиваются перечисленными, газификацию твердых бытовых отходов, газификацию биомассы, газификацию нефтяного кокса и газификацию угля, газификацию лигнина и связанных с ним потоков, процессы производства диоксида титана, процессы производства цемента, процессы производства природного газа и процессы производства электроэнергии, вырабатываемой на угольных электростанциях.

Например, интеграция Основного Кислородного Конвертера (BOF) с блоком ферментации и установкой для электролиза обеспечивает ряд синергетических преимуществ. Типовая интеграция BOF и ферментации включает использование остаточного газа, содержащего С1, полученного в результате BOF процесса в то время как исходный материал ферментации использует микроорганизм, связывающий С1.

На фиг. 1 показана типовая интеграция BOF процесса с ферментацией, использующей С1. Воздух 10 подают в блок 14 разделения воздуха, например блок криогенной дистилляции или PSA, и воздух от-

деляют для обеспечения потока O_2 и потока N_2 . Поток N_2 удаляют из блока разделения через трубопровод 16. По трубопроводу 18 O_2 подают в блок 22 BOF. Блок BOF получает расплавленный доменный чугун 20 (который обычно получают из Доменной Печи) и O_2 . Обработка горячего металла O_2 приводит к высвобождению CO и CO_2 из углерода в горячем металле. Желаемый конечный продукт BOF процесса извлекается по трубопроводу 24. Получаемый в результате газовый поток, содержащий CO и CO_2 , проходит из блока 22 BOF через трубопровод 26 в блок 28 обработки газа, где газ подвергается по меньшей мере одному процессу обработки для удаления из газа любых нежелательных примесей. Газообразный субстрат, содержащий C1, который выходит из блока 28 обработки газа, подается в биореактор 32 через трубопровод 30. Биореактор 32 содержит культуру по меньшей мере одного связывающего C1 микроорганизма в жидкой питательной среде. Бактерии, связывающие C1, используют как источник углерода по меньшей мере один компонент C1 в содержащем C1 субстрате и производят один или несколько продуктов ферментации. Один или несколько продуктов ферментации извлекаются из ферментационной среды по трубопроводу 36. Отходящий газ, содержащий CO_2 и непрореагировавший CO, выходит из биореактора 32 в качестве отходящего газа через вентиляционный трубопровод 34. Типовой отходящий газ BOF процесса содержит CO, CO_2 и азот, с минимальным количеством водорода. Типовой состав потока отходящего газа BOF составляет 50-70% CO, 15-25% CO_2 , 15-25% N_2 и 0-5-3% H_2 .

При отсутствии достаточного количества H_2 в содержащем C1 субстрате CO, используемое связывающими C1 бактериями, перерабатывается в этанол и CO_2 следующим образом:



Перед интеграцией процессов BOF с процессами ферментации выходной пар, полученный в результате BOF процесса, обычно используют для выработки электроэнергии. Стехиометрия реакции выработки электроэнергии: $6CO \rightarrow 6CO_2 + \text{электроэнергия}$. Объединение с блоком ферментации газа может снизить общие выбросы CO_2 на 33% (по сравнению с процессами BOF с выработкой электроэнергии).

Данное изобретение обеспечивает процессы повышения эффективности, за счет интеграции производственного процесса, в результате которого вырабатывается C1, и ферментации. В частности, данное изобретение обеспечивает процессы и системы для существенного уменьшения общего количества CO_2 , выделяемого из интегрированного производства.

Продукты электролиза (например, водород, монооксид углерода и кислород) также могут быть использованы для повышения общей эффективности интеграции производственных процессов и процессов ферментации газа, например в производственных процессах, где содержащий C1 остаточный газ подходит для использования в качестве ферментационного субстрата, а дальнейшая оптимизация субстрата путем смешивания с водородом или монооксидом углерода может улучшить использование углерода для ферментации в полном объеме. Эффективность может быть улучшена за счет (i) использования водорода для улучшения состава ферментационного субстрата; (ii) использования монооксида углерода для улучшения состава ферментационного субстрата; (iii) использования кислорода, полученного в результате процесса электролиза, для компенсации потребностей в кислороде производственного процесса; (iv) рециркуляции CO_2 , полученного в результате процесса ферментации потока отходящего газа, в электролизер CO_2 для производства дополнительного CO и дальнейшего снижения выбросов CO_2 или (v) сочетания вышеуказанного.

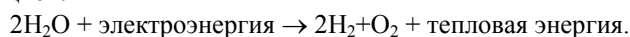
Для улучшения состава ферментационного субстрата можно использовать водород. Водород обеспечивает энергию, необходимую микроорганизмам для превращения газов, содержащих углерод, в полезные продукты. Когда обеспечены оптимальные концентрации водорода, микробиологическая культура способна продуцировать желаемые продукты ферментации (т.е. этанол) без какого-либо совместного производства диоксида углерода.

Монооксид углерода, образующийся с помощью электролиза CO_2 , может быть использован для улучшения состава ферментационного субстрата и может обогащать содержание CO в производственном остаточном газе, используемом в качестве ферментационного субстрата. Кроме того, любой CO_2 , образующийся в результате процесса ферментации, может быть рециркулирован в качестве исходного материала для электролизера CO_2 , тем самым дополнительно уменьшая выбросы CO_2 и увеличивая количество углерода, поглощенного в жидких продуктах ферментации.

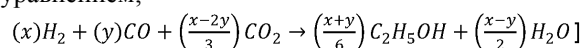
В ряде таких производственных процессов кислород поступает из воздуха. В процессах частичного окисления, таких как процессы Основного Кислородного Конвертера (BOF); процессы COREX или FINEX производства стали, процессы Доменной Печи (BF), процессы производства диоксида титана, процессы производства ферросплавов и процессы газификации, O_2 обычно получают из воздуха с использованием процесса разделения воздуха (например, криогенной дистилляции или разделения PSA). В соответствии с данным изобретением O_2 , полученный в результате процесса электролиза, может уменьшить или заменить нужное количество для разделения воздуха.

Фиг. 2 представляет собой схематическое изображение интегрированных систем и процесса в соответствии с одним аспектом данного изобретения. Установка 210 для электролиза получает возобновляемую энергию и воду. Типовые источники возобновляемой энергии включают в себя, но не ограничиваются перечисленным, ветроэнергетику, гидроэнергетику, солнечную энергию, геотермальную

энергию, ядерную энергию и их комбинации. Энергия и вода производят водород и кислород в соответствии со следующей реакцией:



O_2 , полученный установкой 210 для электролиза, подается в блок 222 BOF через трубопровод 218. Блок 222 BOF также принимает расплавленный доменный чугун через трубопровод 220 (как правило, расплавленный доменный чугун получают в результате процесса Доменной Печи). O_2 пропускают через расплавленный доменный чугун для получения стали и отходящего газа, содержащего CO и CO_2 . Отходящий газ пропускают по трубопроводу 226 в блок 228 обработки газа, блок 228 обработки газа содержит по меньшей мере один модуль обработки газа для удаления из газового потока одной или нескольких нежелательных примесей. Содержащий C1 субстрат, который выходит из блока 228 обработки газа, подается в биореактор 232 через трубопровод 230. В соответствии с одним аспектом данного изобретения водород, полученный в установке 210 для электролиза, подают либо в биореактор, либо в необязательные смешивающие средства по трубопроводу 238. В предпочтительном варианте осуществления изобретения H_2 смешивают с содержащим C1 субстратом до того, как содержащий C1 субстрат подают в биореактор 230. Биореактор функционирует в условиях получения по меньшей мере одного продукта ферментации в результате ферментации содержащего C1 субстрата культурой связывающих C1 бактерий. Продукты ферментации могут быть получены через трубопровод 236. Система и процесс, показанные на фиг. 2, могут дополнительно включать в себя смешивающие средства (не показаны) для смешивания содержащего C1 субстрата и потока водорода, полученного в результате процесса электролиза. Обогащенный водородом содержащий C1 субстрат подается в биореактор 232. Состав обогащенного водородом содержащего C1 субстрата и количества произведенного продукта может быть в общем случае определен следующим уравнением;



где $x > 2y$,
для потребления CO_2 .

В некоторых случаях CO_2 может присутствовать сверх стехиометрического количества $\left(\frac{x-2y}{3}\right)$.

Данное изобретение, описанное на фиг. 2, может быть применено к ряду других производственных процессов, которые включают в себя процесс частичного окисления. Ниже приведены примеры типового объединения.

Доменная печь (BF) и ее Газовое Снабжение и Газовые Продукты: H_2 , полученные в результате процесса электролиза, объединяются с остаточным газом Доменной Печи для регулирования соотношения $\text{H}_2:\text{CO}:\text{CO}_2$ в содержащем C1 субстрате. Получаемый в результате содержащий C1 субстрат подается в процесс ферментации для того, чтобы получить этанол или другие химические вещества. O_2 , полученный в результате процесса электролиза, используется для подачи требуемого количества кислорода в Доменную Печь. O_2 , полученный в результате процесса электролиза, будет достаточным для удовлетворения требуемого Доменной Печью количества кислорода, а минимизация N_2 (от обогащения исходного материала O_2) позволит производить обогащенные C1 BF газы. Обогащенные C1 BF газы будут иметь преимущества для снижения стоимости ферментации этого комбинированного газового потока.

Газифицированные Исходные Материалы и их Газовое Снабжение и Газовые Продукты: H_2 , полученный в результате процесса электролиза, можно объединять с газами, полученными при газификации биомассы/твердых бытовых отходов (ТБО)/DSW/нефтяного кокса/угля/тяжелого нефтяного топлива/нефти/твердого топлива для корректировки соотношения $\text{H}_2:\text{CO}:\text{CO}_2$ в содержащем C1 субстрате. Получаемый в результате содержащий C1 субстрат подается в процесс ферментации для того, чтобы получить этанол или другие продукты. O_2 , полученный в результате процесса электролиза, может использоваться для подачи требуемого количества кислорода в газификатор, чтобы обеспечить получение синтетического газа с низким содержанием азота.

COREX/FINEX Сталеплавильные Производства и их Газовое Снабжение и Газовые Продукты: H_2 , полученный в результате процесса электролиза, можно объединять с остаточными газами COREX/FINEX для регулирования отношения $\text{H}_2:\text{CO}:\text{CO}_2$ содержащего C1 субстрата. Получаемый в результате содержащий C1 субстрат подается в процесс ферментации для того, чтобы получить этанол или другие продукты. O_2 , полученный в результате процесса электролиза, может использоваться для подачи требуемого количества кислорода в блок COREX.

Диоксид Титана и его Газовое Снабжение и Газовые Продукты: H_2 , полученный в результате процесса электролиза, можно объединять с остаточными газами процесса производства диоксида титана, чтобы регулировать соотношение $\text{H}_2:\text{CO}:\text{CO}_2$ содержащего C1 субстрата. Получаемый в результате содержащий C1 субстрат подается в процесс ферментации для того, чтобы получить этанол или другие продукты. O_2 , полученный в результате процесса электролиза, может быть использован для подачи требуемого количества кислорода в установку для производства диоксида титана.

В одном аспекте данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс получения одного или нескольких продуктов, процесс включает в себя получение водорода путем электролиза, смешивание по

меньшей мере части полученного водорода с газообразным потоком, содержащим по меньшей мере один C1 газ для получения смешанного газообразного потока, подачу смешанного газообразного потока в биореактор, содержащий культуру по меньшей мере одной связывающей C1 бактерии, и ферментацию культуры для получения одного или нескольких продуктов ферментации. В некоторых вариантах осуществления изобретения процесс ферментации дополнительно создает поток отходящего газа, содержащий CO₂.

В одном варианте осуществления изобретения данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс, включающий в себя: получение H₂ и O₂ с помощью электролиза в водных растворах с использованием возобновляемого источника энергии; предоставление по меньшей мере части полученного O₂ производственному процессу, в результате которого вырабатывается C1; обеспечение функционирования производственного процесса, в результате которого вырабатывается C1, в условиях генерации остаточного газа, содержащего по меньшей мере один компонент C1, смешивающий по меньшей мере части остаточного газа, содержащего по меньшей мере один компонент C1, по меньшей мере с частью полученного водорода для получения газообразного содержащего C1 субстрата; подачу газообразного содержащего C1 субстрата в биореактор, содержащий культуру связывающих C1 бактерий; и ферментацию газообразного содержащего C1 субстрата для того, чтобы получить по меньшей мере один продукт ферментации.

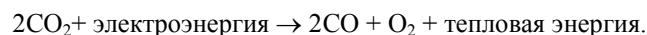
В одном варианте осуществления изобретения данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс, включающий в себя: получение H₂ и O₂ с помощью электролиза в водных растворах с использованием возобновляемого источника энергии; предоставление по меньшей мере части полученного O₂ в процесс частичного окисления, генерирование содержащего C1 остаточного газа с помощью частичного окисления, смешивание по меньшей мере части содержащего C1 остаточного газа, по меньшей мере с частью полученного H₂, чтобы получить содержащий C1 субстрат, подачу содержащего C1 субстрата в биореактор, содержащий культуру связывающих C1 бактерий, и ферментацию содержащего C1 субстрата для того, чтобы получить по меньшей мере один продукт ферментации.

В некоторых случаях газовые составы содержащих C1 газов не являются идеальными для процесса ферментации в соответствии с данным изобретением. Из-за геологических ограничений, отсутствия доступных источников водорода или стоимостных факторов использование газов для процессов ферментации не представляется возможным. При использовании возобновляемого водорода (например, водорода, полученного в результате процесса электролиза) ряд этих ограничений может быть уменьшен или устранен. Кроме того, смешивание содержащего C1 газа с возобновляемым потоком водорода обеспечивает энергетически улучшенный смешанный поток субстрата.

Были идентифицированы ряд производственных процессов, в результате которых вырабатываются содержащие C1 газы, которые не являются идеальными для процессов ферментации C1, описанных в данном документе, и которые включают в себя процессы производства цемента, электростанции на природном газе, процессы рафинадного производства и процессы биореактора ферментации этанола. Процесс производства цемента, как правило, создает потоки отходящего газа, насыщенного CO₂. CO₂ может быть использован связывающими C1 микроорганизмами, однако для обеспечения энергии, необходимой для связывания CO₂ в продуктах, необходим водород.

Интеграция процесса полного окисления, такого как процесс производства цемента, с электролизом CO₂ и процессом ферментации, при котором связывается C1, обеспечивает ряд синергетических преимуществ, которые включают в себя (i) обеспечение механизма преобразования CO₂ в CO, который является энергетически предпочтительным ферментационным субстратом; (ii) O₂, полученный в результате процесса электролиза, замещает подачу воздуха в процесс производства цемента и увеличивает состав CO₂ в отходящем газе процесса производства цемента; (iii) CO₂, полученный в результате процесса ферментации, может быть рециркулирован в электролизер CO₂ и преобразован в CO субстрат для ферментации, тем самым дополнительно уменьшая выбросы CO₂ в результате объединенных процессов.

Фиг. 3 представляет собой схематическое изображение интегрированных систем и процесса в соответствии с одним аспектом данного изобретения. Электролизный блок 310 получает энергию и диоксид углерода. Типовые источники возобновляемой энергии включают в себя, но не ограничиваются перечисленным: ветроэнергетику, гидроэнергетику, солнечную энергию, геотермальную энергию, ядерную энергию и их комбинации. Энергия и CO₂ производят монооксид углерода и O₂ в соответствии со следующей реакцией:



O₂, полученный электролизером 310, подается в блок 322 производства цемента по трубопроводу 318, для того чтобы заместить необходимое в процессе производства цемента количество воздуха. Остаточный газ, содержащий CO₂, подают по трубопроводу 326 в блок 328 обработки газа. Блок 328 обработки газа содержит по меньшей мере один модуль обработки газа для удаления из газового потока одной или нескольких нежелательных примесей. Содержащий C1 субстрат, который выходит из блока 328 обработки газа, подается в электролизер 310 через трубопровод 330. В соответствии с одним аспектом данного изобретения монооксид углерода, полученный в электролизере 310, подают в биореактор 332 по трубопроводу 338. В некоторых вариантах осуществления изобретения водород может

быть подан в биореактор или смешан с потоком CO до того, как поток CO будет подан в биореактор. Биореактор функционирует в условиях получения по меньшей мере одного продукта ферментации в результате ферментации содержащего C1 субстрата культурой связывающих C1 бактерий. Продукты ферментации могут быть получены через трубопровод 336. Процесс ферментации дополнительно создает поток отходящего газа, содержащий CO₂. В предпочтительных вариантах осуществления изобретения по меньшей мере часть CO₂ в потоке отходящего газа подается в электролизер CO₂ по трубопроводу 340 в качестве исходного материала для процесса электролиза CO₂.

В другом аспекте данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс, который включает в себя получение CO и O₂ в результате электролиза диоксида углерода, предоставление по меньшей мере части полученного O₂ производственному процессу, в результате которого вырабатывается C1, обеспечение функционирования производственного процесса, в результате которого вырабатывается C1, в условиях генерации остаточного газа, содержащего по меньшей мере один компонент C1, смешивание по меньшей мере части полученного CO с компонентом C1 остаточного газа для получения смешанного содержащего C1 субстрата, подачу смешанного содержащего C1 субстрата в биореактор, содержащий культуру связывающих C1 бактерий и ферментацию смешанного содержащего C1 субстрата для того, чтобы получить по меньшей мере один продукт ферментации.

В одном варианте осуществления изобретения данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс, который включает в себя получение CO и O₂ с помощью электролиза диоксида углерода, предоставление по меньшей мере части полученного O₂ в процесс частичного окисления, получение содержащего C1 остаточного газа, путем частичного окисления, смешение по меньшей мере части полученного CO с по меньшей мере частью содержащего C1 остаточного газа для получения смешанного содержащего C1 субстрата, подачу смешанного содержащего C1 субстрата в биореактор, содержащий культуру связывающих C1 бактерий и ферментацию содержащего C1 субстрата для того, чтобы получить по меньшей мере один продукт ферментации.

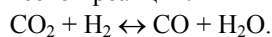
Процесс частичного окисления представляет собой производственный процесс, содержащий реакцию частичного окисления. Процесс частичного окисления выбирают из группы, состоящей из: реакции Основного кислородного конвертера (BOF), процесса производства стали COREX или FINEX, процесса Доменной Печи (BF), процесса производства ферросплавов; процесса производства диоксида титана и процессов газификации. Процесс газификации выбирают из группы, состоящей из: процесса газификации твердых бытовых отходов, процесса газификации биомассы, процесса газификации нефтяного кокса и процесса газификации угля. В предпочтительном варианте осуществления изобретения процесс частичного окисления представляет собой процесс BOF.

Содержащий C1 остаточный газ содержит по меньшей мере один компонент C1. Компонент C1 в содержащем C1 остаточном газе выбран из группы, включающей в себя монооксид углерода, диоксид углерода, метан и их комбинации. Содержащий C1 остаточный газ может дополнительно содержать один или несколько не-C1 компонентов, таких как азот и водород. Содержащий C1 остаточный газ может дополнительно содержать токсичные компоненты или компоненты нежелательных примесей, полученные в результате производственного процесса. В предпочтительном варианте осуществления изобретения содержащий C1 остаточный газ подают в блок для обработки газа для удаления по меньшей мере одной нежелательной примеси или не-C1 компонента, чтобы получить очищенный содержащий C1 остаточный газ перед тем, как его направляют в биореактор.

В альтернативном варианте осуществления данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс, который включает в себя получение CO и O₂ с помощью электролиза CO₂, предоставление по меньшей мере части полученного O₂ в процесс полного окисления, генерирование содержащего CO₂ остаточного газа путем полного окисления, подачу по меньшей мере части содержащего CO₂ остаточного газа в процесс электролиза в качестве исходного материала; подачу по меньшей мере части полученного CO в биореактор, содержащий культуру связывающих C1 бактерий и ферментацию CO для того, чтобы получить по меньшей мере один продукт ферментации и потока остаточного газа биореактора, содержащий CO₂. Предпочтительно, когда по меньшей мере часть потока остаточного газа биореактора, который содержит CO₂, рециркулируют в процесс электролиза CO₂.

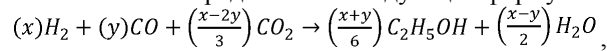
Интеграция процесса производства цемента с процессом электролиза в водных растворах позволяет получить энергетически улучшенный газообразный субстрат. Интеграция имеет два преимущества: (i) замещение подачи воздуха в процесс производства цемента с помощью O₂, полученного в результате процесса электролиза, увеличивает состав CO₂ в отходящем газе процесса производства цемента и (ii) смешивание водорода, полученного в результате процесса электролиза, с газом, насыщенным CO₂, обеспечивает поток газа CO₂ и H₂, подходящий для процессов ферментации.

В конкретных аспектах данного изобретения по меньшей мере первая часть CO₂, полученного в результате процесса производства цемента, и первая часть водорода, полученного в результате процесса электролиза, могут быть предоставлены для процесса конверсии водяного газа (RWGS), чтобы получить CO в результате следующей стехиометрической реакции:



CO, полученный в результате RWGS, может быть смешан со второй частью CO₂, полученного из

потока производственного газа, и второй частью полученного водорода, чтобы обеспечить ферментационный субстрат с желаемым составом. Желаемый состав ферментационного субстрата будет варьироваться в зависимости от желаемого продукта ферментации реакции ферментации. Например, для производства этанола желаемый состав можно определить по следующей формуле:



где $x > 2y$,

для потребления CO_2 .

В некоторых вариантах осуществления изобретения ферментационный субстрат может иметь соотношение $H_2:CO$ менее чем 20:1, или менее чем 15:1, или менее чем 10:1, или менее чем 8:1, или менее чем 5:1, или менее чем 3:1 с CO_2 , доступным по меньшей мере в стехиометрических количествах в соответствии с алгебраической формулой.

В других вариантах осуществления данное изобретение обеспечивает интегрированный процесс, который включает в себя получение H_2 и O_2 с помощью электролиза в водных растворах с использованием возобновляемого источника энергии; предоставление по меньшей мере части полученного O_2 в процесс полного окисления, генерирование содержащего C1 остаточного газа с помощью полного окисления, смешивание по меньшей мере части содержащего C1 остаточного газа, по меньшей мере с частью полученного H_2 , чтобы получить содержащий C1 субстрат, подачу содержащего C1 субстрата в биореактор, содержащий культуру связывающих C1 бактерий, и ферментацию содержащего C1 субстрата для того, чтобы получить по меньшей мере один продукт ферментации.

Процесс полного окисления выбирают из группы, состоящей из: процесса производства цемента, процесса получения электроэнергии, вырабатываемой на газовой электростанции и процесса получения электроэнергии, вырабатываемой на угольной электростанции. Содержащий C1 остаточный газ, полученный при полном окислении, содержит CO_2 . В некоторых вариантах осуществления изобретения содержащий C1 остаточный газ, полученный путем полного окисления, дополнительно содержит по меньшей мере один компонент, выбранный из группы, состоящей из H_2 , CO и CH_4 .

На фиг. 4 показан схематический процесс интеграции процесса производства цемента с процессом электролиза и процессом ферментации газа. H_2 и O_2 получают в результате процесса электролиза возобновляемой энергии и воды в установке 410 для электролиза. Полученный O_2 подают в блок 422 производства цемента для того, чтобы заместить количество воздуха, требуемое в процессе производства цемента. В процессе производства цемента образуется остаточный газ, насыщенный CO_2 . Первую часть остаточного газа, насыщенного CO_2 , полученного в результате процесса производства цемента, и первую порцию водорода, полученного в результате процесса электролиза, направляют в реактор 428 обратной конверсии водяного газа. CO_2 и H_2 реагируют с образованием выходного потока, содержащего CO . Вторую часть остаточного газа, насыщенного CO_2 , полученного в результате процесса производства цемента, и вторую порцию водорода, полученного в результате процесса электролиза, смешивают с отходящим газом, насыщенным CO , полученным из реактора RWGS для того, чтобы получить содержащий C1 субстрат. Содержащий C1 субстрат подают в биореактор 432, содержащий культуру связывающих C1 бактерий. Содержащий C1 субстрат ферментируют с получением по меньшей мере одного продукта ферментации.

"Связывающие C1 микроорганизмы" представляет собой микроорганизмы, который обладают способностью продуцировать один или несколько продуктов из C1-источника углерода. Как правило, микроорганизмы представляют собой связывающие C1 бактерии. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизм является микроорганизмом или выведен из связывающего C1 микроорганизма, указанного в таблице. Микроорганизм может быть классифицирован на основе функциональных характеристик. Например, микроорганизмы могут представлять собой микроорганизмы, или могут быть получены из связывающих C1 микроорганизмов, анаэробных организмов, ацетогенных организмов, этанологенных организмов и/или карбоксидотрофных организмов. В таблице представлен репрезентативный список микроорганизмов и указаны их функциональные характеристики.

	Связывающие C1 организмы	Анаэробные организмы	Ацетогенные организмы	Этанолгенные организмы	Автотрофные организмы	Карбоксидотрофные организмы	Метанотрофные организмы
<i>Acetobacterium woodii</i>	+	+	+	+/- ¹	-	+/- ²	-
<i>Alkalibaculum bacchii</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Blautia product</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Butyribacterium methanotrophicum</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Clostridium aceticum</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Clostridium autoethanogenum</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Clostridium carboxidivorans</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Clostridium coskatii</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Clostridium drakei</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Clostridium formicoaceticum</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Clostridium ljungdahlii</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Clostridium magnum</i>	+	+	+	-	+	+/- ³	-
<i>Clostridium ragsdalei</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Clostridium scatologenes</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Eubacterium limosum</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Moorella thermoautotrophica</i>	+	+	+	+	+	+	-
<i>Moorella thermoacetica</i> (ранее назывались <i>Clostridium thermoaceticum</i>)	+	+	+	- ⁴	+	+	-
<i>Oxobacter pfennigii</i>	+	+	+	-	+	+	-
<i>Sporomusa ovata</i>	+	+	+	-	+	+/- ⁵	-
<i>Sporomusa silvacetica</i>	+	+	+	-	+	+/- ⁶	-
<i>Sporomusa sphaeroides</i>	+	+	+	-	+	+/- ⁷	-
<i>Thermoanaerobacter kiuvi</i>	+	+	+	-	+	-	-

¹ *Acetobacterium woodi* может производить этанол из фруктозы, но не из газа.

² Сообщалось, что *Acetobacterium woodi* может расти на CO, но методология вызывает сомнения.

³ Не исследовано, может ли *Clostridium magnum* расти на CO.

⁴ Один штамм *Moorella thermoacetica*, *Moorella* sp. HUC22-1, как сообщается, производит этанол из газа.

⁵ Не исследовано, может ли *Sporomusa ovata* расти на CO.

⁶ Не исследовано, может ли *Sporomusa silvacetica* расти на CO.

⁷ Не исследовано, может ли *Sporomusa sphaeroides* расти на CO.

"C1" относится к молекуле с одним атомом углерода, например CO или CO₂. "C1-оксигенат" относится к молекуле с одним атомом углерода, которая также содержит по меньшей мере один атом кислорода, например CO или CO₂. "C1-источник углерода" относится к молекуле с одним атомом углерода, которая служит в качестве частичного или единственного источника углерода для микроорганизмов. Например, C1-источник углерода может содержать один или несколько CO, CO₂ или CH₂O₂. Предпочтительно, когда C1-источник углерода содержит один из, или оба из CO и CO₂. "Связывающий C1 микроорганизм" представляет собой микроорганизм, который обладают способностью продуцировать один или несколько продуктов из C1-источника углерода. Как правило, микроорганизмы представляют собой связывающие C1 бактерии. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизм является микроорганизмом или выведен из связывающего C1 микроорганизма, указанного в таблице.

"Анаэробные организмы" представляют собой микроорганизмы, которые не требуют кислорода для роста. Анаэробные организмы могут реагировать отрицательно или даже погибнуть, если кислород присутствует выше определенного порогового значения. Как правило, микроорганизмы являются анаэроба-

ми (т.е. представляют собой анаэробные организмы). В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы являются анаэробными организмами, указанными в таблице, или выведены из них.

"Ацетогенные организмы" являются микроорганизмами, которые продуцируют или которые способны продуцировать ацетат (или уксусную кислоту) в качестве продукта анаэробного дыхания. Как правило, ацетогенные организмы обязательно являются анаэробными бактериями, которые используют метаболический путь Вуд-Льюнгаля в качестве своего основного механизма для сохранения энергии и для синтеза ацетил-СоА продуктов и ацетил-СоА-производных продуктов, таких как ацетат (Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784:1873-1898, 2008). Ацетогенные организмы используют метаболический путь ацетил-СоА как (1) механизм редуцированного синтеза ацетил-СоА из CO_2 , (2) прием конечных электронов, процесс сохранения энергии, (3) механизм связывания (поглощения) CO_2 при синтезе клеточного углерода (Drake, *Acetogenic Prokaryotes*, опубликовано в *The Prokaryotes*, 3rd edition, p. 354, New York, NY, 2006). Все ацетогенные организмы природного происхождения представляют собой связывающие С1, анаэробные, автотрофные и неметанотрофные организмы. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой ацетогенные организмы. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой ацетогенные организмы, указанные в таблице, или выведены из них.

"Этанологенные организмы" представляют собой микроорганизмы, которые продуцируют или способны продуцировать этанол. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой этанологенные организмы. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой этанологенные организмы, указанные в таблице, или выведены из них.

"Автотрофные организмы" представляют собой микроорганизмы, способные расти в отсутствие органического углерода. Вместо этого автотрофные организмы используют неорганические источники углерода, такие как СО и/или CO_2 . В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой автотрофные организмы. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой автотрофные организмы, указанные в таблице, или выведены из них.

"Карбоксидотрофные организмы" представляет собой микроорганизмы, способные использовать СО в качестве единственного источника углерода. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой карбоксидотрофные организмы. В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой карбоксидотрофные организмы, указанные в таблице, или выведены из них.

В некоторых вариантах осуществления изобретения микроорганизмы не потребляют определенные субстраты, такие как метан или метанол. В одном варианте осуществления изобретения микроорганизмы не являются метанотрофными организмами и/или не являются метилотрофными организмами.

В более широком смысле микроорганизмы могут представлять собой микроорганизмы любого рода или видов, указанных в таблице, или могут быть получены из них. Например, микроорганизмы могут являться представителями рода *Clostridium*.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы являются представителями кластера *Clostridia*, включающего виды *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* и *Clostridium ragsdalei*, или выведены из них. Эти виды были впервые описаны в литературе и охарактеризованы Abrini, *Arch. Microbiol.*, 161:345-351, 1994 (*Clostridium autoethanogenum*), Tanner, *Int. J. System Bacteriol.*, 43:232-236, 1993 (*Clostridium ljungdahlii*), и Huhnke, WO 2008/028055 (*Clostridium ragsdalei*).

Эти три вида имеют много общего. В частности, этими видами являются все С1-связывающие, анаэробные, ацетогенные, этанологенные и карбоксидотрофные представители рода *Clostridium*. Эти виды имеют сходные генотипы и фенотипы и характер сохранения энергии и ферментативного метаболизма. Более того, эти виды кластеризуются в группу I гомологии кластридиальной рПНК с 16S рПНК ДНК, которые более чем на 99% идентичны, имеют содержание ДНК G+C около 22-30 мол.%, являются грамположительными, имеют сходную морфологию и размер (экспоненциально растущие клетки между 0,5-0,7×3-5 мкм), являются мезофильными (оптимально растут при 30-37°C), имеют аналогичные диапазоны рН - около 4-7,5 (при оптимальном рН около 5,5-6), в них отсутствуют цитохромы, и они сохраняют энергию посредством комплекса Rnf. Кроме того, в этих видах было продемонстрировано превращение карбоновых кислот в их соответствующие спирты (Perez, *Biotechnol. Bioeng.*, 110:1066-1077, 2012). Важно отметить, что эти виды также демонстрируют сильный автотрофный рост на содержащих СО газах, продуцируют этанол и ацетат (или уксусную кислоту) в качестве основных продуктов ферментации, а при определенных условиях продуцируют небольшие количества 2,3-бутандиола и молочной кислоты.

Однако эти три вида также имеют ряд отличий. Эти виды были выделены из разных источников: *Clostridium autoethanogenum* - из кишечника кролика, *Clostridium ljungdahlii* - из отходов куриного двора, и *Clostridium ragsdalei* - из осадка пресной воды. Эти виды отличаются использованием различных сахаров (например, рамнозы, арабинозы), кислот (например, глюконата, цитрата), аминокислот (например, аргинина, гистидина) и других субстратов (например, бетаина, бутанола). Более того, эти виды отлича-

ются в ауксотрофии некоторыми витаминами (например, тиамин, биотин). Эти виды имеют различия в нуклеиновых и аминокислотных последовательностях генов и белков метаболического пути Вуд-Льюнгаля, хотя общая организация и количество этих генов и белков оказались одинаковыми у всех видов (Körke, Curr. Opin. Biotechnol., 22:320-325, 2011).

Таким образом, в целом, многие характеристики *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei* не являются специфическими для этого вида, но являются довольно общими характеристиками для этого кластера C1-связывающих, анаэробных, ацетогенных, этанологенных и карбоксидотрофных представителей рода *Clostridium*. Однако, поскольку эти виды, по сути, различны, генетическая модификация или манипуляция одним из этих видов может не иметь идентичного эффекта у другого из этих видов. Например, могут наблюдаться различия в росте, производительности или выработке продукта.

Микроорганизмы также могут представлять собой *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*, или могут быть получены из их изолята или мутанта. Изоляты и мутанты *Clostridium autoethanogenum* включают в себя JA1-1 (DSM10061) (Abrini, Arch. Microbiol., 161:345-351, 1994), LBS1560 (DSM19630) (WO 2009/064200) и LZ1561 (DSM23693). Изоляты и мутанты *Clostridium ljungdahlii* включают в себя ATCC 49587 (Tanner, Int. J. Syst. Bacteriol., 43:232-236, 1993), PETCT (DSM13528, ATCC 55383), ERI-2 (ATCC 55380) (US 5593886), C-01 (ATCC 55988) (US 6,368,819), 0-52 (ATCC 55989) (US 6368819) и OTA-1 (Tirado-Acevedo, Production of bioethanol from synthesis gas using *Clostridium ljungdahlii*, диссертация PhD, North Carolina State University, 2010). Изоляты и мутанты *Clostridium ragsdalei* включают в себя PI 1 (ATCC BAA-622, ATCC PTA-7826) (WO 2008/028055).

Термин "полученные из" относится к микроорганизмам, модифицированным или адаптированным из других (например, родительских или немутантных) микроорганизмов, чтобы получить новые микроорганизмы. Такие модификации или адаптации обычно включают в себя вставку, делецию, мутацию или замещение нуклеиновых кислот или генов.

"Субстрат" относится к источнику углерода и/или энергии для микроорганизма согласно данному изобретению. Как правило, субстрат является газообразным и содержит C1-источник углерода, например CO, CO₂ и/или CH₄. Предпочтительно, когда субстрат содержит C1-источник углерода из CO или CO + CO₂. Субстрат может дополнительно содержать другие не углеродные компоненты, такие как H₂, N₂ или электроны.

Субстрат обычно содержит по меньшей мере некоторое количество CO, как, например, около 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 или 100 мол.% CO. Субстрат может содержать диапазон значений CO, как, например, около 20-80, 30-70 или 40-60 мол.% CO. Предпочтительно, когда субстрат содержит около 40-70 мол.% CO (например, газ металлургического комбината или основного кислородного конвертера), около 20-30 мол.% CO (например, газ доменной печи) или около 15-45 мол.% CO (например, синтетический газ). В некоторых вариантах осуществления изобретения субстрат может содержать относительно низкое количество CO, например около 1-10 или 1-20 мол.% CO. Микроорганизмы согласно данному изобретению обычно преобразовывают по меньшей мере часть CO субстрата в продукт. В некоторых вариантах осуществления изобретения субстрат не содержит или практически не содержит (<1 мол.%) CO.

Субстрат может содержать некоторое количество H₂. Например, субстрат может содержать около 1, 2, 5, 10, 15, 20 или 30 мол.% H₂. В некоторых вариантах осуществления изобретения субстрат может содержать относительно высокое количество H₂, например около 60, 70, 80 или 90 мол.% H₂. В дополнительных вариантах осуществления изобретения субстрат не содержит или практически не содержит (<1 мол.%) H₂.

Субстрат может содержать некоторое количество CO₂. Например, субстрат может содержать около 1-80 или 1-30 мол.% CO₂. В некоторых вариантах осуществления изобретения субстрат может содержать менее чем около 20, 15, 10 или 5 мол.% CO₂. В другом варианте осуществления изобретения субстрат не содержит или практически не содержит (<1 мол.%) CO₂.

Хотя субстрат обычно является газообразным, субстрат также может быть предоставлен в альтернативных формах. Например, субстрат может быть растворен в жидкости, насыщенной содержащим CO газом, с использованием микропузырькового генератора взвеси. В качестве дополнительного примера субстрат может быть адсорбированным на твердой подложке.

Субстратом и/или C1-источником углерода может быть остаточный газ, полученный в качестве побочного продукта в результате производственного процесса или из какого-либо другого источника, газификации биомассы. В некоторых вариантах осуществления изобретения производственный процесс выбирают из группы, состоящей из производства изделий из черных металлов, как, например, производство на металлургическом комбинате, производство изделий из цветных металлов, процессы переработки нефти, газификация угля, производство электрической энергии, производство газовой сажи, производство аммиака, производство метанола и производство кокса. В этих вариантах осуществления изобретения субстрат и/или C1-источник углерода может быть получен из производственного процесса до его выброса в атмосферу с использованием любого удобного метода.

В конкретных вариантах осуществления изобретения производственный процесс представляет со-

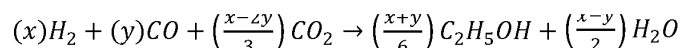
бой процесс производства стали, выбранный из процессов: Основного Кислородного Конвертера, Доменной Печи и Коксовой Печи. Газ Коксовой печи (COG) имеет типовой состав: 5-10% CO, 55% H₂, 3-5% CO₂, 10% N₂ и 25% CH₄. Типовой состав газа Доменной Печи (BF) составляет 20-35% CO, 2-4% H₂, 20-30% CO₂ и 50-60% N₂. Типовой газ Основного Кислородного Конвертера (BOF) содержит 50-70% CO, 15-25% CO₂, 15-25% N₂ и 1-5% H₂.

Субстратом и/или C1-источником углерода может быть синтетический газ, такой как синтетический газ, полученный путем газификации угля или остатков нефтеперерабатывающего завода, газификации биомассы или лигноцеллюлозного материала, или преобразованием природного газа. В другом варианте осуществления изобретения синтетический газ может быть получен из газификации твердых бытовых отходов или производственных твердых отходов.

Состав субстрата может оказать значительное влияние на эффективность и/или стоимость реакции. Например, присутствие кислорода (O₂) может снизить эффективность анаэробного процесса ферментации. В зависимости от состава субстрата, может быть желательным обработать, промыть или отфильтровать субстрат для удаления любых нежелательных примесей, таких как токсины, нежелательные компоненты или частицы пыли, и/или увеличения концентрации желаемых компонентов.

Состав газообразного содержащего C1 субстрата будет варьироваться в зависимости от факторов, которые включают в себя тип используемого производственного процесса и исходного материала, подаваемого в производственный процесс. Не все полученные содержащие C1 газообразные субстраты будут иметь идеальный состав газа для процесса ферментации. Смешивание содержащих C1 газов с возобновляемым потоком водорода, дополнительный поток CO или преобразование CO₂ из субстрата C1 в CO обеспечивает энергетически улучшенный смешанный газовый поток.

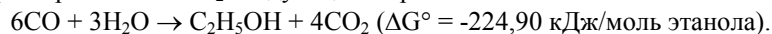
Обеспечение функционирования процесса ферментации в присутствии водорода имеет дополнительное преимущество в сокращении количества CO₂, образующегося в результате процесса ферментации. Например, газообразный субстрат, содержащий минимальное количество H₂, обычно образует этанол и CO₂ в соответствии со следующей стехиометрией: [6CO + 3H₂O → C₂H₅OH + 4CO₂]. По мере увеличения количества водорода, используемого связывающими C1 бактериями, количество продуцируемого CO₂ уменьшается [например, 2CO + 4H₂ → C₂H₅OH + H₂O]. Общий вид уравнения представляет собой:



где $x > 2y$,

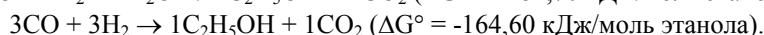
для достижения потребления CO₂.

Когда CO является единственным источником углерода и энергии для производства этанола, часть углерода уходит при образовании CO₂ следующим образом:

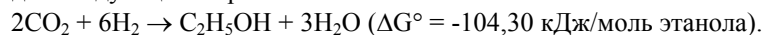


В этих случаях, когда значительное количество углерода отводится на CO₂, желательно либо подавать CO₂ обратно в производственный процесс (т.е. в процесс газификации), либо в качестве альтернативы отправлять CO₂ в реактор обратной конверсии водяного газа. В соответствии с данным изобретением, когда присутствует CO₂ электролизера, остаточный газ CO₂ может быть рециркулирован в электролизер для превращения в CO и O₂.

Поскольку количество H₂, доступного в субстрате, увеличивается, количество произведенного CO₂ уменьшается. При стехиометрическом соотношении 1:2 (CO/H₂) производство CO₂ полностью исключается:



При ферментации, когда CO₂ является источником углерода, а H₂ является источником электронов, стехиометрия выглядит следующим образом:



Побочный продукт O₂ процесса электролиза может использоваться в производственном процессе для производства газа CO₂. В случае процессов полного окисления побочный продукт O₂ электролиза заменит подачу воздуха, которая требуется в обычных случаях. Добавление кислорода, а не воздуха увеличивает состав CO₂ в отходящем газе процесса. Например, подача 100%-ного кислорода: CH₄ + 2O₂ → CO₂ + 2H₂O обеспечивает 100% концентрацию CO₂ в отходящем газе; в то время как подача воздуха: CH₄ + 2O₂ + 7,5 N₂ → CO₂ + 2H₂O + 7,5 N₂ обеспечивает 12% CO₂ в отходящем газе.

Исходный материал CO₂ можно смешивать с водородом, полученным в результате процесса электролиза, для обеспечения оптимизированного исходного материала для процесса ферментации CO₂ и H₂. [например, 6H₂ + 2CO₂ → C₂H₅OH + 3H₂O].

Связывающие C1 бактерии обычно представляет собой анаэробные бактерии, выбранные из группы, состоящей из: карбоксидотрофные организмы, автотрофные организмы, ацетогенные организмы и этаноленные организмы. Более конкретно, связывающие C1 бактерии выбраны из рода Clostridium. В

конкретных вариантах осуществления изобретения связывающие C1 бактерии выбраны из группы, состоящей из: *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* и *Clostridium ragsdalei*.

Микроорганизмы, согласно данному изобретению, могут быть культивированы для получения одного или нескольких продуктов. Например, *Clostridium autoethanogenum* производит или может быть запрооектирован для производства 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), 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), изопрена (WO 2013/180584), жирных кислот (WO 2013/191567), 2-бутанола (WO 2013/185123), 1,2-пропандиола (WO 2014/0369152) и 1-пропанола (WO 2014/0369152). В дополнение к одному или нескольким целевым продуктам, микроорганизмы, согласно данному изобретению, могут также продуцировать этанол, ацетат и/или 2,3-бутандиол. В некоторых вариантах осуществления изобретения микробиологическая биомасса сама по себе может считаться продуктом.

"Натуральный продукт" представляет собой продукт, произведенный генетически немодифицированными микроорганизмами. Например, этанол, ацетат и 2,3-бутандиол являются натуральными продуктами *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* и *Clostridium ragsdalei*. "Ненатуральный продукт" представляет собой продукт, который продуцируют генетически модифицированные микроорганизмы, а не продуцируют генетически немодифицированные микроорганизмы, из которых получены генетически модифицированные микроорганизмы.

Термины "Повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п. включают в себя, но не ограничиваются перечисленным, увеличение темпов прироста, скорость или объем производства продукта, объем продукта в пересчете на объем потребляемого субстрата или селективность продукта. Эффективность может быть измерена относительно характеристик родительских микроорганизмов, из которых получены микроорганизмы согласно данному изобретению.

Как правило, культуру производят в биореакторе. Термин "биореактор" включает в себя устройство для культивирования/ферментации, состоящее из одного или нескольких сосудов, башен или устройств трубопроводов, как например, проточный реактор с непрерывным перемешиванием (CSTR), реактор с использованием иммобилизованных клеток (ICR), реактор с орошаемым слоем (TBR), барботажная колонка, газлифтный ферментёр, статический смеситель или другой сосуд или другое устройство, подходящее для контакта газ-жидкость. В некоторых вариантах осуществления изобретения биореактор может содержать первый реактор роста и второй реактор культивирования/ферментации. Субстрат может быть подан в один или оба из этих реакторов. Используемые в данном документе термины "культивирование" и "ферментация" используются взаимозаменяемо. Эти термины охватывают как фазу роста, так и фазу биосинтеза продукта процесса культивирования/ферментации.

Культуру обычно поддерживают в водной культуральной среде, которая содержит питательные вещества, витамины и/или минералы, достаточные для роста микроорганизмов. Предпочтительно, когда водная культуральная среда представляет собой анаэробную среду для роста микроорганизмов, такую как анаэробная среда для минимального роста микроорганизмов. Подходящие среды хорошо известны в данной области техники.

Культивирование/ферментацию желательно проводить в подходящих условиях для производства целевого продукта. Как правило, культивирование/ферментацию проводят в анаэробных условиях. Рассматриваемые условия реакции включают в себя давление (или парциальное давление), температуру, расход газа, скорость потока жидкости, pH среды, окислительно-восстановительный потенциал среды, скорость перемешивания (в случае использования проточного реактора с непрерывным перемешиванием), уровень инокулята, максимальные концентрации газового субстрата для гарантии того, что газ в жидкой фазе не становится ограничивающим, и максимальные концентрации продукта для того, чтобы не допустить ингибции продукта. В частности, скорость введения субстрата может контролироваться, чтобы гарантировать, что концентрация газа в жидкой фазе не станет ограничивающей, так как продукты могут потребляться культурой в условиях, ограниченных газом.

Эксплуатация биореактора при повышенных давлениях позволяет увеличить скорость переноса массы газа из газовой фазы в жидкую фазу. Соответственно, обычно предпочтительно выполнять культивирование/ферментацию при давлениях выше, чем атмосферное давление. Кроме того, поскольку данная скорость конверсии газа частично зависит от времени удерживания субстрата, а время удерживания определяет требуемый объем биореактора, использование систем под давлением может значительно уменьшить требуемый для биореактора объем и, следовательно, капитальные затраты на оборудование культивирования/ферментации. Это, в свою очередь, означает, что время удерживания, определяемое как объем жидкости в биореакторе, деленный на скорость потока нагнетаемого газа, может быть уменьшено, когда биореакторы эксплуатируются при повышенном давлении, а не при атмосферном давлении. Оптимальные условия реакции будут частично зависеть от конкретных используемых микроорганизмов. Однако в целом предпочтительнее производить операцию ферментации при давлении выше, чем атмосферное давление. Кроме того, поскольку заданная скорость преобразования газа частично зависит от време-

ни удерживания субстрата, а достижение требуемого времени удерживания, в свою очередь, определяет требуемый объем биореактора, использование систем под давлением может значительно уменьшить требуемый для биореактора объем и, следовательно, капитальные затраты на оборудование ферментации.

Целевые продукты могут быть отделены или очищены от ферментационной среды с использованием любого способа или комбинации способов, известных в данной области техники, которые включают в себя, например, фракционную дистилляцию, испарение, первапорацию, отгонку легких фракций газа, разделение фаз и экстрактивную ферментацию, что включает в себя, например, экстрагирование жидкости жидкостью. В некоторых вариантах осуществления изобретения целевые продукты извлекают из ферментационной среды путем непрерывного удаления части среды из биореактора, отделения микробиологических клеток от среды (удобно путем фильтрации) и выделения из среды одного или нескольких целевых продуктов. Спирты и/или ацетон могут быть выделены, например, путем дистилляции. Кислоты могут быть выделены, например, путем адсорбции на активированном угле. Отделенные микробные клетки предпочтительно возвращают в биореактор. Не содержащий клетки пермеат, оставшийся после удаления целевых продуктов, также предпочтительно возвращают в биореактор. Дополнительные питательные вещества (такие как витамины группы В) могут быть добавлены в не содержащий клетки пермеат для восполнения среды до ее возвращения в биореактор.

Примеры

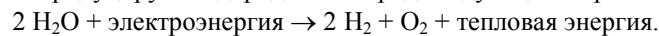
Следующие примеры дополнительно иллюстрируют данное изобретение, но, разумеется, никоим образом не должны толковаться как ограничивающие его объем.

Пример 1.

В этом примере описывается интеграция процесса Основного Кислородного Конвертера (BOF) с процессом электролиза и процессом ферментации для обеспечения ферментационного субстрата, имеющего улучшенный состав, в результате чего получают улучшенный выход продукта ферментации.

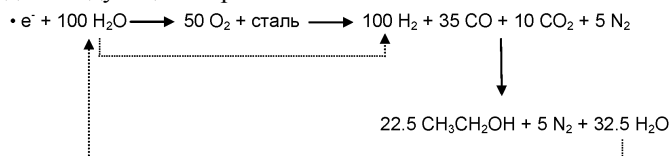
Процесс BOF продуцирует остаточный газ BOF, имеющий следующий состав: 50-70% CO, 15-25% CO₂, 15-25% N₂ и 0-5-3% H₂.

Процесс электролиза продуцирует водород и кислород следующим образом:



Кислород, полученный в результате процесса электролиза, подают в BOF для того, чтобы компенсировать требуемое количество кислорода.

Водород, полученный в результате процесса электролиза, смешивают с остаточным газом BOF для обеспечения ферментационного субстрата, у которого соотношение H₂:CO:CO₂ составляет 10:3,5:1. Ферментационный субстрат подается в биореактор, содержащий культуру штамма *Clostridium autoethanogenum*, депонированную в DSMZ под учетным номером DSM23693. Стехиометрия реакции процесса в целом выглядит следующим образом:



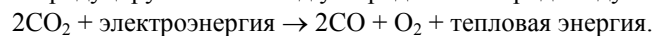
Обеспечение интеграции процессов - процесс электролиза с процессом BOF и процессом ферментации - приводит к получению этанола и уменьшению выбросов CO₂ в качестве побочных продуктов.

Пример 2.

В этом примере описывается интеграция процесса Основного Кислородного Конвертера (BOF) с процессом электролиза и процессом ферментации для обеспечения ферментационного субстрата, имеющего улучшенный состав, в результате чего получают улучшенный выход продукта ферментации.

Процесс BOF продуцирует остаточный газ BOF, имеющий следующий состав: 50-70% CO, 15-25% CO₂, 15-25% N₂ и 0-5-3% H₂.

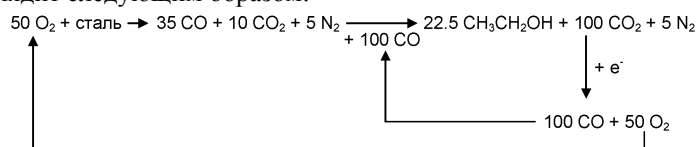
Процесс электролиза продуцирует монооксид углерода и кислород следующим образом:



Кислород, полученный в результате процесса электролиза, подают в BOF для того, чтобы компенсировать требуемое количество кислорода.

Монооксид углерода, полученный в результате процесса электролиза, смешивают с остаточным газом BOF для получения ферментационного субстрата, у которого соотношение H₂:CO:CO₂ составляет [необходимое соотношение]. Ферментационный субстрат подается в биореактор, содержащий культуру штамма *Clostridium autoethanogenum*, депонированную в DSMZ под учетным номером DSM23693. Субстрат ферментируется для получения одного или нескольких продуктов ферментации, которые включают в себя этанол и поток остаточного газа. CO₂ из потока остаточного газа биореактора улавливают и направляют в установку для электролиза CO₂, полученный CO рециркулируют обратно в ферментер, а полученный O₂ возвращают обратно в сталеплавильное производство. 100% O₂ для сталеплавильного производства замещают другие источники O₂ (обычно 94% O₂, 6% N₂), что уменьшает количество N₂ в сталелитейных отходах и обогащает газы, улучшая оба технологических блока. Стехиометрия реакции

процесса в целом выглядит следующим образом:



Все ссылки, включая публикации, заявки на патенты и патенты, приведенные в данном документе, включены в данный документ посредством ссылки в той же степени, как если бы каждая ссылка была индивидуально и конкретно указана для включения в качестве ссылки и была включена в данный документ в полном объеме. Ссылка на любой известный уровень техники в этом описании не является и не должна восприниматься как признание того, что этот известный уровень техники является частью распространенных общих знаний в области предпринятых устремлений в любой стране.

Термин, относящийся к единственному числу, и аналогичные термины, используемые в контексте описанного изобретения (особенно в контексте формулы изобретения), должен толковаться как охватывающий как единственное, так и множественное число, если в данном документе не указано иное, или это явно противоречит контексту. Термины "содержащий", "имеющий", "включающий в себя" и "вмещающий" должны толковаться как термины с неограничивающим значением (то есть означающие "включающий в себя, но не ограничиваясь"), если не указано иное. Вычисление диапазонов значений в данном документе предназначено исключительно для использования в качестве сокращенного способа для индивидуального обращения к каждому отдельному значению, попадающему в пределы диапазона, если не указано иначе, и каждое отдельное значение включено в описание, как если бы оно было отдельно представлено в данном документе. Все описанные в данном документе способы или процессы могут выполняться в любом подходящем порядке, если иное не указано в данном документе или же явно не противоречит контексту. Использование любых и всех примеров или типовых лингвистических выражений (например, "такой как"), приведенных в данном документе, предназначено исключительно для лучшего разъяснения изобретения и не представляет ограничения объема данного изобретения, если не заявлено иное. Ни одна из фраз в описании не должна толковаться как указание какого-либо не заявленного элемента как существенного для способа практического применения данного изобретения.

В данном документе описаны предпочтительные варианты осуществления данного изобретения. Изменения этих предпочтительных вариантов осуществления могут стать очевидными для специалистов в данной области техники после прочтения вышеприведенного описания. Изобретатели ожидают, что квалифицированные специалисты применят такие варианты как подходящие, и изобретатели подразумевают, что данное изобретение на практике может быть реализовано иначе, чем конкретно описано в данном документе. Соответственно, это изобретение включает все модификации и эквиваленты объекта изобретения, указанного в формуле изобретения, прилагаемой к данному документу, как это разрешено применяемыми правовыми нормами. Более того, данное изобретение охватывает любую комбинацию вышеописанных элементов во всех возможных вариациях, если иное не указано в данном документе или же явно не противоречит контексту.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ повышения эффективности улавливания углерода при интегрированном процессе ферментации и производственном процессе, при этом способ включает в себя:

i) подачу одного или нескольких исходных материалов, содержащих CO_2 , в процесс электролиза для того, чтобы выработать полученный в результате процесса электролиза субстрат, содержащий CO и O_2 ;

ii) смешивание по меньшей мере части CO в полученном в результате процесса электролиза субстрате с содержащим C1 остаточным газом, полученным в результате производственного процесса, для получения смешанного содержащего C1 субстрата;

iii) подачу смешанного содержащего C1 субстрата в биореактор, содержащий культуру по меньшей мере одной связывающей C1 бактерии; и

iv) анаэробную ферментацию культуры для того, чтобы выработать один или несколько продуктов ферментации.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть указанного O_2 подается в производственный процесс.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что поток отходящего газа получают с помощью ферментации, при этом отходящий газ содержит CO_2 и по меньшей мере часть CO_2 рециркулируют в процесс электролиза.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что процесс электролиза требует подвода энергии и подвод энергии получен из возобновляемого источника энергии.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что производственный процесс представляет собой процесс частичного окисления, при этом указанный процесс частичного окисления выбирают из группы, состоя-

шей из реакции Основного Кислородного Конвертера (BOF), процесса производства стали COREX или FINEX, процесса Доменной Печи (BF), процесса производства ферросплавов; процесса производства диоксида титана и процессов газификации.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что процесс частичного окисления представляет собой процесс газификации, при этом процесс газификации выбирают из группы, состоящей из процесса газификации твердых бытовых отходов, процесса газификации биомассы, процесса газификации нефтяного кокса и процесса газификации угля.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что производственный процесс включает в себя процесс полного окисления, выбранный из группы, состоящей из процессов производства цемента, получения электроэнергии, вырабатываемой на газовой электростанции, и получения электроэнергии, вырабатываемой на угольной электростанции.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что содержащий C1 остаточный газ содержит CO, CO₂ и H₂.

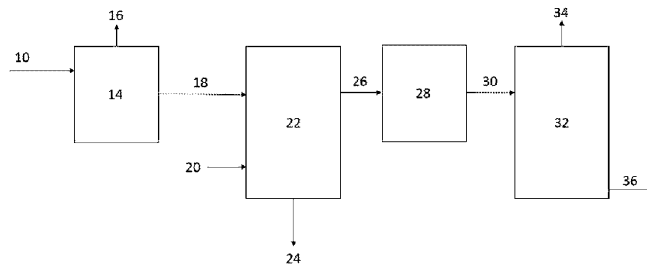
9. Способ по п.1, отличающийся тем, что смешанный содержащий C1 субстрат дополнительно содержит по меньшей мере один компонент, выбранный из группы, состоящей из CO₂, H₂, CH₄.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что связывающие C1 бактерии выбраны из рода Clostridium.

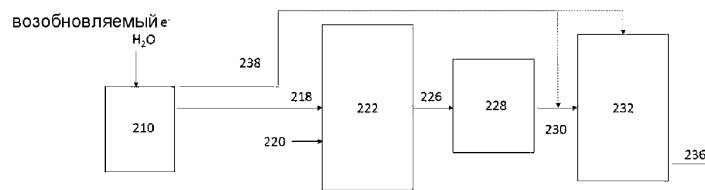
11. Способ по п.10, отличающийся тем, что по меньшей мере одна связывающая C1 бактерия выбрана из группы, состоящей из Clostridium autoethanogenum, Clostridium ljungdahlii и Clostridium ragsdalei.

12. Способ по п.3, отличающийся тем, что часть содержащего C1 остаточного газа смешивают с частью кислорода, полученного из установки для электролиза для того, чтобы достичь насыщенности кислородом, необходимой для подачи в производственный процесс.

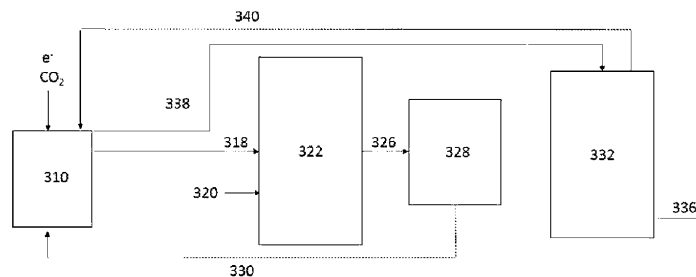
13. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере один продукт ферментации выбран из группы, состоящей из этанола, ацетата, бутанола, бутирата, 2,3-бутандиола, лактата, бутена, бутадиена, метилэтилкетона, этилена, ацетона, изопропанола, липидов, 3-гидроксипропионата, изопрена, жирных кислот, 2-бутанола, 1,2-пропандиола и 1-пропанола.



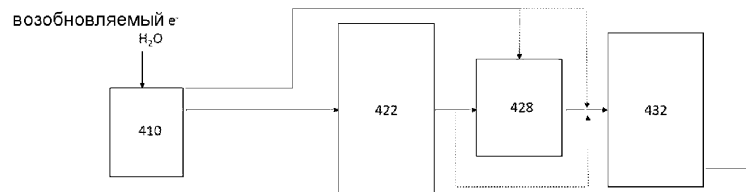
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4