



(51) МПК
C12N 1/20 (2006.01)
C12P 7/06 (2006.01)
C12P 7/14 (2006.01)
C12P 7/54 (2006.01)
C12P 7/64 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C12P 1/04 (2022.05); *C12P 7/06* (2022.05); *C12P 7/14* (2022.05); *C12P 7/54* (2022.05); *C12P 7/64* (2022.05);
C12N 1/20 (2022.05); *C12M 1/04* (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2020131629, 25.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 23.10.2008

Дата регистрации:
 12.08.2022

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
 28.10.2007 NZ 560757;
 28.10.2007 US 60/983,199;
 28.10.2007 US 60/983,203;
 13.11.2007 US 60/987,581

Номер и дата приоритета первоначальной заявки,
 из которой данная заявка выделена:
 2014145306 28.10.2007

(43) Дата публикации заявки: 25.03.2022 Бюл. № 9

(45) Опубликовано: 12.08.2022 Бюл. № 23

Адрес для переписки:
 197101, Санкт-Петербург, а/я 128, "АРС-
 ПАТЕНТ", М.В. Хмара

(72) Автор(ы):

СИМПСОН, Шон Деннис (NZ),
 КОЛЛЕ, Кристоф (NZ),
 ФОРСТЕР, Ричард Ллуэллин Сидни (NZ),
 КОКРЕМ, Майкл Чарльз Милнер (US),
 ОУКЛИ, Саймон Дэвид (NZ)

(73) Патентообладатель(и):

ЛанцаТек НЗ, Инк. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2080382 C1 27.05.1997. Habibollah
 Younesi et al. Liquid fuel production from
 synthesis gas via fermentation process in a
 continuous tank bioreactor (CSTBR) using
 Clostridium ljungdahlii. IRANIAN JOURNAL
 of BIOTECHNOLOGY, 2006, Vol. 4(1) p. 45-53.
 Ghasem Najafpour, Habibollah Younesi, Ethanol
 and acetate synthesis from waste gas using batch
 (см. прод.)

(54) УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ УЛАВЛИВАНИЕ УГЛЕРОДА ПРИ ФЕРМЕНТАЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области биотехнологии. Описан способ получения одного или более продуктов с помощью микробиологической ферментации потока газа. Способ включает в себя стадии направления потока газа, содержащего метан, в установку для химического превращения и превращения по меньшей мере порции потока газа, содержащего метан, в поток газообразного субстрата, содержащего CO; направления этого потока

субстрата в биореактор, содержащий культуру одного или более микроорганизмов; и анаэробного ферментирования этого потока субстрата в биореакторе с получением продукта, выбранного из группы, состоящей из спиртов, кислот и их смесей. Изобретение расширяет арсенал средств получения спиртов и кислот при помощи микробиологической ферментации потока газа. 11 з.п. ф-лы, 5 табл., 2 пр., 18 ил.

(56) (продолжение):

culture of Clostridium ljungdahlii, Enzyme and Microbial Technology, 2006, Vol. 38, Is. 1-2, P. 223-228, DOI:10.1016/j.enzmictec.2005.06.008. US 5807722 A 15.09.1998.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C12N 1/20 (2006.01)
C12P 7/06 (2006.01)
C12P 7/14 (2006.01)
C12P 7/54 (2006.01)
C12P 7/64 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C12P 1/04 (2022.05); *C12P 7/06* (2022.05); *C12P 7/14* (2022.05); *C12P 7/54* (2022.05); *C12P 7/64* (2022.05);
C12N 1/20 (2022.05); *C12M 1/04* (2022.05)

(21)(22) Application: **2020131629, 25.09.2020**(24) Effective date for property rights:
23.10.2008Registration date:
12.08.2022

Priority:

(30) Convention priority:
28.10.2007 NZ 560757;
28.10.2007 US 60/983,199;
28.10.2007 US 60/983,203;
13.11.2007 US 60/987,581Number and date of priority of the initial application,
from which the given application is allocated:
2014145306 28.10.2007(43) Application published: **25.03.2022 Bull. № 9**(45) Date of publication: **12.08.2022 Bull. № 23**

Mail address:

**197101, Sankt-Peterburg, a/ya 128, "ARS-
PATENT", M.V. Khmara**

(72) Inventor(s):

SIMPSON, Shon Dennis (NZ),
KOLLE, Kristof (NZ),
FORSTER, Richard Lluellin Sidni (NZ),
KOKREM, Majkl Charlz Milner (US),
OUKLI, Sajmon Devid (NZ)

(73) Proprietor(s):

LantsaTek NZ, Ink. (US)(54) **IMPROVED CARBON SEQUESTRATION IN FERMENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: biotechnology.

SUBSTANCE: method for the production of one or more products, using microbiological fermentation of a gas stream, is described. The method includes stages of direction of a gas stream containing methane to a plant for chemical conversion, and conversion of at least portion of the gas stream containing methane into a gaseous substrate stream containing CO; direction of this substrate stream to a bioreactor containing a

culture of one or more microorganisms; and anaerobic fermentation of this substrate stream in the bioreactor to obtain a product selected from a group consisting of alcohols, acids and mixtures thereof.

EFFECT: invention expands the arsenal of means for the production of alcohols and acids, using microbiological fermentation of a gas stream.

12 cl, 5 tbl, 2 ex, 18 dwg

C 2
4 2 0 8 7 2
R UR U
2 7 7 8 0 2 4
C 2

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к устройствам и способам, направленным на усовершенствование общего улавливания углерода и/или повышение общей эффективности способов, включающих микробиологическую ферментацию. В частности, настоящее изобретение относится к усовершенствованию улавливания углерода и/или повышению эффективности способов, включающих микробиологическую ферментацию содержащего CO субстрата, полученного из какого-либо промышленного источника.

Уровень техники

Во всем мире этанол быстро занимает место основного обогащенного водородом жидкого моторного топлива. Мировое потребление этанола в 2005 г. оценивается в 12,2 миллиарда галлонов. Мировому рынку производства топливного этанола также предсказывают быстрый рост в будущем за счет возросшего интереса к этанолу в Европе, Японии, США и некоторых развивающихся странах.

Например, в США этанол используют для производства E10 - 10%-ной смеси этанола и бензина. В смеси E10 этанол выполняет функцию обогащающего кислородом компонента, повышая эффективность сгорания и уменьшая образование загрязняющих атмосферу веществ. В Бразилии этанол удовлетворяет, приблизительно, 30% спроса на моторное топливо как в составе смеси с бензином в качестве обогащающего кислородом компонента, так и как самостоятельное чистое топливо. Кроме того, в Европе встревоженность состоянием окружающей среды, сопровождающая последствия выбросов парниковых газов, стала побудительным мотивом для постановки Европейским союзом перед своим членам задачи перехода на использование экологичных моторных топлив, таких как этанол, полученный из биомассы.

Большая часть топливного этанола производится традиционным способом дрожжевого брожения, в котором основным источником углерода являются получаемые из сельскохозяйственных культур углеводы, такие как сахароза, экстрагируемая из сахарного тростника, или крахмал, экстрагируемый из зерновых культур. Однако, стоимость этих углеводных исходных материалов зависит от того, что они ценны как пища для человека или корм для животных, в то время как выращивание являющихся источником крахмала или сахарозы сельскохозяйственных культур для производства этанола неприемлема с экономической точки зрения в любых географических условиях. Следовательно, вызывает интерес разработка технологий превращения более дешевого и/или имеющегося в большем количестве углеродного сырья в топливный этанол.

CO является основным, несвязанным, энергоемким побочным продуктом неполного сгорания органических материалов, таких как уголь или нефть и полученные из нефти продукты. Например, сообщается, что сталелитейная промышленность Австралии производит и выбрасывает в атмосферу более 500000 тонн CO ежегодно.

Для превращения газов, состоящих, преимущественно, из CO и/или CO и водорода (H₂), в разнообразные топлива и химические соединения можно использовать каталитические процессы. Для превращения этих газов в топлива и химические соединения также можно использовать микроорганизмы. Такие биологические процессы, хотя и протекают, как правило, медленнее, чем химические реакции, имеют несколько преимуществ перед каталитическими процессами, в том числе, большую избирательность, более высокий выход, меньшее энергопотребление и большую устойчивость к отравлению.

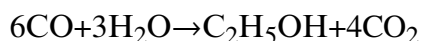
Способность микроорганизмов к росту на CO как единственном источнике углерода впервые была обнаружена в 1903 г. Впоследствии установили, что это является свойством организмов, которые используют метаболический путь автотрофного роста

на основе ацетилкоэнзима А (ацетил-СоА) (также известный как метаболический путь Вудса-Юнгдала (Woods-Liungdahl) и метаболический путь дегидрогеназы монооксида углерода/синтазы ацетилСоА (CODH/ACS)). Было показано, что целый ряд анаэробных организмов, включая карбоксидотрофные, фотосинтетические, метаногенные и ацетогенные организмы, в процессе обмена веществ превращают СО в различные конечные продукты, а именно, СО₂, Н₂, метан, н-бутанол, ацетаты и этанол. Все подобные организмы, хотя и используют СО в качестве единственного источника углерода, производят, по меньшей мере, два из указанных конечных продуктов.

Было показано, что анаэробные бактерии, например, из рода Clostridium, производят этанол из СО, СО₂ и Н₂ по метаболическому пути на основе ацетил СоА. Например, различные штаммы Clostridium ljungdahlii, которые производят этанол из газов, описаны в WO 00/68407, EP 117309, патентах США №№5173429, 5593886 и 6368819, WO 98/00558 и WO 02/08438. Также известно, что этанол из газов производят бактерии Clostridium autoethanogenum sp (Arbini и др., Archives of Microbiology 161, pp. 345-351 (1994)).

Однако производство этанола микроорганизмами в ходе ферментации газов всегда сопряжено с попутным образованием ацетата и/или уксусной кислоты. Поскольку часть доступного углерода преобразуется в ацетат/уксусную кислоту, а не в этанол, эффективность производства этанола с использованием таких процессов ферментации может быть меньше, чем хотелось бы. Кроме того, если побочный продукт, представляющий собой ацетат/уксусную кислоту не находит применения для каких-то других целей, он может вызывать проблемы, связанные с удалением отходов. Микроорганизмы преобразуют ацетат/уксусную кислоту в метан и, следовательно, имеется потенциал увеличения выбросов парниковых газов.

Микробиологическая ферментация СО в присутствии Н₂ может привести, по существу, к полному преобразованию углерода в спирт. Однако, при отсутствии достаточного количества Н₂ некоторая часть СО превращается в спирт, тогда как значительная часть превращается в СО₂, как показывают следующие уравнения реакций:



Образование СО₂ делает улавливание углерода в целом неэффективным и, в случае сброса в атмосферу, вносит вклад в количество выбрасываемых парниковых газов.

В заявке WO 2007/117157, описание которой включается в настоящий документ путем ссылки, описывается процесс, в ходе которого образуются спирты, в частности этанол, в ходе анаэробной ферментации газов, содержащих монооксид углерода. Ацетат, образующийся в качестве побочного продукта процесса ферментации, преобразуется в газообразный водород и газообразный диоксид углерода, любой из которых может быть использован в процессе анаэробной ферментации. В заявке WO 2008/115080, описание которой включается в настоящий документ путем ссылки, описывается процесс производства спирта (спиртов) за несколько стадий ферментации. Побочные продукты, образующиеся в результате анаэробной ферментации газа (газов) в первом биореакторе, могут быть использованы для производства продуктов во втором биореакторе. Кроме того, побочные продукты второй стадии ферментации могут быть рециркулированы в первый биореактор с целью превращения в продукты.

В документах US 7078201 и WO 02/08438 также описан усовершенствованный способ производства этанола путем изменения условий (например, рН и окислительно-восстановительного потенциала) жидкой питательной среды, в которой осуществляется

ферментация. Как указано в этих публикациях, аналогичные процессы могут быть использованы для производства других спиртов, таких как бутанол.

Даже небольшие усовершенствования способа ферментации, направленного на производство одной или более кислоты и/или одного или более спирта, могут иметь
5 существенное значение с точки зрения эффективности и, конкретнее, рентабельности такого способа.

Например, независимо от источника сырья для реакции ферментации, проблемы могут возникнуть в случае перерывов в подаче сырья. Более конкретно, такие перерывы могут нанести ущерб эффективности производства используемыми для осуществления
10 данной реакции микроорганизмами и, в некоторых случаях, в дополнение к этому, могут быть для них губительными. Например, там, где для производства кислот/спиртов в реакциях ферментации может быть использован газообразный СО из потока отходящего промышленного газа, могут быть моменты, когда этот поток не образуется. В это время микроорганизмы, используемые для осуществления реакции, могут перейти
15 в неактивное, непродуктивное состояние или спячку. Когда поток возобновляется, до полного восстановления продуктивности микроорганизмов по осуществлению целевой реакции может пройти некоторое время. Следовательно, существенное преимущество может принести отыскание средства уменьшения или исключения такого запаздывания.

Другой пример; во многих промышленных процессах для уменьшения концентрации
20 твердых частиц (таких как пыль) и других компонентов, загрязняющих отходящие газы, используются системы газоочистки или отдельные газоочистители. Известны системы сухой и мокрой газоочистки. В системе мокрой газоочистки для «вымывания» загрязняющих компонентов из газового потока используют воду или другие жидкости. Типичную систему мокрой газоочистки можно увидеть на сталелитейных заводах, где
25 для очистки отходящих газов, образующихся на различных стадиях производства стали, например, газов, образующихся в коксовых печах, доменных печах, кислородных конвертерах или электродуговых печах, используют воду. Хотя преимуществом газоочистки является уменьшение количества загрязняющих веществ в отходящих газах, при этом загрязняющие вещества никоим образом не уничтожаются.
30 Нежелательные вещества просто переходят из газа в твердую или порошкообразную форму или в орошающую воду или жидкость. Таким образом, вода или жидкость, используемая в системе газоочистки, становится потоком отходов, образующимся в данной отрасли производства. Утилизация таких отходов представляет угрозу окружающей среде. Необходимость очистки и утилизации таких отходов также является
35 существенной материальной нагрузкой на производство.

Хотя обычные промышленные газоочистители (как на сталелитейных заводах) удаляют из потоков отходящего промышленного газа часть загрязняющих веществ, в данной области признано, что эти газы нуждаются в дополнительной очистке и/или
40 другой обработке перед тем, как их можно будет использовать для подачи на реакцию ферментации, из-за ощутимого вредоносного влияния таких газов на микроорганизмы, используемые для осуществления данной реакции. См., например, Datar и др., Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol (Ферментация полученного из биомассы генераторного газа в этанол), 2004, Biotechnology and Bioengineering Vol. 86, pp. 587-594. Для осуществления дополнительных стадий газоочистки и/или обработки на
45 промышленном предприятии нужна свободная площадь, что особенно проблематично, если процесс ферментации организуется на существующем предприятии. Следовательно, существует потребность в усовершенствованных способах, в которых дополнительные стадии газоочистки или другой обработки не требуются или, по меньшей мере, сведены

к минимуму.

Целью настоящего изобретения является обеспечение устройства (устройств) и/или способа (способов), которые позволяют устранить или усовершенствовать, по меньшей мере, один из известных в данной области недостатков, и обеспечение новых способов усовершенствованного и/или расширенного производства различных полезных продуктов.

Сущность изобретения

В первом аспекте обеспечивается способ улавливания углерода при помощи микробиологической ферментации, каковой способ включает:

- 10 i. прием из производственного процесса потока (потоков) дымового или отходящего газа, содержащего CO;
- ii. направление этого потока(потоков) в биореактор, в котором имеется культура одного или более типа микроорганизмов;
- 15 iii. ферментативная активность этой культуры в биореакторе с получением одного или более продукта.

В некоторых вариантах осуществления изобретения данный способ включает улавливание, по меньшей мере, части содержащегося в газе CO₂ при помощи устройства для удаления CO₂ из одного или обоих потоков:

- 20 i. потока перед его вхождением в биореактор;
- ii. потока после его выхода из биореактора.

В определенных вариантах осуществления изобретения данный способ включает первую стадию отделения газа, каковая первая стадия отделения газа включает (i) прием потока газа; (ii) по существу, отделение, по меньшей мере, одной порции этого потока газа, каковая порция содержит один или более компонент этого потока газа; и (iii) направление, по меньшей мере, части отделенной порции(порций) в биореактор. В 25 одном из вариантов осуществления изобретения эта, по меньшей мере, часть отделенной порции(порций), направляемая в биореактор, содержит CO.

В определенных вариантах осуществления изобретения данный способ включает 30 вторую стадию отделения газа, каковая вторая стадия отделения газа включает (i) прием потока газа; (ii) по существу, отделение, по меньшей мере, одной порции этого потока газа, каковая порция содержит один или более компонент этого потока газа; и (iii) направление, по меньшей мере, части отделенной порции(порций) в устройство для удаления CO₂. В одном из вариантов осуществления изобретения на этой стадии 35 отделения газа, по существу, отделяют CO₂ от потока газа и направляют отделенный CO₂ в устройство для удаления CO₂.

В определенных вариантах осуществления изобретения данный способ включает промежуточное хранение потока газа и направление, по меньшей мере, порции этого потока в биореактор, по существу, в непрерывном режиме. В одном из вариантов 40 осуществления изобретения данная стадия промежуточного хранения включает (i) прием прерывистого или непостоянного потока газа в накопительное устройство; (ii) направление из данного накопительного устройства, по существу, непрерывного потока газа в биореактор.

В определенных вариантах осуществления изобретения данный способ включает 45 смешивание одного или более потока газа, по меньшей мере, с одним другим потоком.

В определенных вариантах осуществления изобретения данный способ включает добавление орошающей воды из производственного процесса в биореактор.

Во втором аспекте обеспечивается система для улавливания углерода при помощи

микробиологической ферментации, в какой системе имеется впуск для приема из производственного процесса дымового или отходящего газа, и какая система в эксплуатации предусматривает направление, по меньшей мере, порции этого газа в биореактор с целью производства продуктов путем микробиологической ферментации.

5 В некоторых вариантах осуществления изобретения данная система включает устройство для удаления CO_2 , выполненное с возможностью, при эксплуатации, улавливания, по меньшей мере, части CO_2 , содержащегося в одном или обоих потоках:

- i. потоке перед его вхождением в биореактор;
- ii. потоке после его выхода из биореактора.

10 В определенных вариантах осуществления изобретения система включает первый газоотделитель, выполненный с возможностью, при эксплуатации: (i) приема потока газа; (ii) по существу, отделения, по меньшей мере, одной порции этого потока газа, которая порция содержит один или более компонент этого потока газа; и (iii) направления, по меньшей мере, части отделенной порции (порций) в биореактор. В 15 одном из вариантов осуществления изобретения этот газоотделитель приспособлен для того, чтобы, в эксплуатации, по существу, отделять CO от потока газа и направлять отделенный CO в биореактор.

В определенных вариантах осуществления изобретения система включает второй газоотделитель, выполненный с возможностью, при эксплуатации: (i) приема потока 20 газа; (ii) по существу, отделения, по меньшей мере, порции этого потока газа, которая порция содержит один или более компонент этого потока газа; (iii) направление, по меньшей мере, части отделенной порции в устройство для удаления CO_2 . В одном из вариантов осуществления изобретения второй газоотделитель приспособлен для того, 25 чтобы отделять CO_2 от потока газа и направлять отделенный CO_2 в устройство для удаления CO_2 .

В некоторых вариантах осуществления изобретения данная система включает накопительное устройство, выполненное с возможностью, при эксплуатации, обеспечения, по существу, непрерывного потока субстрата в реактор. В определенных 30 вариантах осуществления изобретения данное накопительное устройство включает накопительный резервуар-хранилище, предназначенный для:

- i. приема прерывистого или непостоянного потока газа/субстрата;
- ii. направления, по существу, непрерывного потока газа/субстрата в биореактор.

В определенных вариантах осуществления изобретения данная система включает 35 смеситель, выполненный с возможностью, при эксплуатации, соединения потока газа с, по меньшей мере, одним другим потоком перед направлением объединенного потока в биореактор.

В определенных вариантах осуществления изобретения данная система включает, по меньшей мере, одно измерительное устройство для наблюдения за составом, по 40 меньшей мере, одного потока газа, подаваемого в биореактор и/или выходящего из биореактора. В определенных вариантах осуществления изобретения данная система включает устройство управления для направления, по меньшей мере, порции одного или более потока газа/выходящего потока (потоков) в одно или более из следующих устройств:

- 45 i. биореактор;
- ii. устройство для удаления CO_2 ;
- iii. первый газоотделитель;
- iv. второй газоотделитель;

v. накопительное устройство;

vi. смеситель;

vii. выпускное устройство,

при этом определенное целевое устройство из (i)-(vii) выбирается, по меньшей мере
5 частично, на основании данных, полученных измерительным устройством.

В третьем аспекте обеспечивается система для улучшения общего улавливания
углерода в способе производства продуктов в биореакторе при помощи
микробиологической ферментации субстрата, в какой системе имеется устройство
для удаления CO₂, предназначенное для улавливания, по меньшей мере, части CO₂,
10 содержащегося в одном или обоих потоках:

i. потоке перед его вхождением в биореактор;

ii. потоке после его выхода из биореактора.

В четвертом аспекте обеспечивается система для повышения эффективности способов
производства продуктов при помощи микробиологической ферментации газа (газов),
15 когда поступление указанного газа (газов) прерывистое, какая система включает
накопительное устройство, предназначенное для приема и хранения, по меньшей мере,
порции газа, а биореактор приспособлен для приема, по меньшей мере, порции газа из
данного накопительного устройства.

В пятом аспекте обеспечивается система для повышения эффективности способов
20 производства продуктов при помощи микробиологической ферментации газа (газов),
какая система включает газоотделитель, предназначенный для приема потока газа
и направления, по меньшей мере, порции указанного потока в биореактор.

В шестом аспекте обеспечивается сталелитейный завод, на котором
25 предусматривается производство спиртов путем микробиологической ферментации
отходящего газа (газов).

В соответствии с определенными аспектами, устройства и способы настоящего
изобретения предусматривают их использование в процессах производства спиртов,
более конкретно, этанола и/или бутанола, путем анаэробной ферментации газов,
30 содержащих монооксид углерода. Помимо этого или в качестве альтернативы, могут
быть произведены кислоты, такие как уксусная кислота или ацетат. Однако, настоящее
изобретение этим не ограничивается и предусматривает охват других реакций
ферментации, включая аэробную ферментацию, в ходе которых образуются различные
продукты, такие как изопропанол или H₂, и реакций, не включающих ферментацию
35 углеродсодержащих газов.

Варианты осуществления настоящего изобретения находят конкретное применение
в области ферментации газообразного субстрата, содержащего CO, с целью
производства кислот и/или спиртов, хотя отдельные аспекты настоящего изобретения
не ограничиваются субстратами, содержащими CO. Газообразный субстрат может
40 содержать газ, получаемый как побочный продукт производственного процесса. В
определенных вариантах осуществления изобретения производственный процесс
подбирают из группы, в которую входят производство изделий из черных металлов,
производство изделий из цветных металлов, процессы нефтепереработки, газификация
биомассы, газификация угля, выработка электроэнергии, производство технического
45 углерода, производство аммиака, производство метанола и производство кокса.
Наиболее предпочтительно, газообразный субстрат содержит газ, получаемый со
сталелитейного завода.

В определенных предпочтительных вариантах осуществления изобретения
газообразный субстрат содержит от 20 об.% CO до 100 об.% CO, например, от 50 об.%

CO до 95 об.% CO, например, от 50 об.% CO до 70 об.% CO. Также может быть использован газообразный субстрат с меньшей концентрацией CO, например, 6%, особенно, когда в нем также присутствуют H₂ и CO₂.

5 В предпочтительных вариантах осуществления изобретения реакцию ферментации осуществляют при помощи одного или более штамма карбоксидотрофных бактерий.

Карбоксидотрофные бактерии, предпочтительно, подбирают из Clostridium, Moorella и Carboxydotherrmus. Наиболее предпочтительно, карбоксидотрофные бактерии представляют собой Clostridium autoethanogenum.

Краткое описание чертежей

10 Далее настоящее изобретение описано подробно со ссылкой на прилагаемые фигуры, на которых представлено:

Фиг. 1: схема системы, включающей устройство для удаления CO₂ после биореактора по ходу технологического потока в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

15 Фиг. 2: схема системы, включающей устройство для удаления CO₂ до биореактора по ходу технологического потока в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 3: схема системы, включающей устройство для удаления CO₂ после биореактора по ходу технологического потока и устройство для возврата потока субстрата в биореактор.

Фиг. 4: схема системы, включающей газоотделитель, расположенный до биореактора по ходу технологического потока, в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

25 Фиг. 5: схема системы, включающей газоотделитель, расположенный после биореактора по ходу технологического потока, в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 6: схема системы, включающей два газоотделителя: один газоотделитель расположен до биореактора по ходу технологического потока, и один газоотделитель расположен после биореактора по ходу технологического потока в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 7: схема системы, включающей накопительный резервуар-хранилище в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

35 Фиг. 8: схема системы, включающей необязательный накопительный резервуар-хранилище в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 9: схема системы, включающей компрессор в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

40 Фиг. 10a: схема системы, включающей множество источников потока субстрата и накопительный резервуар-хранилище в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 10b: схема системы, включающей множество источников потока субстрата и накопительный резервуар-хранилище в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

45 Фиг. 11: схема системы, включающей накопительный резервуар-хранилище и устройство для удаления CO₂ в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 12: схема системы, предназначенной для улавливания углерода из потока

отходящего газа в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 13: схема системы, включающей смеситель в соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения.

5 Фиг. 14: иллюстрация роста микроорганизмов с течением времени в случае, когда газы поступают со сталелитейного завода.

Фиг. 15: иллюстрация синтеза продукта, а именно, производства ацетата, с течением времени в случае, когда газы поступают со сталелитейного завода.

10 Фиг. 16: иллюстрация роста микроорганизмов и синтеза продукта с течением времени в лабораторных средах.

Фиг. 17: иллюстрация роста микроорганизмов и синтеза продукта с течением времени при использовании лабораторных сред, смешанных с орошающей водой сталелитейного завода в отношении 1:1.

Подробное описание изобретения

15 В соответствии с определенными способами настоящего изобретения, отходящие газы производственных процессов могут быть использованы как добавка и/или основное сырье реакций ферментации при сведенных к минимуму стадиях дополнительной
20 обработки этих газов до их направления в биореактор, в котором осуществляется процесс ферментации. Это особенно удивительно, так как общепризнано, что отходящие газы содержат загрязняющие вещества, которые отрицательно влияют на рост и/или
25 выживаемость микроорганизмов, используемых для ферментации. Настоящее изобретение особенно пригодно в случае, когда отходящие газы образуются в ходе производства стали, в частности, когда эти газы содержат СО и используются для производства спиртов (например, этанола, бутанола, изопропанола) и/или кислот
(например, масляной кислоты, уксусной кислоты и/или ацетата) и/или водорода. Хотя существует множество различных микроорганизмов, способных осуществлять подобные процессы, настоящее изобретение особенно пригодно для процессов ферментации, в которых используют *Clostridium autoethanogenum*.

Особая ценность данного аспекта настоящего изобретения заключается в том, что
30 оно позволяет уменьшить число стадий предварительной обработки отходящих газов до их использования в реакции ферментации или исключить такие стадии. Таким образом, изобретение обеспечивает более широкую пригодность и/или применимость подобных процессов ферментации, особенно на существующих промышленных
35 предприятиях, где для системы оборудования, предназначенного для проведения ферментации, имеется ограниченная, заданная площадь. Кроме того, поскольку эти отходящие газы не проходят или проходят ограниченную очистку и/или предварительную обработку, использование вариантов осуществления настоящего изобретения также может способствовать повышению качества или уменьшению
40 количества отходов этих производственных процессов благодаря тому, что уже не требуется обрабатывать отходы или загрязняющие вещества, образующиеся в процессах газоочистки и/или предварительной обработки.

Отходящие газы иных производственных процессов помимо производства стали могут быть использованы в способах настоящего изобретения аналогичным образом. Настоящее изобретение легко применимо к реакциям ферментации, в которых в качестве
45 источника углерода и энергии используются другие газообразные субстраты, а не монооксид углерода, образуются другие, нежели этанол, спирты, образуется водород, и/или в которых применяются другие микроорганизмы, а не *Clostridium autoethanogenum*.

Субстраты, пригодные для использования в процессах ферментации, часто также

содержат CO_2 . Кроме того, во многих реакциях ферментации, например, в тех, где CO преобразуется в продукты, включающие кислоты и/или спирты, могут образовываться значительные объемы CO_2 . Настоящее изобретение относится к способам, системам и процессам, направленным на усовершенствование улавливания общего углерода в таких реакциях ферментации.

В соответствии со способами настоящего изобретения, в результате удаления CO_2 (или других газов) из потока субстрата увеличивается концентрация CO (или парциальное давление CO в газообразном субстрате), и, таким образом, повышается эффективность реакций ферментации, в которых CO является субстратом. Благодаря увеличению парциального давления, CO в газообразном субстрате увеличивается массоперенос CO в средах ферментации. Кроме того, состав потоков газа, используемых в качестве сырья реакции ферментации, может оказывать значительное влияние на эффективность и/или издержки на проведение этой реакции. Например, наличие O_2 может понижать эффективность процесса анаэробной ферментации. Кроме того, обработка нежелательных или ненужных газов на стадиях процесса ферментации до или после ферментации может увеличивать расходы на таких стадиях (например, там, где давление потока газа перед подачей в биореактор увеличивают, на сжатие газа затрачивается энергия, которая не требуется для ферментации). Кроме того или в качестве альтернативы, компонент конкретного потока субстрата, представляющий собой CO_2 , может иметь ценность в случае использования в другой реакции, в том числе, в другой реакции ферментации.

Кроме того, в соответствии со способами настоящего изобретения, увеличение концентрации CO_2 в потоке, например, увеличение парциального давления CO_2 в газообразном потоке, способствует повышению эффективности процесса, в котором используется CO_2 , таком как ферментация. Примеры процессов, в которых используется CO_2 , таких как ферментация, хорошо известны в данной области. Примеры некоторых подобных процессов подробно описаны в WO 2006/108532 и включаются в настоящий документ путем ссылки.

Определенные аспекты настоящего изобретения, в целом, относятся к системам и способам повышения общего улавливания углерода в процессах, включающих микробиологическую ферментацию. В конкретных вариантах своего осуществления, настоящее изобретение относится к улавливанию CO_2 из потоков субстрата, подаваемых на реакцию ферментации. В качестве альтернативы или дополнительно, настоящее изобретение относится к улавливанию CO_2 из потоков отходящих газов после того, как данный поток вышел из биореактора. В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения субстрат, подаваемый на реакцию ферментации, содержит CO .

Кроме того, может быть желательным удалять и/или улавливать углеродсодержащие компоненты, такие как CO_2 и/или CH_4 , с целью повышения общего улавливания углерода в описанных выше процессах. Помимо этого или в качестве альтернативы, компоненты конкретного газа могут быть более ценными при использовании где-либо еще, а не в реакции ферментации (например, H_2 имеет большое значение как топливо).

Определенные аспекты настоящего изобретения, вообще, относятся к системам и способам повышения эффективности процессов производства продуктов путем микробиологической ферментации газов, в частности, путем использования, по меньшей мере, одного процесса отделения газа от потока газа, используемого в качестве сырья

ферментации, и/или потока газа, получаемого в результате ферментации. В одном из вариантов осуществления изобретения газоотделитель предназначен для, по существу, отделения, по меньшей мере, одной порции от потока газа, каковая порция содержит один или более компонент. Например, в газоотделителе может осуществляться отделение CO_2 от потока газа, содержащего следующие компоненты: CO , CO_2 , H_2 , где CO_2 может быть направлен в устройство для удаления CO_2 , а оставшийся поток газа (содержащий CO и H_2) может быть направлен в биореактор.

Потоки газов, получаемые в ходе производственных процессов, таких как серийное производство стали из железа на сталелитейном заводе, по своей природе могут быть прерывистыми, что может оказаться нежелательным, если эти газы используются для биоконверсии. Кроме того, природа этих потоков может быть такова, что состав газа изменяется циклически на различных фазах конкретного промышленного процесса. Например, в процессе производства стали, в те периоды, когда образуются, главным образом, не содержащие кислород газы, концентрация CO является наибольшей. Напротив, когда эти газы, большей частью, не содержат CO , могут присутствовать значительные количества O_2 . Для многих реакций ферментации, таких как реакции, осуществляемые анаэробными бактериями, в частности, карбоксидотрофными бактериями, требуется высокая концентрация CO , который, по существу, не содержит O_2 .

Определенные аспекты настоящего изобретения, вообще, относятся к системам и способам повышения эффективности процессов производства продуктов путем микробиологической ферментации газов, где потоки газов (или другие источники, такие как растворенные газы и/или углеводы), используемые в качестве сырья реакции ферментации, непостоянные по своей природе. Конкретные варианты осуществления изобретения описаны в контексте сталелитейной промышленности при использовании карбоксидотрофных бактерий для производства кислот и/или спиртов, в частности, этанола или бутанола. При рассмотрении настоящего описания специалистам в данной области станет ясно, что данное изобретение может быть применено в различных отраслях промышленности, а также на различных стадиях процесса изготовления стали. Кроме того, при рассмотрении настоящего описания специалистам в данной области станет ясно, что данное изобретение может быть применено к другим реакциям ферментации, включая реакции, в которых используются те же самые или другие микроорганизмы. Следовательно, подразумевается, что объем настоящего изобретения не ограничивается описанными конкретными вариантами его осуществления и/или применения, напротив, следует понимать, что изобретение относится к любому процессу ферментации, в котором, по меньшей мере, один элемент, используемый в качестве сырья данного процесса, подается в прерывистом, режиме, например, в котором используются отходящие газы промышленного процесса, каковые газы производятся в прерывистом режиме.

Определенные аспекты настоящего изобретения, вообще, относятся к системам и способам повышения эффективности процессов производства продуктов и/или улавливания углерода при помощи микробиологической ферментации потоков субстрата, где потоки субстрата смешивают с дополнительными потоками с целью оптимизации состава в соответствии с условиями микробиологической ферментации.

Неожиданно было обнаружено, что когда орошающую воду основного кислородно-конвертерного процесса или поток отходящего газа кислородного конвертера, поступающие со сталелитейного завода, смешивают со стандартными средами для

выращивания микроорганизмов при осуществлении реакции ферментации с использованием газа, содержащего монооксид углерода, с целью производства этанола в соответствии со способами настоящего изобретения, рост *Clostridium autoethanogenum*, а также их способность производить этанол, улучшается. Это особенно удивительно, так как ожидалось, что вода содержит загрязняющие примеси, которые могут быть вредны для роста и/или выживаемости микроорганизмов.

Этот факт очень ценен с точки зрения повышения качества или уменьшения количества отходов производственных процессов, повышения эффективности реакций ферментации, уменьшения количества сред, необходимых для поддержания реакций ферментации, и, следовательно, снижения эксплуатационных затрат. Таким образом, настоящее изобретение может способствовать уменьшению количества ацетатных побочных продуктов, образующихся в ходе таких реакций ферментации. Это может быть выгодно в тех случаях, когда ацетат не используется и, иначе, подлежал бы сбросу, увеличивая издержки производства и усугубляя экологические проблемы.

На основе полученных результатов, настоящее изобретение делает возможным использование орошающей воды в качестве основного сырья реакций ферментации. Орошающая вода иных производственных процессов помимо производства стали может быть использована аналогичным образом. Кроме этого, настоящее изобретение легко применимо к реакциям ферментации, в которых в качестве источника углерода и энергии используются другие газообразные субстраты, а не монооксид углерода, образуются другие, нежели этанол, спирты, образуется водород, и/или в которых применяются другие микроорганизмы, а не *Clostridium autoethanogenum*.

Одна или более особенность любых двух или более из указанных выше аспектов изобретения могут быть объединены и использованы в одной и той же системе с получением соответствующих преимуществ.

Определения

Если не указано иное, следующие термины, используемые в настоящем описании, означают изложенное ниже:

Термин «улавливание углерода» в контексте настоящего изобретения означает изъятие соединений углерода, в том числе, CO_2 и/или CO , из потока, содержащего CO_2 и/или CO , и:

- либо преобразование CO_2 и/или CO в продукты,
- либо преобразование CO_2 и/или CO в вещества, пригодные для длительного хранения,
- либо захват CO_2 и/или CO веществами, пригодными для длительного хранения; или сочетание этих процессов.

Термин «субстрат, содержащий монооксид углерода» и подобные ему термины следует понимать как охватывающие любой субстрат, в котором монооксид углерода доступен для одного или более штамма бактерий, которые используют его, например, для роста и/или ферментации.

Термин «газообразные субстраты, содержащие монооксид углерода» означает любой газ, содержащий монооксид углерода. Этот газообразный субстрат, обычно, содержит значительную долю CO , предпочтительно, по меньшей мере, от, примерно, 5 об.% до, примерно, 100 об.% CO .

Термин «биореактор» означает устройство для ферментации, состоящее из одного или более резервуара и/или колонны или трубопроводной обвязки, в том числе, проточный реактор с мешалкой (CSTR), биореактор с иммобилизованными клетками

(ICR), реактор с орошаемым слоем (TBR), барботажная реакторная колонна, газлифтный ферментер, мембранный реактор, такой как мембранный ферментер с системой полых волокон (HFMBR), статический смеситель или другие резервуары или другие устройства, пригодные для осуществления газожидкостного контакта.

5 Термин «сопутствующий субстрат» означает субстрат, который хотя и не обязательно является основным источником энергии и вещества для синтеза продукта, может быть использован для синтеза продукта, если его добавляют к другому субстрату, такому как основной субстрат.

10 Термин «кислота» в контексте настоящего документа охватывает и карбоновые кислоты, и соответствующие карбоксилат-анионы, например, смесь свободной уксусной кислоты и ацетата, присутствующая в содержимом ферментера, как описано в настоящем документе. Отношение количества свободной кислоты к количеству карбоксилата в содержимом ферментера зависит от pH этой системы. Кроме того, термин «ацетат» охватывает и ацетат как соль саму по себе, и смесь свободной уксусной кислоты и
15 ацетата, например, смесь этой соли и свободной уксусной кислоты, присутствующую в содержимом ферментера, как описано в настоящем документе.

Термин «ограниченная концентрация» означает концентрацию данного компонента в среде микробиологической ферментации, которая достаточно мала для того, чтобы наверняка быть исчерпанной на некоторой стадии ферментации.

20 Термин «прерывистый поток» означает не только потоки, которые недоступны в непрерывном режиме, но также потоки, которые не постоянно имеют заданный состав.

Термин «орошающая вода» относится к воде или другим жидкостям, полученным в результате очистки потоков газа, образующихся в ходе производственных процессов, таких как производство изделий из черных металлов, производство изделий из цветных
25 металлов, процессы нефтепереработки, газификация угля, газификация биомассы, выработка электроэнергии, производство технического углерода и производство кокса.

Термин «непосредственно», используемый в отношении направления промышленного дымового или отходящего газа в биореактор, означает, что не производится никакой или производится минимальная обработка этих газов, такая как охлаждение и удаление
30 твердых частиц, до их подачи в биореактор (примечание: стадия удаления кислорода может быть нужна в случае анаэробной ферментации).

Термин «заданный состав» в настоящем документе используется для обозначения нужного количества и типа компонентов в материале, например, в потоке газа. Более конкретно, газ рассматривается как имеющий «заданный состав», если он содержит
35 определенный компонент (например, CO и/или CO₂) и/или содержит определенный компонент в определенном количестве и/или не содержит определенный компонент (например, загрязняющее вещество, вредное для микроорганизмов) и/или не содержит определенный компонент в определенном количестве. При определении, имеет ли поток газа заданный состав, может рассматриваться более чем один компонент.

40 Термин «поток» используется для обозначения движения материала, поступающего, протекающего через и выходящего с одной или более стадии процесса, например, материала, подаваемого в биореактор и/или необязательное устройство для удаления CO₂. Состав потока может изменяться по мере его прохождения определенных стадий.

45 Например, когда поток проходит через биореактор, содержание CO в этом потоке может уменьшаться, тогда как содержание CO₂ может увеличиваться. Аналогично, когда поток проходит через стадию удаления CO₂, содержание CO₂ в нем уменьшается.

Если контекст не подразумевает иного, фразы «ферментация», «процесс ферментации»

или «реакция ферментации» и т.п., используемые в настоящем документе, охватывают и фазу роста, и фазу биосинтеза продукта данного процесса.

Термины «повышение эффективности», «повышенная эффективность» и т.п., используемые в отношении процесса ферментации, включают, помимо прочего, 5 увеличение одного из следующих показателей: скорость роста микроорганизмов в ходе ферментации, объем или масса целевого продукта (такого как спирты), производимого на единицу объема или массы потребляемого субстрата (такого как монооксид углерода), производительность или уровень производства целевого продукта и относительная доля целевого продукта по сравнению с другими побочными продуктами 10 ферментации; и, кроме того, могут отражать ценность (которая может быть положительной или отрицательной) любого побочного продукта, образующегося в ходе этого процесса.

В одном из аспектов настоящее изобретение относится к системам и способам повышения общего улавливания углерода в процессах производства продуктов путем 15 микробиологической ферментации, каковые системы и способы включают, по меньшей мере, одну стадию удаления CO_2 , осуществляемую в отношении субстратов и/или потоков до (то есть, раньше по ходу технологического потока) или после (то есть, далее по ходу технологического потока) реакции ферментации. В определенных вариантах осуществления настоящего изобретения субстрат содержит CO . Обычно, субстрат 20 является газообразным; однако, этим настоящее изобретение не ограничивается.

В одном из аспектов настоящее изобретение относится к системам и способам повышения эффективности процессов производства продуктов путем микробиологической ферментации газов, каковые системы и способы включают, по 25 меньшей мере, одну стадию отделения газа, осуществляемую в отношении этих газов до (то есть, раньше по ходу технологического потока) или после (то есть, далее по ходу технологического потока) реакции ферментации. Как отмечено выше, в определенных вариантах осуществления изобретения газообразный субстрат, используемый для микробиологической ферментации, содержит CO ; однако, этим настоящее изобретение не ограничивается.

30 В другом конкретном аспекте настоящее изобретение относится к системам и способам повышения эффективности процессов производства продуктов путем микробиологической ферментации газов, особенно в случаях, когда подача этих газов по своей природе прерывистая. В определенных вариантах осуществления изобретения газообразный субстрат, используемый для микробиологической ферментации, содержит 35 CO ; однако, этим настоящее изобретение не ограничивается.

Кроме того, настоящим изобретением обеспечиваются способы и системы для производства спирта с использованием микробиологической ферментации. Эти способы и системы предусматривают использование отходящих газов производственных 40 процессов, таких как производство стали, для реакции ферментации, где до такого использования эти газы не подвергаются или подвергаются минимальной дополнительной обработке. В определенных вариантах осуществления изобретения отходящие газы одного или более производственного процесса и/или поступающие из альтернативных источников соединяют или смешивают с целью получения потока с заданным или оптимизированным составом, соответствующим условиям реакции 45 ферментации.

Настоящим изобретением также обеспечиваются способы и системы для оптимизации состава потока субстрата, содержащего CO , поступающего, по меньшей мере частично, из какого-либо производственного процесса, такого как производство стали.

Настоящим изобретением также обеспечиваются способы производства спирта с использованием микробиологической ферментации и способы повышения эффективности производства спирта с использованием микробиологической ферментации. В одном из вариантов осуществления изобретения эти способы предусматривают использование в реакции ферментации орошающей воды какого-либо производственного процесса.

Хотя определенные варианты осуществления настоящего изобретения, а именно те, которые включают производство этанола путем анаэробной ферментации с использованием СО в качестве основного субстрата, со всей очевидностью являются ценными усовершенствованиями технологии, вызывающей на сегодняшний день большой интерес, следует понимать, что данное изобретение применимо к производству альтернативных продуктов, таких как другие спирты, и использованию альтернативных субстратов, в частности, газообразных субстратов, что станет понятно специалистам в данной области, которых касается настоящее изобретение, при рассмотрении данного описания. Например, в конкретных вариантах осуществления изобретения могут быть использованы газообразные субстраты, содержащие диоксид углерода и водород. Кроме того, данное изобретение применимо к процессам ферментации, направленным на производство ацетата, бутирата, пропионата, капроата, этанола, пропанола и бутанола, а также водорода. Например, данные продукты могут быть произведены путем ферментации, для которой используются микроорганизмы рода *Moorella*, *Clostridia*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*.

Определенные варианты осуществления настоящего изобретения предусматривают использование потоков газа, исходящих из одного или более производственного процесса. К таким процессам относятся процессы производства стали, в частности, процессы, в которых образуется поток газа с высоким содержанием СО или содержанием СО, превышающим заранее установленный уровень (то есть 5%). В соответствии с такими вариантами осуществления изобретения, для производства кислот и/или спиртов, в частности, этанола или бутанола, в одном или более биореакторе используются карбоксидотрофные бактерии. Специалистам в данной области при рассмотрении данного описания станет ясно, что настоящее изобретение может быть применено в различных областях промышленности или к различным потокам газов, в том числе, выхлопным газам двигателей внутреннего сгорания. Кроме того, специалистам в данной области при рассмотрении данного описания станет ясно, что настоящее изобретение применимо к другим реакциям ферментации, включая те, в которых используются те же или другие микроорганизмы. Следовательно, подразумевается, что объем настоящего изобретения не ограничивается конкретными описанными вариантами его осуществления и/или применения, напротив, его следует толковать в более широком смысле; например, источник потока газа не ограничивается ничем кроме того, что, по меньшей мере, один его компонент пригоден как сырье реакции ферментации. Настоящее изобретение особенно применимо для повышения общего улавливания углерода и/или производства этанола и других спиртов из газообразных субстратов, таких как автомобильные выхлопные газы и промышленные отходящие газы с большим объемным содержанием СО.

Ферментация

Способы производства этанола и других спиртов из газообразных субстратов (таких, как описаны выше в разделе, посвященном уровню техники) известны. Такие способы описаны, например, в документах WO 2007/117157 и WO 2008/115080, а также патентах

США №№ 6340581, 6136577, 5593886, 5807722 и 5821111, каждый из которых включается в настоящий документ путем ссылки.

Известен целый ряд анаэробных бактерий, способных осуществлять ферментацию СО с образованием спиртов, в том числе, н-бутанола и этанола, уксусной кислоты, и пригодных для использования в способе настоящего изобретения. К примерам таких бактерий, пригодных для использования в контексте настоящего изобретения, относятся бактерии рода *Clostridium*, такие как штамм *Clostridium ljungdahlii*, включая описанные в WO 00/68407, EP 117309, патентах США №№ 5173429, 5593886 и 6368819, WO 98/00558 и WO 02/08438, *Clostridium carboxydivorans* (Liou и др., *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 33: pp. 2085-2091) и *Clostridium autoethanogenum* sp (Arbini и др., *Archives of Microbiology* 161, pp. 345-351 (1994)). Другими пригодными бактериями являются бактерии рода *Moorella*, в том числе, *Moorella* sp HUC22-1 (Salai и др., *Biotechnology Letters* 29: pp. 1607-1612) и рода *Carboxydotherrmus* (Svetlichny, V.A. и др., (1991) *Systematic and Applied Microbiology* 14: 254-260). Описание каждой из этих публикаций включается в настоящий документ путем ссылки. Кроме того, специалистами в данной области в процессах, к которым относится настоящее изобретение, могут быть использованы другие карбоксидотрофные анаэробные бактерии. При рассмотрении настоящего описания также станет ясно, что в процессах, к которым относится настоящее изобретение, может быть использована смешанная культура из двух или более разновидностей бактерий.

Выращивание бактерий, используемых в способе настоящего изобретения, может быть осуществлено с использованием любого числа процессов, известных в данной области и предназначенных для выращивания анаэробных бактерий и ферментации субстратов с их использованием. Примеры методик даны в разделе Примеры, приведенном ниже. Дополнительно скажем, что могут быть использованы следующие процессы с использованием газообразных субстратов для ферментации, в общих чертах описанные в следующих статьях: (i) К.Т. Klasson и др., (1991). *Bioreactors for synthesis gas fermentations resources. Conservation and Recycling* (Биореакторы для реакций ферментации синтез-газа. Консервация и рециркуляция), 5; 145-165; (ii) К.Т. Klasson и др., (1991). *Bioreactor design for synthesis gas fermentations. Fuel*. (Конструкция биореактора для ферментации синтез-газа. Топливо.) 70. 605-614; (iii) К.Т. Klasson и др., (1992). *Bioconversion of synthesis gas into liquid or gaseous fuels. Enzyme and Microbial Technology*. (Биоконверсия синтез-газа в жидкие и газообразные топлива. Ферментативная и микробиологическая технология) 14; 602-608; (iv) J.L. Vega и др. (1989). *Study of Gaseous Substrate Fermentation: Carbon Monoxide Conversion to Acetate. 2. Continuous Culture*. (Исследование ферментации газообразного субстрата: преобразование монооксида углерода в ацетат. 2. Непрерывная культура) *Biotech. Bioeng.* 34. 6. 785-793; (vi) J.L. Vega и др. (1989), *Study of Gaseous Substrate Fermentation: Carbon Monoxide Conversion to Acetate. 1. Batch Culture*. (Исследование ферментации газообразного субстрата: преобразование монооксида углерода в ацетат. 1. Периодическая культура) *Biotechnology and Bioengineering*. 34. 774-784; (vii) J.L. Vega и др. (1990). *Design of Bioreactors for Coal Synthesis Gas Fermentations. Resources, Conservation and Recycling*. (Конструкция биореакторов для ферментации полученного газификацией угля синтез-газа. Ресурсы, консервация и рециркуляция) 3. 149-160; все статьи включаются в настоящее описание путем ссылки.

Одним из примеров микроорганизмов, пригодных для использования в контексте настоящего изобретения, является *Clostridium autoethanogenum*. В одном из вариантов осуществления изобретения *Clostridium autoethanogenum* представляет собой *Clostridium autoethanogenum* с отличительными характеристиками штамма, который внесен в банк

биологического материала в Германии (German resource Centre for Biological Material - DSMZ) под идентификационным номером вложения 19630. В другом варианте осуществления изобретения *Clostridium autoethanogenum* представляет собой *Clostridium autoethanogenum* с отличительными характеристиками штамма с номером вложения
5 DSMZ 10061.

Ферментация может быть осуществлена в любом подходящем реакторе. В некоторых вариантах осуществления изобретения биореактор может включать первый реактор, реактор роста, в котором выращивают микроорганизмы, и второй реактор, реактор ферментации, в который подают содержимое реактора роста и в котором образуется
10 большая часть продукта ферментации (например, этанола и ацетата).

В соответствии с различными вариантами осуществления изобретения, источник углерода для реакции ферментации представляет собой газообразный субстрат, содержащий СО. Газообразный субстрат может быть содержащим СО отходящим газом, получаемым в качестве побочного продукта в каком-либо производственном
15 процессе, или может поступать из другого источника, например, представлять собой автомобильные выхлопные газы. В определенных вариантах осуществления изобретения производственный процесс подбирают из группы, в которую входят производство изделий из черных металлов, например, осуществляемое на сталелитейном заводе, производство изделий из цветных металлов, процессы нефтепереработки, газификация
20 биомассы, газификация угля, выработка электроэнергии, производство технического углерода, производство аммиака, производство метанола и производство кокса. В этих вариантах осуществления изобретения содержащий СО газ может быть выведен из производственного процесса перед его выбросом в атмосферу с использованием традиционного способа. В зависимости от состава газообразного содержащего СО
25 субстрата, также может оказаться желательным подвергнуть его обработке с целью удаления любых нежелательных примесей, таких как частицы пыли, перед подачей субстрата на ферментацию. Например, газообразный субстрат может быть отфильтрован или подвергнут газоочистке при помощи известных способов.

Содержащий СО газообразный субстрат, в идеале, содержит значительную долю
30 СО, например, от, примерно, 5 об.% до, примерно, 100 об.% СО или от 20 об.% до 95 об.% СО или от 40 об.% до 95 об.% СО или от 60 об.% до 90 об.% СО или от 70 об.% до 90 об.% СО. Газообразные субстраты с более низкой концентрацией СО, например 6%, также могут быть приемлемы, особенно, если в них еще присутствуют H_2 и CO_2 .

Хотя необязательно, чтобы газообразный субстрат содержал какое-либо количество
35 водорода, присутствие водорода, как правило, не является неблагоприятным для образования продукта в соответствии со способами настоящего изобретения. Однако, в определенных вариантах осуществления изобретения газообразный субстрат, по существу, не содержит водорода (менее 1%). Газообразный субстрат также может содержать некоторое количество CO_2 , например, от, примерно, 1 об.% до, примерно,
40 30 об.% или, например, от, примерно, 5 об.% до, примерно, 10 об.% CO_2 .

Как отмечено ранее, присутствие водорода в потоке субстрата может привести к повышению эффективности общего улавливания углерода и/или производительности по этанолу. Например, в WO 0208438 описано производство этанола с использованием
45 потоков газа различного состава. В предпочтительном варианте осуществления изобретения в биореактор с культурой *C.ljungdahlii* подавали поток субстрата, содержащий 63% H_2 , 32% СО и 5% CH_4 , с целью интенсификации роста микроорганизмов и увеличения производства этанола. Когда культура достигла стабильного состояния,

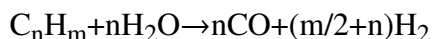
и рост микроорганизмов перестал быть главной целью, поток субстрата изменили на содержащий 15,8% H₂, 36,5% CO, 38,4% N₂ и 9,3% CO₂, чтобы обеспечить небольшой избыток CO и увеличить производство этанола. В этом документе также описаны потоки газа с более высокими и более низкими концентрациями CO и H₂.

Следовательно, чтобы повысить производство спирта и/или общее улавливание углерода, может оказаться необходимым изменить состав потока субстрата. Помимо этого или в качестве альтернативы, состав может быть изменен (то есть, отрегулированы концентрации CO, CO₂ и/или H₂) с целью оптимизации эффективности реакции ферментации и, в конечном счете, увеличения производства спирта и/или общего улавливания углерода.

В некоторых вариантах осуществления изобретения источником содержащего CO газообразного субстрата может быть процесс газификации органического материала, такого как метан, этан, пропан, уголь, природный газ, сырая нефть, малоценные остатки нефтепереработки (в том числе нефтяной кокс), твердые бытовые отходы или биомасса. В биомассе содержатся побочные продукты, получаемые в ходе экстракции и обработки пищевых продуктов, такие как сахар из сахарного тростника или крахмал из маиса или зерновых культур; или отходы непищевой биомассы, образующиеся в лесной промышленности. Любой из этих углеродистых материалов может быть подвергнут газификации, то есть частичному сгоранию в присутствии кислорода с получением синтез-газа (газа, содержащего значительные количества H₂ и CO). В процессе газификации, обычно, образуется синтез-газ с молярным отношением H₂/CO, примерно, от 0,4:1 до 1,2:1, наряду с меньшими количествами CO₂, H₂S, метана и других инертных соединений. Это отношение в производимом газе может быть изменено известными специалистам способами и подробно описано в WO 200701616. Однако, для регулирования отношения CO:H₂ в продукте могут быть изменены, например, следующие условия в системе для газификации: состав сырья (особенно отношение C: H), рабочее давление, температурный профиль (влияющий на быстрое охлаждение смеси продуктов) и применяемый окислитель (воздух, обогащенный кислородом воздух, чистый O₂ или пар; при этом применение пара дает большее отношение CO:H₂).

Следовательно, рабочие условия системы для газификации могут быть отрегулированы так, чтобы обеспечить производство потока субстрата заданного состава, соответствующего условиям ферментации или смешивания с одним или более другим потоком с целью обеспечения оптимизированного или заданного состава, позволяющего получить увеличенный выход спирта и/или повысить общее улавливание углерода в процессе ферментации.

В других вариантах осуществления изобретения содержащий CO субстрат может быть получен из процесса парового реформинга углеводородов. Углеводороды, например, составляющие природный газ, могут быть подвергнуты реформингу при высокой температуре с целью получения CO и H₂ в соответствии со следующим уравнением:



Например, паровой реформинг метана включает осуществление реакции пара с метаном с получением CO и H₂ при повышенной температуре (700-1100°C) в присутствии никелевого катализатора. Образующийся поток (содержащий 1 моль CO и 3 моля H₂ на каждый моль преобразованного CH₄) может быть непосредственно направлен в

ферментер или смешан с потоком субстрата из другого источника с целью повышения производительности по этанолу и/или общего улавливание углерода в процессе ферментации. Спирты, такие как метанол, также могут быть подвергнуты реформингу с получением CO_2 и H_2 , которые могут быть использованы аналогичным образом.

5 В другом варианте осуществления изобретения содержащий CO субстрат получают из процесса производства стали. В сталелитейном производстве железную руду измельчают, превращают в порошок и подвергают предварительной обработке, такой как спекание и грануляция, а затем направляют в доменную печь, где она плавится. В
10 процессе плавки кокс выполняет роль источника углерода, который является восстановителем, восстанавливающим железную руду. Кокс также является источником тепла для нагревания и плавления материалов. Горячий металл обезуглероживают в кислородном конвертере путем нагнетания высокоскоростной струи чистого кислорода, направленной на поверхность горячего металла. Кислород вступает в непосредственную реакцию с углеродом внутри горячего металла с образованием монооксида углерода
15 (CO). Следовательно, из кислородного конвертера выходит поток газа с высоким содержанием CO . В соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения, этот поток используют в качестве сырья одной или более реакции ферментации. Однако, как ясно специалистам в данной области, CO может производиться на других стадиях процесса изготовления стали, и, в соответствии с
20 различными вариантами осуществления изобретения, эти альтернативные источники могут быть использованы вместо или в сочетании с газами, отходящими из кислородного конвертера. В зависимости от конкретного источника (то есть, определенной стадии процесса изготовления стали) содержание CO в отходящих газах может изменяться. Кроме того, могут иметь место периоды, в течение которых один или более такой поток прерывается, особенно на системах периодического действия.

Обычно, потоки, отходящие со стадии обезуглероживания сталелитейного производства, содержат большое количество CO и малое количество H_2 . Хотя такие потоки могут быть непосредственно направлены в биореактор при небольшой
30 дополнительной обработке или без нее, может оказаться желательным оптимизировать состав потока субстрата, чтобы достичь более высокой эффективности производства спирта и/или общего улавливания углерода. Например, перед подачей этого потока в биореактор может быть увеличена концентрация H_2 в субстрате.

В соответствии с конкретными вариантами осуществления настоящего изобретения,
35 потоки из двух или более источников могут быть объединены и/или смешаны с целью получения заданного и/или оптимизированного потока субстрата. Например, поток с высокой концентрацией CO , например, отходящий из сталелитейного конвертера, может быть объединен с потоком с высокой концентрацией H_2 , таким как отходящий газ коксовой печи сталелитейного завода.

40 Начальная стадия сталелитейного производства, обычно, включает восстановление железной руды с использованием кокса. Кокс представляет собой источник твердоуглеродного топлива, используемого для плавления и восстановления железной руды, и, обычно, производится на сталелитейном предприятии. В процессе изготовления кокса битуминозный уголь подают в ряд герметичных печей, где его нагревают при
45 высокой температуре в отсутствие кислорода, обычно циклически, с длительностью циклов от 14 до 36 часов. Твердый углерод, оставшийся в печи, это кокс. Его перемещают в башенный охладитель, где охлаждают путем разбрызгивания воды или циркуляции инертного газа (азота), затем просеивают и направляют в доменную печь.

Летучие соединения, образующиеся в ходе этого процесса, как правило, подвергаются обработке с целью удаления смол, аммиака, нафталина, фенола, легких фракций и серы перед тем, как использовать этот газ в качестве топлива для нагревания печей. Газ, образующийся в результате производства кокса, обычно, характеризуется высоким содержанием H_2 (типичный состав: 55% H_2 , 25% CH_4 , 6% CO , 3% N_2 , 2% других углеводородов). По существу, по меньшей мере, часть газа коксовой печи может быть направлена в процесс ферментации для смешивания с потоком, содержащим CO , с целью повышения производительности по спирту и/или общего улавливания углерода. Может оказаться необходимым подвергнуть отходящий газ коксовой печи обработке до направления его в ферментер с целью удаления побочных продуктов, которые могут быть токсичны для данной культуры.

В качестве альтернативы или дополнительно, прерывистый поток, содержащий CO , такой как поток отходящих газов конвертера, может быть соединен и/или смешан с, по существу, непрерывным потоком, содержащим CO и, необязательно, H_2 , таким как синтез-газ, образующийся в процессе газификации, как описано ранее. В определенных вариантах осуществления изобретения таким образом поддерживается, по существу, непрерывная подача потока субстрата в биореактор. В конкретном варианте осуществления изобретения поток, образующийся в системе газификации, может быть увеличен и/или уменьшен в соответствии с прерывистым поступлением CO из промышленного источника, чтобы поддерживать, по существу, непрерывный поток субстрата с нужным или оптимизированным составом. В другом варианте осуществления изобретения условия в системе газификации могут быть изменены, как описано выше, чтобы увеличить или уменьшить отношение $CO:H_2$ в соответствии с прерывистым поступлением CO из промышленного источника с целью поддержания, по существу, непрерывного потока субстрата с заданным или оптимизированным содержанием CO и H_2 .

Обычно, потоки субстрата, используемые в контексте настоящего изобретения, газообразные; однако, этим изобретение не ограничивается. Например, монооксид углерода может быть подан в биореактор в жидкости. Например, жидкость может быть насыщена газом, содержащим монооксид углерода, и затем подана в биореактор. Это может быть выполнено в соответствии со стандартной методикой. Например, для этой цели может быть использован генератор дисперсии микропузырьков (Hensirisak и др., Scale-up of microbubble dispersion generator for aerobic fermentation (Масштабирование генератора дисперсии микропузырьков для аэробной ферментации); Applied Biochemistry and Biotechnology Volume 101, number 3, October 2002).

Следует понимать, что для роста бактерий и ферментации CO в этанол, помимо содержащего CO газообразного субстрата в биореактор необходимо подавать надлежащую жидкую питательную среду. Питательная среда должна содержать достаточно для роста используемых микроорганизмов витаминов и минералов. Анаэробные среды, пригодные для ферментации с получением этанола при использовании CO в качестве единственного источника углерода, известны в данной области. Например, пригодные среды описаны в патентах США №№ 5173429 и 5593886 и WO 02/08438, WO 2007/115157 и WO 2008/115080, ссылки на которые уже приводились. В разделе Примеры настоящего документа даны другие примеры сред.

Желательно, чтобы ферментация осуществлялась в надлежащих с точки зрения нужной реакции ферментации (например, CO в этанол) условиях. Условия реакции, которые следует рассмотреть, включают давление, температуру, расход газа, расход

жидкости, рН среды, окислительно-восстановительный потенциал среды, интенсивность перемешивания (если используется проточный реактор с мешалкой), концентрацию посевного материала, максимальную концентрацию газообразного субстрата, гарантирующую, что количество СО в жидкой фазе неограниченно, максимальную

5 концентрацию продукта, исключая ингибирование его образования.

Оптимальные условия реакции частично зависят от того, какой конкретно микроорганизм используется. Однако, в целом, может быть предпочтительным осуществление ферментации при давлении выше атмосферного. Работа при повышенном давлении позволяет существенно повысить интенсивность перехода СО из газовой фазы

10 в жидкую фазу, где он может быть использован микроорганизмами в качестве источника углерода для производства этанола. Это, в свою очередь, означает, что время пребывания (определяемое как объем жидкости в биореакторе, деленный на расход подаваемого газа) может быть уменьшено тогда, когда в биореакторах поддерживается повышенное, а не атмосферное давление.

Кроме того, поскольку степень конверсии СО в этанол, отчасти, является функцией времени пребывания субстрата, достижение заданного времени удерживания, в свою очередь, определяет требуемый, объем биореактора, то в случае использования реактора под давлением требуемый объем биореактора значительно меньше, и, следовательно, меньше капитальные затраты на оборудование для ферментации. В соответствии с

15 примерами, приведенными в патенте США № 5593886, объем реактора может быть уменьшен в линейной зависимости от увеличения рабочего давления в реакторе, то есть, биореакторы, работающие под давлением 10 атмосфер, должны иметь объем, составляющий одну десятую объема реакторов, работающих под давлением 1 атмосфера.

Преимущества осуществления ферментации газа в этанол при повышенном давлении также уже описаны в других публикациях. Например, в заявке WO 02/08438 описаны способы ферментации газа в этанол, осуществляемой под давлением 30 фунтов/кв. дюйм (206,8 кПа) и 75 фунтов/кв. дюйм (517,1 кПа), что обеспечивает

25 производительность по этанолу 150 г/л/день и 369 г/л/день, соответственно. Однако имеются примеры процессов ферментации, осуществляемых с использованием аналогичных сред и составов подаваемого газа при атмосферном давлении,

30 позволяющие получить в 10-20 раз меньше этанола в расчете на литр в день.

Также желательно, чтобы интенсивность подачи содержащего СО газообразного субстрата была такова, чтобы концентрация СО в жидкой фазе гарантированно была неограниченной. Причина в том, что из-за ограничения количества доступного СО

35 культура может потреблять этанол, являющийся продуктом.

Извлечение продукта

Продукты реакции ферментации могут быть извлечены с использованием известных способов. К примерам таких способов относятся описанные в WO 2007/11757, WO 2008/115080 и патентах США №№ 6340581, 6136577, 5593886, 5807722 и 5821111. Однако,

40 если говорить кратко или только в качестве примера, этанол может быть извлечен из содержимого ферментера такими способами, как фракционная перегонка или выпаривание и экстрактивная ферментация.

Отгонка этанола от содержимого ферментера дает азеотропную смесь этанола и воды (то есть, 95% этанола и 5% воды). Впоследствии, безводный этанол может быть

45 получен при помощи технологии обезвоживания этанола на молекулярных ситах, которая также известна в данной области.

Методика экстрактивной ферментации включает использование смешиваемого с водой растворителя, который представляет малый риск оказания токсического

воздействия на осуществляющие ферментацию микроорганизмы, с целью извлечения этанола из разбавленного содержимого ферментера. Например, растворителем, который может быть использован в процессе экстракции такого типа, является олеиловый спирт. В этом случае олеиловый спирт непрерывно подают в ферментер, где этот растворитель
5 поднимается, образуя на поверхности слой, который непрерывно отделяют и пропускают через центрифугу. Вода и клетки легко отделяются от олеилового спирта, и их возвращают в ферментер, тогда как насыщенный этанолом растворитель подают в устройство мгновенного испарения. Большая часть этанола испаряется и конденсируется, тогда как нелетучий олеиловый спирт подлежит повторному
10 использованию в процессе ферментации.

Ацетат также может быть извлечен из содержимого ферментера известными в данной области способами. Например, может быть использовано адсорбционное устройство, в котором имеется фильтр с активированным древесным углем. В этом случае из содержимого ферментера сначала удаляют клетки микроорганизмов, используя
15 подходящий способ разделения. В данной области известны многочисленные основанные на фильтрации способы получения свободного от клеток микроорганизмов содержимого ферментера, из которого нужно извлечь продукт. Затем освобожденный от клеток фильтрат, содержащий этанол и ацетат, пропускают через колонну, в которой имеется активированный древесный уголь, с целью адсорбции ацетата. Ацетат в форме кислоты
20 (уксусная кислота), а не соли (ацетат) легче адсорбируется активированным древесным углем. Следовательно, предпочтительно уменьшить pH содержимого ферментера перед его подачей в колонну с активированным углем до менее, примерно, 3, чтобы большая часть ацетата перешла в форму уксусной кислоты.

Уксусная кислота, адсорбированная на активированном древесном угле, может быть
25 извлечена путем элюирования с использованием известных в данной области способов. Например, для элюирования связанного ацетата может быть использован этанол. В определенных вариантах осуществления изобретения для элюирования ацетата может быть использован тот этанол, который образуется в данном процессе ферментации. Поскольку температура кипения этанола составляет 78,8°C, а температура кипения
30 уксусной кислоты равна 107°C, этанол легко отделить от ацетата при помощи способа, основанного на различии в летучести, такого как перегонка.

В данной области известны другие способы извлечения ацетата из содержимого ферментера, которые также могут быть использованы в способах настоящего изобретения. Например, в патентах США №№ 6368819 и 6753170 описана система
35 растворителя и соразтворителя, которая может быть использована для экстракции уксусной кислоты из содержимого ферментера. Как и в случае описанной выше системы на основе олеилового спирта, применяемой для экстрактивной ферментации этанола, системы, описанные в патентах США №№ 6368819 и 6753170, содержат смешиваемые с водой растворитель/соразтворитель и могут быть смешаны с содержимым ферментера
40 либо в присутствии, либо в отсутствии ферментирующих микроорганизмов с целью экстракции уксусной кислоты. Систему растворитель/соразтворитель, содержащую уксусную кислоту, затем отделяют от содержимого ферментера перегонкой. После этого может быть применена вторая стадия перегонки с целью очистки уксусной кислоты от системы растворитель/соразтворитель.

45 Продукты реакции ферментации (например, этанол и ацетат) могут быть извлечены из содержимого ферментера путем непрерывного отведения из ферментера порции его содержимого, отделения от него клеток микроорганизмов (что удобно выполнить путем фильтрации) и извлечения, одновременно или последовательно, одного или более

продукта. Этанол удобно извлекать путем перегонки, ацетат может быть извлечен путем адсорбции на активированном древесном угле с использованием описанных выше способов. Отделенные клетки микроорганизмов могут быть возвращены в ферментер. Свободный от клеток фильтрат, оставшийся после извлечения этанола и ацетата, также может быть возвращен в ферментер. В этот свободный от клеток фильтрат перед его возвращением в ферментер могут быть добавлены питательные вещества (такие как витамины группы В), восстанавливающие питательную среду. Кроме того, если рН содержимого ферментера изменяли, как описано выше, с целью интенсификации адсорбции уксусной кислоты на активированном древесном угле, рН должен быть снова изменен до исходного значения рН содержимого ферментера перед тем, как фильтрат будет возвращен в биореактор.

Удаление CO₂

В соответствии с определенными вариантами осуществления изобретения, система для удаления CO₂ включает устройства для селективного отделения CO₂, от смешанного потока и устройство для преобразования CO₂ в продукты и/или подготовки CO₂ к хранению или дальнейшему использованию. В качестве альтернативы, данная система включает устройство для преобразования CO₂ в потоке непосредственно в продукты и/или соединения, пригодные для хранения или дальнейшего использования.

В одном из вариантов осуществления изобретения CO₂ селективно отделяют от смешанного потока газа с использованием любого известного в данной области устройства отделения, как, например, в примерах способов, приводимых ниже. Другие способы отделения CO₂, которые могут быть использованы в вариантах осуществления изобретения, включают экстракцию оксидом металла, таким как СаО, и использование пористого углерода или экстракции селективным растворителем, например, экстракции амином.

Амины, такие как водный моноэтаноламин (МЕА), дигликольамин (DGA), диэтаноламин (DEА), диизопропаноламин (DIPA) и метилдиэтаноламин (MDEA), широко используются в промышленности для удаления CO₂, и сероводорода из потоков природного газа и потоков процесса нефтепереработки.

CO₂, отделенный в таких процессах, можно временно хранить. В данной области известно множество примеров временного хранения CO₂, такие как хранение в подземных хранилищах (геосеквестрация), океаническое хранение и минеральное хранение (например, преобразование в карбонаты металлов).

При подземном хранении диоксид водорода нагнетают, как правило, в сверхкритическом, состоянии, непосредственно в подземные геологические формации. В качестве мест хранения предлагаются нефтяные месторождения, газовые месторождения, соленосные формации, непригодные к эксплуатации угольные пласты и заполненные солончаками базальтовые формации. Для предотвращения выхода CO₂ на поверхность используются различные физические (например, в значительной степени непроницаемая экранирующая порода) и геохимические механизмы захвата. По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в хорошо подобранных, приспособленных и надлежащим образом эксплуатируемых подземных хранилищах CO₂ может быть удерживаем в течение миллионов лет, эти хранилища способны удерживать более 99% закаченного CO₂ более 1000 лет.

Для океанического хранения предложено несколько вариантов: (i) закачивание «с

растворением», когда CO_2 посредством судна или трубопровода закачивают в воду на глубину 1000 м или более, и CO_2 , по существу, растворяется; (ii) «озерное» хранение CO_2 непосредственно на морском дне на глубинах более 3000 м, на которых CO_2 имеет большую плотность, чем вода, и, как предполагают, образует «озеро», которое задерживает растворение CO_2 в окружающей среде; (iii) преобразование CO_2 в биокарбонаты (с использованием известняка); (iv) хранение CO_2 в твердых клатратных гидратах, уже имеющихся на дне океана, или использование при выращивании новых твердых клатратов.

Для минерального хранения осуществляют экзотермическую реакцию CO_2 с имеющимися в избытке оксидами металлов с получением устойчивых карбонатов. Этот процесс происходит в природе многие годы, в результате чего образовалась большая часть наземного известняка. Скорость реакции можно увеличить, например, осуществлением реакции при более высокой температуре и/или давлении или путем предварительной обработки минералов, хотя такой способ связан с дополнительными затратами энергии.

В качестве альтернативы, отделенный CO_2 можно использовать для изготовления продуктов, как в случае прямого или косвенного преобразования в углеводороды. Хорошо известным процессом производства углеводородов является получение метанола из CO_2 и H_2 . В данной области также известна каталитическая или электрохимическая диссоциация воды с образованием ионов кислорода и водорода, где ионы водорода могут быть использованы для превращения CO_2 в углеводороды. Если CO_2 нагреть до 2400°C , он расщепляется на монооксид углерода и кислород. Для преобразования CO в углеводороды может быть использован процесс Фишера-Тропша. В подобных процессах CO может быть возвращен в процесс ферментации. Например, нужная температура может быть достигнута при использовании камеры с зеркалом, фокусирующим солнечный свет на газе. В качестве альтернативы, отделенный CO_2 может быть использован в последующей реакции(реакциях) ферментации для получения продуктов. Специалистам в данной области ясно, что имеется множество примеров реакций микробиологической ферментации, в ходе которых CO_2 преобразуется в продукты. Например, CO_2 может быть превращен в метан путем анаэробной ферментации с использованием метаногенных микроорганизмов. Примеры этого и других родственных процессов ферментации описаны в упоминаемом выше документе WO 2006/108532. Дополнительные примеры реакций ферментации с использованием CO_2 с целью производства продуктов приведены в упоминаемых выше документах WO 2007/117157 и WO 2008/115080.

CO_2 также является хорошим сырьем для производства синтез-газа. CO_2 может быть подан в реформер (систему для газификации угля) с целью уменьшения потребления метана, и улучшения/увеличения отношения $\text{H}_2:\text{CO}$. Следовательно, в одном из вариантов осуществления изобретения, по меньшей мере, часть отделенного CO_2 может быть направлена в систему для газификации угля, интегрированную в технологический процесс ферментации.

В другом варианте осуществления настоящего изобретения отделенный CO_2 может быть преобразован в такие продукты, как бетон и цемент. Для имитации морского цемента, производимого кораллами при формировании их оболочки и рифов, магний

и/или кальций может быть соединен с CO_2 с получением карбонатов.

CO_2 также охотно поглощается водорослями в процессе фотосинтеза, что может быть использовано для удаления углерода из отходящих потоков. Водоросли быстро растут в присутствии CO_2 и солнечного света, и могут быть собраны и преобразованы в продукты, такие как биодизельное топливо и/или спирт.

В качестве альтернативы, CO_2 может быть непосредственно захвачен из потока без дополнительных стадий отделения. Например, в конкретном варианте осуществления изобретения поток, предпочтительно, газообразный поток, содержащий CO_2 , может быть подан во вторую систему ферментации с целью преобразования CO_2 в продукты.

Отделение газа

В соответствии с определенными вариантами осуществления настоящего изобретения, способ, используемый для отделения газа, включает одну или более стадию криогенного фракционирования, молекулярной фильтрации, адсорбции, адсорбции с колебаниями давления или абсорбции. Какой бы процесс не использовался, может быть осуществлено отделение газа с целью изолирования, по меньшей мере, порции одного или более из следующих компонентов: H_2 , O_2 , CO_2 и CO из потока газа. Помимо этого или в качестве альтернативы, в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения отделение газа может быть применено для удаления одной или более порции из потока газа (например, N_2 , O_2) так, чтобы оставшийся поток можно было использовать более эффективно, например, в биореакторе.

Адсорбция представляет собой накопление газов, жидкостей или растворов на поверхности твердого тела или жидкости. Абсорбция представляет собой процесс, при котором одно вещество, такое как твердое вещество или жидкость, поглощает другое вещество, такое как жидкость или газ, включаемое в мельчайшие поры или пространство между его молекулами.

Адсорбция с колебаниями давления (PSA) представляет собой адиабатический процесс, который может быть использован для очистки газов с целью удаления сопутствующих примесей путем адсорбции на надлежащих адсорбентах, в виде неподвижного слоя присутствующих в резервуарах высокого давления, под высоким давлением.

Регенерацию адсорбентов осуществляют путем противоточного сброса давления и, при низком давлении, продувки ранее извлеченным газом, близким по качеству к продукту. Для получения непрерывного потока продукта предпочтительно иметь, по меньшей мере, два адсорбера, чтобы, по меньшей мере, один адсорбер был готов для приема потока газа (такого как поток отходящих газов/выхлопных газов/биогаза) и фактического производства продукта нужной степени чистоты. Одновременно последовательные стадии сброса давления, продувки и восстановления давления до давления адсорбции выполняются на другом адсорбере(адсорберах). Общепринятые адсорбенты могут быть легко подобраны специалистами в данной области в зависимости от типа примесей, подлежащих адсорбции и удалению. К пригодным адсорбентам относятся цеолитовые молекулярные сита, активированный уголь, силикагель или активированный оксид алюминия. Могут быть использованы сочетания слоев адсорбентов, один поверх другого, тем самым, содержимое адсорбера разделяется на ряд отдельных зон. Адсорбция с колебаниями давления включает колебательное изменение параметров, таких как давление, температура, расход и состав газообразной и адсорбированной фазы.

Очистка или отделение газов с использованием адсорбции с колебаниями давления

в нормальном режиме имеет место при температурах подаваемого газа, близким к комнатной, при этом подлежащие удалению компоненты селективно адсорбируются. В идеале, адсорбция должна быть в достаточной степени обратима, чтобы обеспечить

возможность регенерации адсорбентов при близкой температуре окружающей среды. Адсорбция с колебаниями давления может быть использована для обработки и/или очистки наиболее распространенных газов, в том числе, CO, CO₂ и H₂. Примеры способов осуществления адсорбции с колебаниями давления подробно описаны в работе Ruthven, Douglas M. и др., 1993 Pressure Swing Adsorption (Адсорбция с колебаниями давления), John Wiley and Sons.

Молекулярное сито представляет собой материал, содержащий мельчайшие поры точного и одинакового размера, который используется в качестве адсорбента для газов и жидкостей. Молекулы, которые достаточно малы для того, чтобы пройти сквозь эти поры, адсорбируются, тогда как более крупные молекулы - нет. Молекулярное сито похоже на обычный фильтр, однако функционирует на молекулярном уровне.

Молекулярные сита часто образованы алюмосиликатными минералами, глинами, пористыми стеклами, микропористым древесным углем, цеолитами, активированным углем или синтетическими соединениями с открытой структурой, через которую могут диффундировать небольшие молекулы, такие как молекулы азота и воды. К способам регенерации молекулярных сит относятся изменение давления (например, в концентраторах кислорода) и нагревание и продувка газом-носителем.

Мембраны могут быть использованы, например, для отделения водорода от таких газов, как азот и метан, с целью извлечения водорода, отделения метана от биогаза или для удаления паров воды, CO₂, H₂S или летучих органических жидкостей. Различные мембраны, включая пористые и непористые, могут быть подобраны в соответствии с имеющейся целью, как станет понятно специалистам в данной области при рассмотрении настоящего описания. Например, палладиевая мембрана обеспечивает перенос только H₂. В определенном варианте осуществления изобретения CO₂ может быть отделен от потока газа при помощи проницаемой для CO₂ мембраны. CO₂, отделенный от потока, может быть направлен в устройство для удаления CO₂, такое как ранее описанное устройство для газификации.

Криогенное фракционирование включает сжатие потока газа и охлаждение до температуры, достаточно низкой для того, чтобы было возможным разделение перегонкой. Оно может быть использовано, например, для удаления CO₂. Определенные компоненты (например, вода) обычно удаляют из потока до осуществления криогенного фракционирования.

В некоторых способах может быть применено удаление кислорода из газообразного потока с целью производства анаэробных потоков, обогащенных CO и/или CO₂. Кроме того, кислород может быть удален биологически, например, путем пропускания газообразных продуктов сгорания через герметичный ферментер, в котором имеются необязательные аэробные микроорганизмы, субстрат из восстановленного углерода и необходимые для микроорганизмов питательные вещества. Эти необязательные аэробные микроорганизмы могут потреблять кислород и производить анаэробные потоки, обогащенные CO и/или CO₂.

В данной области также известны альтернативные способы отделения или удаления O₂ из газообразных потоков. Однако, для примера, кислород может быть просто восстановлен и/или удален при помощи горячей меди или каталитического конвертера.

Разработка процесса отделения газа в соответствии с конкретным источником газа может сделать экономически выгодным процесс биоконверсии, который иначе был бы нерентабельным. Например, при надлежащем отделении CO от потока автомобильных выхлопных газов из этого потока может быть получен пригодный к употреблению источник энергии, а нежелательные выбросы газов - уменьшены. В соответствии с одним, из вариантов осуществления настоящего изобретения, газообразный субстрат включает синтез-газ, содержащий CO и H₂, а отделение газа осуществляется с целью удаления из этого потока водорода с тем, чтобы он мог быть выделен и использован в качестве топлива вне процесса ферментации. CO может быть использован как сырье реакции ферментации.

Прерывистые потоки газа

В соответствии с различными аспектами настоящего изобретения субстрат для ферментации получают из промышленного источника. Обычно, субстраты, получаемые из промышленных источников, являются газообразными, такие газы могут иметь переменный состав и/или давление и, в некоторых случаях, могут быть прерывистыми по своей природе. В определенных вариантах осуществления настоящим изобретением предусматривается средство коррекции или «сглаживания» подачи газообразного субстрата в биореактор на ферментацию с целью производства продуктов, особенно в те периоды, когда подача субстрата по своей природе прерывистая или непостоянная. Может быть использовано любое известное средство достижения непрерывности или «сглаживания» потока газообразного субстрата; однако, конкретные варианты осуществления изобретения включают процессы или устройства, в которых имеется, по меньшей мере, одно накопительное устройство, пригодное для приема прерывистого потока субстрата и подачи, по существу, непрерывного потока субстрата в биореактор.

В конкретных вариантах осуществления изобретения это накопительное устройство включает накопительный резервуар-хранилище, пригодный для приема прерывистых потоков газа. До подачи в этот резервуар-хранилище прерывистый поток может быть сжат; в качестве альтернативы, резервуар-хранилище может иметь возможность расширения по мере приема потока субстрата. Например, накопительный резервуар-хранилище может включать «плавающую крышу», поднимающуюся и опускающуюся в соответствии с количеством газообразного субстрата. Резервуары-хранилища с плавающей крышей известны в данной области, например, они используются для согласования колебаний подачи и потребления газа. Резервуар-хранилище может быть приспособлен для подачи, по существу, непрерывного потока субстрата в биореактор ферментации и, как таковой, может включать устройство регулирования расхода выходящего из него потока.

В таких вариантах осуществления изобретения резервуар-хранилище выполняет функцию резервуара для субстрата. Однако, в соответствии с альтернативным вариантом осуществления изобретения, накопительный резервуар-хранилище может быть заменен на другую форму хранения с аналогичной функцией.

Например, к альтернативным формам относятся один или более вид абсорбции, адсорбции и колебания давления и/или температуры. Дополнительно или в качестве альтернативы, субстрат может быть растворен в жидкости, имеющейся в резервуаре или удерживаемой в матрице, такой как пористый твердый материал, до тех пор, пока он не понадобится. В конкретном варианте осуществления настоящего изобретения субстрат может быть растворен в жидкости, имеющейся в резервуаре-хранилище, и при необходимости подан в биореактор непосредственно в растворе.

В качестве альтернативы, сам биореактор может иметь такую конструкцию, чтобы

свободное пространство в его верхней части над жидкой питательной средой ферментации играло роль накопителя для прерывистого потока. Например, система может включать устройство для сжатия потока газообразного субстрата (когда имеется) и подачи его в биореактор. Давление в свободном пространстве в верхней части биореактора увеличивается по мере поступления дополнительного количества субстрата. Таким образом, субстрат постоянно доступен для преобразования в продукты путем микробиологической ферментации.

В другом варианте осуществления изобретения система может быть приспособлена для приема потоков газообразного субстрата из множества прерывистых источников. Такая система может включать устройства для соединения потоков и/или переключения между потоками с целью обеспечения, по существу, непрерывного потока субстрата в биореактор.

Микроорганизмам, используемым для ферментации, обычно, свойственен допустимый температурный диапазон, выше или ниже которого скорость реакции существенно уменьшается. Как таковая, система может включать устройство охлаждения с тем, чтобы, когда субстрат имеется в ограниченном количестве, среду в биореакторе можно было охладить и, тем самым, замедлить реакцию ферментации и уменьшить потребление субстрата. И наоборот, когда подача потока субстрата увеличивается, температуру внутри биореактора можно повысить до верхней границы температурного диапазона, чтобы увеличить скорость реакции.

В качестве альтернативы или дополнительно, устройство охлаждения может быть предназначено для выравнивания нагрузки на систему охлаждения так, чтобы уменьшить максимум нагрузки на систему охлаждения системы для ферментации. Например, предположим, что нагрузка на систему охлаждения, соответствующая необходимости отводить тепло от потока подаваемого газа и/или экзотермического тепла ферментации в определенный период (во время обработки газа), составляет 2 МВт. Чтобы в это время поддерживать температуру содержимого реактора ферментации постоянной, тепло нужно отводить именно с этой скоростью, чтобы температура в реакторе оставалась постоянной. Следовательно, в те периоды, когда нет подлежащего обработке газа, и выделение экзотермического тепла, по существу, прекращается, нагрузка на систему охлаждения равна нулю. Таким образом, особенно при использовании в крупномасштабном промышленном производстве, существуют периоды, когда нагрузка на систему охлаждения очень высокая, что налагает значительные ограничения на данную систему. При выравнивании нагрузки на систему охлаждения уменьшается ее необходимый максимум. То есть, становится возможной работа с менее мощной системой охлаждения, хотя и в непрерывном (или более непрерывном) режиме.

Используем параметры предыдущего примера, но предположим, что периоды, когда газ доступен для обработки, и когда газ не обрабатывается, одинаковы по длительности; тогда можно непрерывно отводить из реактора ферментации 1 МВт тепловой энергии. При этих условиях, когда происходит обработка газа, интенсивность теплоотвода отстает от поступления/образования тепла, и температура в ферментере будет расти. Когда притока газа нет, но охлаждение продолжается, температура в ферментере будет падать. Таким образом, нужна система охлаждения, рассчитанная на постоянную нагрузку 1 МВт, а не система, рассчитанная на 2 МВт, которая работает только половину времени. Однако, рост и последующее падение температуры должны быть ограничены, чтобы температура в резервуаре не выходила за границы допустимого для микроорганизмов диапазона. Таким образом, в соответствии с конкретными вариантами осуществления изобретения, нагрузка на систему охлаждения, когда она

непостоянна, может быть «сглажена», чтобы ее изменения были более плавными и/или ограниченными, с меньшей разницей между максимальной и минимальной нагрузкой на систему охлаждения.

Промышленный отходящий газ как сырье для ферментации

5 В соответствии с другими аспектами настоящего изобретения, промышленные отходящие газы используют для реакции ферментации при отсутствии или только с минимальной дополнительной очисткой или предварительной обработкой газа, применяемыми, чтобы сделать газ пригодным для ферментации.

Отходящие газы могут образовываться в любом числе производственных процессов.
10 Настоящее изобретение особенно хорошо подходит для поддержания производства этанола из таких газообразных субстратов, как промышленные отходящие газы с высоким объемным содержанием CO. К их примерам относятся газы, образующиеся в процессе производства изделий из черных металлов, производства изделий из цветных металлов, нефтепереработки, газификации угля, газификации биомассы, выработки
15 электроэнергии, производства технического углерода, производства аммиака, производства метанола и производства кокса. В конкретном варианте осуществления изобретения отходящие газы образуются в ходе производства стали. Например, специалистам в данной области понятно, что отходящие газы, образующиеся на различных стадиях процесса производства стали, имеют высокую концентрацию CO
20 и/или CO₂. В частности, отходящий газ, образующийся при обезуглероживании стали в соответствии с различными способами производства стали, например, в кислородном конвертере (например, кислородный конвертер BOF или КОМВ), содержит много CO и мало CO₂, что делает его пригодным для использования в качестве субстрата для
25 анаэробной карбоксидотрофной ферментации.

Отходящие газы, образующиеся при науглероживании стали, при необходимости, пропускают через воду, чтобы удалить твердые частицы перед подачей в дымовую трубу или газоход, через которые отходящий газ выходит в атмосферу. Обычно, газы нагнетают в дымовую трубу одним или более вентилятором.

В определенных вариантах осуществления изобретения, по меньшей мере, часть
30 отходящего газа, образующегося при обезуглероживании стали, отводят в систему для ферментации при помощи надлежащего трубопровода. Например, трубопровод или другое передаточное устройство может быть соединено с дымовой трубой сталелитейного завода с целью отведения, по меньшей мере, части отходящего газа в
35 систему для ферментации. Аналогично, один или более вентилятор может быть использован для отведения, по меньшей мере, части отходящего газа в систему для ферментации. В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения трубопровод рассчитан на передачу, по меньшей мере, части отходящего газа,
40 образующегося при обезуглероживании стали, в систему для ферментации. Устройства регулирования и подачи газов в биореактор хорошо известны специалистам в данной области, для которых предназначено настоящее изобретение.

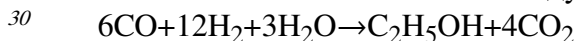
Хотя сталелитейное предприятие может быть рассчитано на, по существу, непрерывное производство стали и, следовательно, отходящих газов, в определенных аспектах данный процесс может быть прерывистым. Обычно, обезуглероживание стали
45 является периодическим процессом, занимающим от нескольких минут до нескольких часов. Как таковой, трубопровод может быть предназначен для отведения, по меньшей мере, части отходящего газа, такого как газ, образующийся при обезуглероживании стали, в систему для ферментации, если установлено, что данный отходящий газ имеет заданный состав.

рН содержимого биореактора в процессе ферментации может быть отрегулировано в соответствии с требованиями. Надлежащее значение рН зависит от условий, необходимых для осуществления конкретной реакции ферментации, с учетом используемых питательных сред и микроорганизмов, что следует понимать специалистам с данной области, для которых предназначено настоящее изобретение. В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения, при ферментации содержащего СО газообразного субстрата с использованием *Clostridium autoethanogenum* рН может быть отрегулирован в диапазоне, приблизительно, 5,5-6,5, наиболее предпочтительно, приблизительно 5,5. К другим примерам относятся рН от 5,5 до 6,5 при использовании *Moorella thermoacetica* для производства уксусной кислоты, рН от 4,5 до 6,5 при использовании *Clostridium acetobutylicum* для производства бутанола и рН 7 при использовании *Carboxydotherrmus hydrogenaformans* для производства водорода. Специалисты в данной области осведомлены о надлежащих средствах поддержания в биореакторе заданного рН. Однако, например, водные основания, такие как NaOH, и водные кислоты, такие как H₂SO₄, могут быть использованы для увеличения или уменьшения рН среды ферментации и поддержания заданного рН.

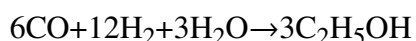
Дополнительное преимущество настоящего изобретения состоит в том, что из-за отсутствия или минимальной очистки и/или другой обработки газа, осуществляемой в отношении отходящих газов перед их использованием в реакции ферментации, эти газы содержат дополнительный материал, образующихся в ходе производственных процессов, каковой дополнительный материал может быть использован, по меньшей мере частично, в качестве сырья реакции ферментации.

Смешивание потоков

Как отмечено ранее, может оказаться желательным смешать поток промышленного отходящего газа с одним или более дополнительным потоком, чтобы повысить эффективность, выработку спирта и/или общее улавливание углерода в реакции ферментации. Без связи с какой-либо определенной теорией, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения карбоксидотрофные бактерии преобразуют СО в этанол в соответствии со следующим уравнением:



Однако, в присутствии H₂ преобразование, в целом, следующее:



Следовательно, когда в промышленных потоках содержание СО высокое, но мало или нет H₂, может быть желательно смешать один или более поток, содержащий H₂, с отходящим газом, содержащим СО, перед подачей потока смешанного субстрата в ферментер. Общая эффективность, производительность по спирту и/или общее улавливание углерода при ферментации зависит от стехиометрического соотношения СО и H₂ в смешанном потоке. Однако, в конкретных вариантах осуществления изобретения смешанный поток может, по существу, содержать СО и H₂ в следующих молярных отношениях: 20:1, 10:1, 5:1, 3:1, 2:1, 1:1 или 1:2.

Кроме этого, может оказаться желательным подавать СО и H₂ на разных стадиях ферментации в конкретном молярном отношении. Например, потоки субстрата с относительно высоким содержанием H₂ (таким как 1:2 СО:H₂) могут быть поданы на ферментацию на стадиях пуска и/или быстрого роста микроорганизмов. Однако когда рост замедляется, так что культура сохраняет, по существу, постоянную плотность клеток, содержание СО может быть увеличено (например, до, по меньшей мере, 1:1 или

2:1 или выше, причем концентрация H_2 может быть больше или равна нулю).

Смешивание потоков также может иметь дополнительные преимущества, особенно в случаях, когда содержащий CO отходящий поток по своей природе прерывистый. Например, прерывистый отходящий поток, содержащий CO, может быть смешан с, по существу, непрерывным потоком, содержащим CO и, необязательно, H_2 , и подан в ферментер. В конкретных вариантах осуществления изобретения состав и расход, по существу, непрерывного потока могут быть изменены в соответствии с изменением прерывистого потока, чтобы поддерживать подачу в ферментер потока, субстрата с, по существу, постоянным составом и расходом.

Смешивание двух или более потоков с целью получения заданного состава может включать изменение расходов всех потоков, либо один или более поток может сохраняться постоянным, тогда как другой поток (потоки) изменяют, чтобы «настроить» или оптимизировать поток субстрата до получения необходимого состава. Потоки, которые производятся непрерывно, не требуют или требуют небольшой дополнительной обработки (такой как накопление), такой поток может быть непосредственно подан в ферментер. Однако может оказаться необходимым обеспечить промежуточный накопитель потоков, когда один или более из них поступает с перерывами, и/или когда потоки поступают непрерывно, но используются и/или производятся с разными скоростями.

Специалисты в данной области должны понимать, что необходимо следить за составом и расходами таких потоков перед их смешиванием. Регулирование состава смешанного потока может быть осуществлено путем изменения пропорций составляющих потоков с целью достижения заданного или необходимого состава. Например, основной поток газа может представлять собой, преимущественно, CO, с ним может быть смешан вторичный поток газа с высокой концентрацией H_2 так, чтобы получить заданное соотношение $H_2:CO$. Состав и расход смешенного потока можно контролировать любым известным в данной области способом. Расход смешанного потока можно регулировать независимо от операции смешивания; однако, расходы, с которыми отводятся отдельные составляющие потоки, необходимо регулировать в определенных пределах. Например, когда производимый с перерывами поток отводят из промежуточного накопителя непрерывно, его расход должен быть таким, чтобы промежуточный накопитель ни опустошался, ни заполнялся целиком.

В месте смешивания отдельные составляющие газы подают в смесительную камеру, которая, обычно, представляет собой небольшой резервуар или отрезок трубы. В таких случаях этот резервуар или труба могут быть снабжены статическими смесителями, такими как отражательные перегородки, расположенными так, чтобы интенсифицировать турбулентное движение и быструю гомогенизацию отдельных компонентов.

Если нужно, также может быть предусмотрен промежуточный накопитель смешанного потока, чтобы поддерживать, по существу, постоянную подачу потока субстрата в биореактор.

В данной системе, при необходимости, может быть предусмотрен процессор, предназначенный для мониторинга состава и расходов составляющих потоков и регулирования смешивания этих потоков в надлежащих пропорциях с целью получения требуемой или заданной смеси. Например, определенные компоненты могут подаваться по мере необходимости или по мере поступления, чтобы оптимизировать эффективность производства спирта и/или общее улавливание углерода.

Может быть невозможно или нерентабельно все время подавать СО и Н₂ в определенном соотношении. Как таковая, система, приспособленная для смешивания двух или более потоков, как описано выше, может быть настроена на оптимизацию указанного отношения при имеющихся источниках. Например, в случаях, когда имеет место неадекватная подача Н₂, система может включать устройство для отведения избытка СО из данной системы, чтобы обеспечить оптимизированный поток и получить повышенную эффективность производства спирта и/или общее улавливание углерода. В определенных вариантах осуществления изобретения в системе предусмотрено непрерывное мониторинговое измерение расходов и состава, по меньшей мере, двух потоков и их соединение с целью получения единого смешанного потока субстрата, оптимального состава и наличие устройства для направления оптимизированного потока субстрата в ферментер. В конкретных вариантах осуществления изобретения с использованием карбоксидотрофных микроорганизмов для производства спирта поток субстрата оптимального состава содержит, по меньшей мере, 0% Н₂ и до, примерно, 1:2 СО:Н₂.

Для примера, не имеющего ограничительного характера, конкретные варианты осуществления изобретения включают использование газа конвертера процесса обезуглероживания стали в качестве источника СО. Обычно, такие потоки содержат мало или не содержат Н₂, следовательно, может оказаться желательным соединить поток, содержащий СО, с потоком, содержащим Н₂, чтобы получить более подходящее соотношение СО:Н₂. Н₂ часто в большом количестве образуется на сталелитейном предприятии в коксовой печи. Следовательно, поток отходящего газа коксовой печи, содержащий Н₂, может быть смешан с потоком отходящего газа конвертера, содержащим СО, чтобы получить заданный состав.

Кроме этого или в качестве альтернативы, может быть предусмотрено наличие устройства для газификации с целью производства СО и Н₂ из разнообразных источников. Поток, образующийся в устройстве для газификации, может быть смешан с потоком, содержащим СО, чтобы получить заданный состав. Специалистам в данной области понятно, что условия в устройстве для газификации можно регулировать так, чтобы получать определенное соотношение СО:Н₂. Кроме того, производительность устройства для газификации можно повышать и снижать, чтобы увеличивать и уменьшать расход производимого устройством для газификации потока, содержащего СО и Н₂. Следовательно, поток из устройства для газификации может быть смешан с потоком субстрата, содержащим СО, с целью оптимизации соотношения СО:Н₂, направленной на повышение производительности по спирту и/или общего улавливания углерода. Кроме того, производительность устройства для газификации можно повышать и снижать, чтобы получать поток с различным расходом и/или составом, который может быть смешан с прерывистым потоком, содержащим СО, с целью получения, по существу, непрерывного потока заданного состава.

К другим источникам содержащих СО и/или Н₂ потоков, которые могут быть смешаны с содержащим СО потоком субстрата, относятся процессы реформинга углеводородов, таких как природный газ и/или метан, и реформинг метанола.

Добавление орошающей воды

В соответствии с настоящим изобретением, орошающую воду используют для реакции ферментации с целью повышения эффективности роста микроорганизмов и увеличения производства

Орошающая вода может поступать из любого подходящего промышленного

источника, как описано в данном документе выше. В конкретном варианте осуществления настоящего изобретения орошающую воду получают из процесса очистки одного или более отходящего газа, образующегося в ходе производства стали. Например, орошающую воду получают в результате осуществления очистки отходящих газов коксовых печей, доменных печей, кислородных конвертеров и/или электродуговых печей.

В определенных вариантах осуществления изобретения источником орошающей воды является тот же производственный процесс, из которого поступает (газообразный) субстрат для ферментации; например, и орошающая вода, и субстрат (содержащие CO отходящие газы) образуются на одном и том же сталелитейном предприятии.

Орошающая вода может быть использована в необработанной форме непосредственно после системы или устройства газоочистки производственного процесса. Однако, может быть осуществлена обработка орошающей воды с целью удаления или, по меньшей мере, снижения содержания в ней остаточных твердых частиц. Способы обработки орошающей воды известны специалистам в данной области, для которых предназначено настоящее изобретение. Однако, перед подачей в ферментер орошающая вода, например, может быть отфильтрована, подвергнута центрифугированию или отстаиванию.

Как описано выше, рН орошающей воды перед ее использованием может быть отрегулирован. Надлежащее значение рН зависит от условий, необходимых для конкретной реакции ферментации с учетом используемых питательных сред и микроорганизмов, как известно специалистам в данной области, для которых предназначено настоящее изобретение. В одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения при ферментации содержащего CO газообразного субстрата с использованием *Clostridium autoethanogenum* рН может быть отрегулирован в диапазоне, приблизительно, 5,5-6,5, наиболее предпочтительно, приблизительно 5,5. К другим примерам относятся рН от 5,5 до 6,5 при использовании *Moorella thermoacetica* для производства уксусной кислоты, рН от 4,5 до 6,5 при использовании *Clostridium acetobutylicum* для производства бутанола и рН 7 при использовании *Carboxydotherrmus hydrogenaformans* для производства водорода.

Орошающая вода может быть подана на реакцию ферментации при помощи надлежащего устройства. Например, она может быть непосредственно подана из устройства газоочистки в биореактор, в котором происходит или должна быть осуществлена ферментация. В качестве альтернативы, она может быть отведена из устройства газоочистки на хранение в надлежащую камеру, оборудованную устройством ее подачи в биореактор; или она может быть отведена из устройства газоочистки, направлена на хранение и вручную подачу в биореактор. Подача орошающей воды в биореактор может быть непрерывной; либо орошающая вода может быть подана в определенные моменты времени в ходе реакции ферментации или по необходимости, в зависимости от обстоятельств.

В одном из вариантов осуществления изобретения орошающую воду смешивают с питательными средами, предназначенными к использованию в реакции ферментации, после чего подают в биореактор при помощи любого из упомянутых выше устройств. Следовательно, настоящим изобретением также обеспечивается композиция, содержащая смесь надлежащих питательных, сред и орошающей воды. Специалистам в данной области, для которых предназначено настоящее изобретение, известны надлежащие питательные среды, используемые при микробиологической ферментации. Однако, для примера укажем, что такая среда может содержать источники азота, фосфатов, калия,

натрия, серы, ионов ряда металлов, витамины группы В и т.п. Примеры сред приводятся в настоящем документе в разделе Примеры.

Количество используемой орошающей воды может быть таким, чтобы соотношение питательные среды/орошающая вода составляло до, приблизительно, 1:9. В одном предпочтительном варианте осуществления изобретения орошающую воду используют в отношении, приблизительно, 1:1 к питательным средам.

Как станет понятно, орошающая вода, поступающая из конкретных процессов, может содержать компоненты, токсичные или вредные для определенных микроорганизмов. То есть, настоящее изобретение не исключает никакой из процессов предварительной обработки, однако, предусматривает исключение таких дополнительных процессов, если возможно. В качестве альтернативы или дополнительно, долю орошающей воды в содержимом биореактора можно регулировать так, чтобы потенциально токсичные или вредные компоненты присутствовали в концентрациях менее допустимых.

Орошающая вода как основное исходное сырье

В другом варианте осуществления настоящего изобретения реакцию ферментации осуществляют, используя в качестве исходного сырья только орошающую воду. Другими словами, орошающая вода является основным источником углерода для реакции ферментации. В этом варианте осуществления изобретения реакция ферментации может быть осуществлена, по существу, как описано ранее, однако нет необходимости подавать или улавливать содержащие СО газы или подавать альтернативный источник углерода.

Орошающая вода может быть подана в биореактор, в котором осуществляется ферментация, как описано выше. В одном из вариантов осуществления изобретения воду подают в биореактор непрерывно и непосредственно из системы или устройства для газоочистки в количестве, соответствующем поддержанию оптимальных для реакции ферментации условий.

В родственном варианте осуществления изобретения орошающую воду направляют на хранение и затем подают в биореактор в те моменты времени, когда альтернативное исходное сырье или субстрат не поступают. Например, потоки отходящих газов, образующиеся в некоторых процессах производства стали, не постоянные, а прерывистые. Когда эти газы не могут быть поданы на реакцию ферментации, в биореактор подают орошающую воду, чтобы поддерживать производство спирта и повысить общую эффективность реакции. Такие процессы, в которых к орошающей воде добавляют среды ферментации и подают в биореактор, могут быть осуществлены с использованием приемов для удерживания клеток (например, мембранной фильтрации с перекрестным течением, непрерывного центрифугирования или устройства с иммобилизованными клетками). В данном варианте осуществления изобретения смесь орошающей воды и сред ферментации может протекать через реактор, обеспечивая питание бактерий. Преимущество этого варианта в том, что орошающая вода содержит большое количество растворенного монооксида углерода. Поскольку большую часть производственных издержек, связанных с использованием для ферментации газообразных субстратов, составляет приобретение и эксплуатация оборудования, обеспечивающего массоперенос газообразного СО из газовой фазы в жидкую фазу, использование жидких потоков, которые уже содержат СО, значительно уменьшает эти издержки.

Общие положения

Варианты осуществления настоящего изобретения описаны для примера. Однако следует понимать, что конкретные этапы или стадии, необходимые в одном варианте

осуществления, могут быть не нужны в другом. И наоборот, этапы или стадии, включенные в описание какого-либо конкретного варианта осуществления, могут быть, при необходимости, с успехом использованы в тех вариантах осуществления изобретения, где они специально не отмечены.

5 Хотя настоящее изобретение описано в общем со ссылкой на любой тип потока, который может быть перемещен туда или обратно в данной системе (системах) любым известным передаточным устройством, в определенных вариантах осуществления изобретения субстрат и/или отходящие потоки являются газообразными. Специалистам в данной области ясно, что определенные стадии могут быть соединены друг с другом
10 надлежащими трубопроводами или подобными устройствами, настраиваемыми с целью приема или перемещения потоков по всей системе. Для облегчения передачи этих потоков на определенную стадию может быть использован насос или компрессор. Кроме того, компрессор может быть использован для увеличения давления газа, подаваемого на одну или более стадию, например, в биореактор. Как описано в
15 настоящем документе выше, давление газов в биореакторе может оказывать влияние на эффективность осуществляемой в нем реакции ферментации. Таким образом, давление можно регулировать с целью повышения эффективности ферментации. Величины давления, применимые для распространенных реакций, известны в данной области.

Кроме этого, системы или способы настоящего изобретения могут, необязательно,
20 включать устройства регулирования и/или управления другими параметрами с целью повышения общей эффективности процесса. Система может включать один или более процессор, предназначенный для регулирования и/или управления определенными параметрами данного процесса. Например, конкретные варианты осуществления изобретения могут включать измерительное устройство для слежения за составом
25 субстрата и/или отходящего потока (потоков). Кроме этого, конкретные варианты осуществления изобретения могут включать устройство управления подачей потока (потоков) субстрата на конкретную стадию или элемент в составе конкретной системе, если измерительным устройством определено, что данный поток имеет состав, соответствующей конкретной стадии. Например, в случаях, когда поток газообразного
30 субстрата содержит мало CO или много O₂, что может оказать негативное влияние на реакцию ферментации, этот поток субстрата может быть направлен, минуя биореактор. В конкретных вариантах осуществления изобретения система включает устройство мониторинга и регулирования места назначения потока субстрата и/или расхода так, чтобы поток с нужным или пригодным составом мог быть подан на конкретную
35 стадию.

Кроме того, может оказаться необходимым нагревание или охлаждение
определенного компонента или потока (потоков) субстрата до или во время одной или более стадии данного процесса. В таких случаях могут быть использованы известные
40 средства нагревания или охлаждения. Например, для нагревания или охлаждения потоков субстрата могут быть применены теплообменники.

Кроме того, данная система может включать один или более этап предварительной/
последующей обработки, направленной на улучшение работы или повышение
эффективности конкретной стадии. Например, этап предварительной обработки может
45 включать устройство для удаления из потока газообразного субстрата твердых частиц и/или углеводородов с длинной цепочкой или смол. Другие возможные предварительные или последующие операции включают отделение целевого продукта (продуктов) на определенных стадиях, таких как, например, производственная стадия, осуществляемая в биореакторе (например, отделение этанола перегонкой).

Различные варианты осуществления установок настоящего изобретения поясняются на прилагаемых фигурах. Альтернативные варианты осуществления, показанные на фиг. 1-13, имеют общие для них элементы, и для обозначения одинаковых или подобных элементов на различных фигурах использованы одинаковые номера позиций. Описаны только новые элементы (по сравнению с фиг. 1) фиг. 2-13, поэтому эти фигуры следует рассматривать совместно с описанием фиг. 1.

Фиг. 1 представляет собой схему системы 101, соответствующей одному из вариантов осуществления настоящего изобретения. Входящий поток 1 субстрата поступает в систему 101 по соответствующему трубопроводу. Входящий поток 1 субстрата содержит СО и, необязательно, СО₂ и, в определенных вариантах осуществления изобретения, этот поток субстрата представляет собой поток отходящего газа какого-либо производственного процесса, например, высвобождаемого в ходе науглероживания стали в кислородном конвертере. Содержание компонентов в потоке 1 газа может колебаться. Для отклонения потока 1 куда-либо еще (показано, как поток 3), если определено, что поток 1 не имеет заданного состава, может быть использован необязательный клапан 2. Например, если из потока 1 нужно получить СО, для потока 1 может быть задано минимальное содержание СО, тогда этот поток направляется, минуя дальнейшую обработку в системе 101, если требование по минимальному содержанию СО не выполняется. Такой порог может быть установлен для исключения нерентабельной или нецелесообразной обработки какого-либо потока. Для определения, имеет ли газ заданный состав, может быть использовано любое известное устройство. Кроме того, термин «заданный состав» относится не только к веществам, которые должны присутствовать в потоке 1, но также и к нежелательным компонентам. Например, поток 1 может быть отклонен, если в этом потоке 1 имеется определенное загрязняющее вещество.

Как станет ясно специалистам в данной области, клапан 2 может располагаться в любом месте системы 101. Например, он может быть размещен после стадии обработки в биореакторе 5.

Если определено, что поток 1 имеет заданный состав, его направляют на необязательную предварительную обработку 4. Предварительная обработка 4 может быть нацелена на регулирование различных параметров данного потока, в том числе, температуры и содержания загрязняющих веществ или других нежелательных компонентов или составляющих. Она также может предназначаться для добавления компонентов в данный поток. Это зависит от конкретного источника потока 1 газа и/или конкретной реакции ферментации и/или выбранных для ее осуществления микроорганизмов.

Предварительная обработка 4 может осуществляться на любом участке системы 101 или может быть опущена, либо множество этапов предварительной обработки 4 могут осуществляться на различных участках системы 101. Это зависит от конкретного источника потока 1 газа и/или конкретной реакции ферментации и/или выбранных для ее осуществления микроорганизмов. Например, дополнительная предварительная обработка (несколько этапов предварительной обработки) может быть проведена до (выше по потоку) устройства 8 для удаления СО₂ с целью регулирования параметров потока, поступающего в устройство 8 для удаления СО₂.

После необязательной предварительной обработки поток может быть направлен в биореактор 5 при помощи любого известного передаточного устройства. Например, для перемещения потока в системе может быть использован один или более вентилятор

и/или насос. Биореактор 5 предназначен для осуществления нужной реакции ферментации с целью производства продуктов. В соответствии с определенными вариантами осуществления изобретения, биореактор 5 спроектирован для обработки содержащего СО субстрата с целью производства одной или более кислоты и/или одного или более спирта. В одном конкретном варианте осуществления изобретения биореактор 5 используется для производства этанола и/или бутанола. Биореактор 5 может включать более одного резервуара, при этом каждый резервуар предназначен для осуществления одной и той же реакции и/или разных стадий в рамках конкретного процесса ферментации и/или различных реакций, в том числе, различных реакций разных процессов ферментации, которые могут включать одну или более общую стадию.

Биореактор 5 может быть снабжен средством охлаждения с целью регулирования в нем температуры в приемлемых для используемых в определенной осуществляемой реакции ферментации микроорганизмов пределах.

Продукты, производимые в биореакторе 5, могут быть извлечены при помощи любого известного в данной области процесса извлечения. Однако в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, часть продукта может выходить из биореакторе 5 в потоке 7, содержащем такие компоненты, как СО₂ и, необязательно, непреобразованный СО. Такие потоки, необязательно, могут быть подвергнуты обработке в устройстве 6 для извлечения продукта с целью извлечения любого продукта до того, как, по существу, не содержащий продукта поток 7 будет направлен в устройство 8 для удаления СО₂.

Устройство 8 для удаления СО₂ предназначено для приема потока 7, из которого удаляется, по меньшей мере, часть присутствующего в нем СО₂, и остается отходящий поток 9. В определенных вариантах осуществления изобретения устройство 8 для удаления СО₂ разработано для отделения, по меньшей мере, части представляющего собой СО₂ компонента потока 7 и имеет возможность улавливания отделенного СО₂ и/или его преобразования в продукты, пригодные для дальнейшего использования или хранения. В качестве альтернативы, устройство 8 для удаления СО₂ может быть разработано с целью непосредственного улавливания СО₂ из потока 7 и/или его преобразования в продукты.

Если биореактор 5 включает множество стадий или отдельных резервуаров, потоки, выходящие после, по меньшей мере, подгруппы таких стадий, могут поступать в устройство 8 для удаления СО₂. Кроме того, может быть предусмотрено более одного устройства 8 для удаления СО₂ далее по ходу технологического потока (ниже по потоку), чтобы один и тот же поток проходил несколько этапов удаления СО₂, либо одинаковые или разные операции по удалению могут быть осуществлены в отношении потоков разных стадий или из разных резервуаров ферментации.

В соответствии с альтернативным вариантом осуществления изобретения, представленным на фиг. 2, устройство 8 для удаления СО₂ расположено до (выше по потоку от) биореактора 5 (а не далее по ходу технологического потока, как на фиг. 1). Таким образом, в соответствии с вариантом осуществления, представленным на фиг. 2, устройство 8 для удаления СО₂ может быть использовано для улавливания СО₂ из потока субстрата до его подачи в биореактор 5. Необязательный клапан 2 может иметь такую конструкцию, чтобы, если определено, что содержание СО₂ слишком мало для рационального и/или эффективного улавливания СО₂, этот поток может быть направлен

непосредственно в биореактор 5. В качестве альтернативы, поток 3 может быть совсем выведен из системы, например, в случаях, когда такой поток непригоден для удаления CO_2 или ферментации.

5 В соответствии с вариантом осуществления изобретения, представленным на фиг. 3, устройство 8 для удаления CO_2 расположено после биореактора 5 по ходу технологического потока, а клапан 10 предназначен для направления потока 9 обратно в биореактор 5, если определено, что в потоке 9 осталось достаточно CO для дальнейшей ферментации с получением продуктов. Однако, если определено, что содержание CO в этом потоке меньше необходимого уровня, этот поток может быть направлен куда-либо еще (показано как поток 11). Вариант осуществления изобретения, представленный на фиг. 3, также включает сопутствующие преимущества обоих вариантов осуществления, представленных и на фиг. 1, и на фиг. 2.

15 На фиг. 4 представлена схема системы 104, соответствующая еще одному варианту осуществления настоящего изобретения. Входящий поток 1 газа поступает в систему 104 по соответствующему трубопроводу. Входящий поток 1 газа может представлять собой поток отходящего газа какого-либо производственного процесса, например, высвобождаемого в ходе науглероживания стали в кислородном конвертере. Входящий поток 1 газа, предпочтительно, содержит, по меньшей мере, один газ на основе углерода. В конкретных вариантах осуществления изобретения поток 1 газа содержит CO и/или CO_2 . Содержание компонентов в потоке 1 газа может колебаться. Для отклонения потока 1 куда-либо еще (показано, как поток 3), если определено, что поток 1 не имеет заданного состава, может быть использован необязательный клапан 2. Например, если из потока 1 нужно получить CO , для потока 1 может быть задано минимальное содержание CO , тогда этот поток направляется, минуя дальнейшую обработку в системе 104, если требование по минимальному содержанию CO не выполняется. Такой порог может быть установлен для исключения нерентабельной или нецелесообразной обработки какого-либо потока. Для определения, имеет ли газ заданный состав, может быть использовано любое известное устройство. Как указано выше, термин «заданный состав» относится не только к веществам, которые должны присутствовать в потоке 1, но также и к нежелательным компонентам. Например, поток 1 может быть отклонен, если в этом потоке 1 имеется определенное загрязняющее вещество.

25 Как станет ясно специалистам в данной области при рассмотрении настоящего описания, клапан 2 может располагаться в любом месте системы 104. Например, он может быть размещен после стадии обработки в газоотделителе 13.

35 Если определено, что поток 1 имеет заданный состав, его направляют в газоотделитель 13. В нем от потока 1 газа отделяют, по меньшей мере, первый компонент этого потока, оставляя другой компонент. Либо этот, по меньшей мере, первый компонент, либо оставшийся компонент могут быть отведены как поток 12, при этом другой компонент направляют на необязательную предварительную очистку 4 и в биореактор 5. Таким образом, если поток газа, подаваемый на реакцию ферментации, должен представлять собой CO , CO может быть отделен от остального потока, тогда только этот CO (или поток, обогащенный CO) направляют в биореактор 5. В качестве альтернативы, от потока может быть отделен один или более компонент (например, O_2 и/или H_2), которые, по меньшей мере частично, удаляют, а оставшийся поток направляют в биореактор 5.

45 Как станет ясно специалистам в данной области при рассмотрении настоящего описания, газоотделитель 13 может включать одну или множество стадий или отдельных

устройств, где на каждой стадии происходит отделение одного или более газа.

Дополнительное описание процессов и устройств для отделения газа приведено в настоящем документе ниже.

5 Как указано выше, предварительная обработка 4 может осуществляться на любом участке системы 104 или может быть опущена, либо множество этапов предварительной обработки 4 могут осуществляться на различных участках системы 104. Использование предварительной обработки 4 может зависеть от конкретного источника потока 1 газа и/или конкретной реакции ферментации и/или выбранных для ее осуществления микроорганизмов.

10 Биореактор 5 предназначен для осуществления заданной реакции ферментации. В соответствии с определенными вариантами осуществления изобретения, биореактор 5 спроектирован для обработки содержащего СО субстрата с целью производства одной или более кислоты и/или одного или более спирта. В конкретных вариантах осуществления изобретения биореактор 5 используется для производства этанола и/

15 или бутанола. Биореактор 5 может включать более одного резервуара, при этом каждый резервуар предназначен для осуществления одной и той же реакции и/или разных стадий в рамках конкретного процесса ферментации и/или различных реакций, в том числе, различных реакций, включая различные реакции разных процессов ферментации, которые могут иметь одну или более общую стадию.

20 Биореактор 5 может быть снабжен средством охлаждения с целью регулирования в нем температуры в приемлемых для используемых в определенной осуществляемой реакции ферментации микроорганизмов пределах.

В соответствии с альтернативным вариантом осуществления изобретения, представленным на фиг. 5, газоотделитель 13 расположен после (ниже по потоку)

25 биореактора 5 (а не до него, как на фиг. 4). Таким образом, в соответствии с вариантом осуществления изобретения, представленным на фиг. 5, газоотделитель 13 может быть использован для отделения одного или более компонента от газов, образующихся в ходе реакции ферментации в биореакторе 5, и/или отделения газов, которые были поданы в биореактор 5, но не использованы в нем. Если биореактор 5 включает

30 множество стадий или отдельных резервуаров, газы, выходящие после, по меньшей мере, подгруппы таких стадий, могут поступать в газоотделитель 13. Кроме того, может быть предусмотрено более одного газоотделителя далее по ходу технологического потока (ниже по потоку), чтобы один и тот же поток проходил несколько этапов

35 отделения, либо одинаковые или разные операции по отделению могут быть осуществлены в отношении потоков газа разных стадий или из разных резервуаров ферментации.

В соответствии с вариантом осуществления изобретения, представленным на фиг. 6, газоотделители 13 расположены до и после биореактора 5 с сопутствующими преимуществами обоих вариантов осуществления, представленных и на фиг. 4, и на

40 фиг. 5.

До биореактора 5 может быть предусмотрен насос или компрессор (не показан), предназначенный для увеличения давления газа в биореакторе 5. Как описано в настоящем документе выше, давление газов в биореакторе может оказывать влияние на эффективность осуществляемой в нем реакции ферментации. Таким образом, давление

45 можно регулировать с целью повышения эффективности ферментации. Величины давления, применимые для распространенных реакций, известны в данной области.

Поток 1 газа может содержать множество разных потоков. Для различных потоков могут быть предназначены различные обрабатывающие элементы, причем, только

подгруппа элементов является общей. Например, первый поток может поступать в первый газоотделитель, второй поток может поступать во второй газоотделитель. Выходящие из первого и второго газоотделителей потоки затем могут быть направлены в общий биореактор. Другие уровни общности или различия входят в объем настоящего изобретения.

На фиг. 7 представлена схема системы 107, соответствующей одному из вариантов осуществления настоящего изобретения. Поток 14 отходящего газа поступает в систему 107 по надлежащему трубопроводу из производственного процесса (например, науглероживания стали в кислородном конвертере). Поток 14 является прерывистым по своей природе, на что указывает пунктирная линия. Поток 14 может быть постоянным потоком в том смысле, что он поступает постоянно, но содержание конкретных газов в этом потоке может со временем изменяться. Например, содержание CO в потоке 14 может со временем изменяться от высокого до низкого. Независимо от того, является ли поток 14 фактически производимым непрерывно или прерывисто, в те периоды, когда содержание в нем заданного газа слишком мало для поддержания реакции ферментации (или содержание нежелательного газа (например, O₂) слишком велико), при помощи клапана 2 поток 14 может быть перенаправлен куда-либо еще, в том числе в атмосферу (показано, как поток 3). В те периоды, когда поток 14 содержит заданный газ в заданной концентрации, клапан 2 направляет получаемый поток 15 в накопительный резервуар-хранилище 16. Поток 15 также показан пунктирной линией из-за его, возможно, прерывистой природы.

Накопительный резервуар-хранилище 16 выполняет функцию резервуара, обеспечивающего подачу газа в биореактор 5 после любой предварительной обработки этого газа на стадии предварительной обработки 4. Предварительная обработка 4 может проводиться на любом участке системы 1 или даже не проводиться в зависимости от конкретного источника потока 14 газа и/или конкретной реакции ферментации и/или выбранных для ее осуществления микроорганизмов.

Из накопительного резервуара-хранилища 16 выходит, предпочтительно, стабильный поток 17 газа, который направляют на предварительную обработку 4 и, затем, в биореактор 5 как стабильный поток 18. Потоки 17 и 18 показаны сплошной линией, что отражает их, по существу, непрерывных характер. В накопительном резервуаре-хранилище 16 газ может быть сжат с целью уменьшения необходимого для него объема. Для системы расхода газа из накопительного резервуара-хранилища 16 может быть использован клапан (не показан) или другие устройства. Расход газа, предпочтительно, постоянен, его подбирают так, чтобы в накопительном резервуаре-хранилище 16 всегда имелось некоторое количество газа, и резервуар никогда не опорожнялся. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, регулирование работы клапана может осуществляться устройством регулирования (не показано) с целью изменения расхода газа 15 в зависимости от количества имеющегося в резервуаре газа. Конкретнее, когда количество газа в накопительном резервуаре-хранилище 16 становится меньше заранее заданного уровня, расход газа из накопительного резервуара-хранилища 16 может быть уменьшен так, что, хотя оптимальное количество газа не поступает в биореактор 5, подается уменьшенное количество, что может, по меньшей мере, ослабить воздействие на производительность биореактора 5 путем обеспечения улучшенных условий для микроорганизмов, находящихся в биореакторе 5.

Таким образом, в варианте осуществления изобретения, показанном на фиг. 7, прерывистый характер потока 14 смягчается благодаря промежуточному накоплению газа в резервуаре-хранилище 16.

Как ясно специалистам в данной области, для которых предназначено настоящее изобретение, накопительный резервуар-хранилище 16, предпочтительно, включает выпускной канал для удаления отходящих газов процесса ферментации. Биореактор 5 также может быть снабжен средством охлаждения с целью регулирования в нем температуры в приемлемых для микроорганизмов пределах.

В соответствии с альтернативным вариантом осуществления изобретения системы 107, накопительный резервуар-хранилище 16 заменяют на альтернативную форму хранения, пригодную для выполнения той же или подобной функции. Такие формы могут включать один или более вид абсорбции, адсорбции и колебания давления и/или температуры. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, газ хранят в растворе, который затем подают в биореактор 5. Такой порядок может уменьшить время обработки в биореакторе 5, так как требуемые газы растворяют еще до того, как они поступают в биореактор 5.

В конфигурации, показанной на фиг. 8, накопительный резервуар-хранилище 16 необязателен, на что указывает пунктирная линия. В тех вариантах осуществления изобретения, где накопительный резервуар-хранилище 16 исключен, поток 14 направляют в биореактор 5 в том виде и в то время, в котором и когда он имеется в наличии и имеет приемлемый состав, как потоки 19 и 20, прерывистые по своей природе. Как указано выше, этот вариант не идеален для определенных микроорганизмов или процессов. Если накопительный резервуар-хранилище 16 предусмотрен, в него может быть отведена часть потока 15 с тем, чтобы, когда поток 15 поступает, газ направлялся и в биореактор 5, и в накопительный резервуар-хранилище 16. Газ, направленный в накопительный резервуар-хранилище 16, может находиться там на хранении до того момента времени, когда поток 15 перестанет поступать. Тогда, по меньшей мере, небольшой поток газа может быть направлен из накопительного резервуара-хранилища 16 в биореактор 5.

Как ясно специалистам в данной области техники, поток 14 отходящего газа какого-либо производственного процесса может иметь высокую температуру. Диапазоны допустимых температур для микроорганизмов различаются, однако, для анаэробных бактерий, обычно используемых для производства спиртов, таких как этанол, составляют порядка 30°C-50°C. Поток 14 газа может стать причиной увеличения температуры в биореакторе 5, усиливающегося из-за экзотермической природы процесса ферментации, в результате возникает необходимость во включении в данную систему средства охлаждения. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, прерывистый характер потока 14 принимают во внимание при разработке средства охлаждения биореактора 5. Более конкретно, в те периоды времени, когда поток 14 не поступает или не имеет заданного состава, температура в биореакторе 5 может быть уменьшена до значения у нижней границы диапазона допустимых для используемых микроорганизмов температур (например, до 30°C). Затем, когда поток 14 газа заданного состава возобновляется, возможно увеличение температуры внутри биореактора 5, таким образом, снижаются требования к средству охлаждения, обеспечиваемому, когда газ подается в биореактор 5. Так, для анаэробных бактерий, обычно используемых для производства спиртов, таких как этанол, допустимо, чтобы температура в биореакторе 5 приближалась к 50°C. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, в случае, когда температура в биореакторе 5 приближается к максимальному допустимому значению, может быть прекращена подача потока 14 газа в биореактор 5 даже, если он поступает с нужным составом, чтобы облегчить регулирование температуры внутри биореактора 5. В таких случаях газ может быть

направлен на хранение для использования позже или отведен куда-либо еще, где он может быть подвергнут дополнительной обработке, как очевидно специалистам в данной области техники из рассмотрения настоящего описания. В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения предусмотрено выравнивание нагрузки на систему охлаждения.

На фиг. 9 представлена схема системы 109, соответствующей другому варианту осуществления настоящего изобретения. Компрессор 22 служит для сжатия прерывистого потока 21, когда он поступает, направляя сжатый поток 23 в биореактор 5. Таким образом, в соответствии с вариантом осуществления изобретения, показанным на фиг. 9, биореактор 5 эффективно функционирует и как резервуар для ферментации, и как резервуар-хранилище, удерживая внутри газ повышенного давления, когда поток 14 поступает и имеет заданный состав. Когда же поток 14 прерывается, или когда состав потока не соответствует заданному, отходящие газы могут быть медленно выпущены из биореактора 5 так, что давление газа в биореакторе 5 падает, но так, чтобы непрерывно поддерживалось или достаточно хорошо поддерживалось количество любого из необходимых газов, достаточное для исключения значительных периодов времени, в течение которых микроорганизмы лишены этих газов.

На фиг. 10a и 10b представлены схемы установок 110a и 110b, соответствующие другому варианту осуществления настоящего изобретения, в котором для подачи на реакцию ферментации в биореакторе 5 используется множество прерывистых потоков 14a и 14b газа. Так, когда поток 14a не поступает или не имеет заданного состава, в качестве альтернативы ему в биореактор 5 может быть подан поток 14b. Как ясно специалистам в данной области, может иметься в наличии более двух источников потока газа. Кроме того, степень общности между этапами обработки этих потоков может изменяться в зависимости от конкретного состава каждого из потоков. Конфигурация, показанная на фиг. 10a и 10b, может быть реализована на сталелитейном предприятии с использованием различных потоков, образующихся на разных стадиях процесса производства стали. Дополнительно или в качестве альтернативы, могут быть использованы другие источники газа. Например, в случае ферментации с использованием анаэробных бактерий для производства спиртов, таких как этанол, для обеспечения этого потока могут быть использованы традиционные источники (например, биомасса).

На фиг. 11 представлена схема системы 111, соответствующей другому варианту осуществления настоящего изобретения, включающему несколько ранее описанных в настоящем документе стадий. Прерывистый поток 14 преобразуют в, по существу, непрерывный поток 17, как описано ранее со ссылкой на фиг. 7. По существу, непрерывный поток 17, направляют в газоотделитель 13, предназначенный для отделения CO_2 от других компонентов потока субстрата, таких как CO . Отделенный поток 12, содержащий CO_2 , направляют в устройство 8 для удаления CO_2 , где он может быть преобразован в продукты, пригодные для последующего использования или хранения. Оставшуюся часть потока, содержащую CO , направляют на необязательную предварительную обработку 4 и, затем, в биореактор 5. Может быть предусмотрен необязательный трубопровод 24, по которому содержащий CO_2 поток, выходящий из биореактора 5, направляется обратно в устройство 8 для удаления CO_2 , где он может быть преобразован в продукты, пригодные для последующего использования или хранения.

На фиг. 12 представлена схема системы 112, соответствующей еще одному варианту осуществления настоящего изобретения. Кислородный конвертер 25 может быть частью

какого-либо производственного процесса, такого как обезуглероживание стали, и является источником отходящего потока 1. В конкретных вариантах осуществления изобретения отходящий поток 1 содержит СО и/или СО₂. Отходящий поток 1 направляют на необязательную предварительную обработку 4а. Обычно, 5 предварительную обработку осуществляют в газоочистителе или водяной ванне, приспособленной для удаления из потока 1 твердых частиц. Клапан 2а предназначен для отведения, по меньшей мере, части потока 1 в дымовую трубу 26, если определено, что состав данного потока не соответствует заданному. Отводимый поток показан стрелкой 3а. Обычно, отводимый в дымовую трубу 26 поток выбрасывается в атмосферу, 10 что показано стрелкой 27. Обычно, этот поток является газообразным и может быть перемещен в дымовую трубу и, необязательно, в пределах системы 113 при помощи одного или более вентилятора и/или насоса.

Если определено, что поток 1 имеет заданный состав, он может быть направлен в необязательный теплообменник 28а как поток 14. Обычно, поток 14 имеет прерывистый 15 характер и может требовать охлаждения. Теплообменник 28а может представлять собой любое известное в данной области устройство для осуществления теплообмена. Однако, например, это может быть кожухотрубный теплообменник. Необязательная предварительная обработка 4b может быть применена для удаления из этого потока, если нужно, оставшихся твердых частиц. Например, для удаления из этого потока 20 оставшихся твердых частиц может быть использован мембранный фильтр. Предварительная обработка 4b также может предусматривать удаление из, необязательно, охлажденного потока сконденсировавшейся воды, например, в отбойном сепараторе или другом подходящем устройстве для сбора конденсата, известном в данной области.

25 Давление этого потока может быть увеличено любым пригодным устройством, например, газовым компрессором 22, перед его подачей на стадию 29 удаления кислорода. Могут быть использованы любые пригодные средства удаления кислорода, однако, например, стадия 29 удаления кислорода может включать использование 30 горячего медного катализатора или каталитического конвертера. Этот поток может быть охлажден при помощи необязательного теплообменника 28b перед тем, как он будет подан в удерживающую трубку 30. Удерживающая трубка 30 имеет длину, достаточную для того, чтобы до того, как поток достигнет клапана 2b, его состав был определен любым подходящим измерительным устройством (не показано). Если 35 определено, что состав этого потока соответствует заданному, при помощи клапана 2b он может быть направлен в накопительный резервуар-хранилище 16. Если состав непригоден для ферментации, например, слишком велико содержание кислорода, клапан 2b может отклонить этого поток в дымовую трубу 26 (как показано стрелкой 3b). Из накопительного устройства 16 в биореактор 5 поступает, по существу, непрерывный поток субстрата 17, который, необязательно, проходит предварительную обработку 40 4с. Необязательная предварительная обработка 4с может быть применена для удаления нежелательных загрязняющих примесей, таких как микробы, из потока 17. Например, для удаления из потока нежелательных бактерий может быть использован стерилизующий фильтр или мембрана. Отходящий поток 3с, выходящий из биореактора 5, также может быть направлен в дымовую трубу 26.

45 Измерительное устройство для определения состава потока может быть, необязательно, предусмотрено на любом участке данной системы. Например, устройство для определения состава О₂, СО и/или СО₂ может быть установлено до клапана 2а по ходу технологического потока, до удерживающей трубки или клапана 2b по ходу

технологического потока и/или до биореактора 5 по ходу технологического потока. Кроме того, из-за того, что данные потоки по своей природе потенциально легко воспламеняющиеся, на любом участке системы также может быть предусмотрено наличие оборудования для обеспечения безопасности, такого как пламегаситель.

5 На фиг. 13 представлена схема системы 113, соответствующей еще одному варианту осуществления настоящего изобретения. Поток 1 и поток 31 отходящего газа, один из которых или оба могут быть прерывистыми по своей природе, направляют в смеситель 32. Смеситель 32 предназначен для регулирования расхода, по меньшей мере, двух
10 потоков (таких как потоки 1 и 31) и смешивания этих потоков с целью получения потока заданного состава (поток 33). Нежелательные потоки, такие как потоки с ненадлежащим составом, могут быть выведены из системы 113, как показано стрелкой 3, тогда как потоки с заданным составом 33 могут быть направлены в необязательный накопитель 16, на необязательную предварительную обработку 4 и, затем, в биореактор 5 для преобразования в продукты. Состав и расходы потоков 1, 3, 31 и 33 могут
15 контролироваться постоянно или иным образом любым известным в данной области способом.

Поток 1 и/или поток 31 может, дополнительно или в качестве альтернативы, быть направлен в обход смесителя 32 на основании данных о его индивидуальном составе. Такой порядок позволяет использовать один из потоков 1, 31, когда только один из
20 них имеет ненадлежащий состав.

В конкретных вариантах осуществления изобретения смеситель 32 включает смесительную камеру, которая, обычно, представляет собой небольшой резервуар или отрезок трубы. В таких случаях этот резервуар или труба могут быть снабжены устройством перемешивания, таким как отражательные перегородки, расположенными
25 так, чтобы интенсифицировать турбулентное движение и быструю гомогенизацию отдельных компонентов.

В определенных вариантах осуществления изобретения смеситель 32 включает устройство регулирования перемешивания двух или более потоков с целью получения заданного оптимизированного потока субстрата 33. Например, смеситель 32 может
30 включать устройство регулирования расхода каждого из потоков 1 и 31, поступающих в смеситель 32, так, чтобы был получен заданный состав потока 33 (например, заданное отношение CO:H₂). Смеситель также, предпочтительно, включает контрольно-измерительное устройство (работающее в непрерывном или ином режиме) после смесительной камеры по ходу технологического потока. В конкретных вариантах
35 осуществления изобретения смеситель включает процессор, предназначенный для регулирования расходов и/или состава различных потоков на основании данных контрольно-измерительного устройства.

ПРИМЕРЫ

40 Далее настоящее изобретение дополнительно и более подробно описано со ссылкой на следующие не имеющие ограничительного характера примеры.

Если не указано иное, среды и растворы, использованные в процессах ферментации, описанных в этих примерах, содержат следующие компоненты.

Среды:

45

Состав сред LM23 и LM33

Компонент сред	Концентрация на 1,0 л сред (LM23)	Концентрация на 1,0 л сред (LM33)
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0,5 г	0,5 г
NaCl	0,2 г	0,2 г
CaCl ₂	0,2 г	0,2 г

100 ммоль буфера – фосфата натрия (рН 6,0) *	160 мл	–
NaH ₂ PO ₄	–	2,04 г
NH ₄ Cl	0,6 г	2,5 г
85% H ₃ PO ₄	0,05 мл	–
KCl	0,15 г	0,15 г
Комбинированный раствор металлических микроэлементов (LS06)	10 мл	10 мл
Комбинированный раствор витаминов группы В (LS03)	10 мл	10 мл
Резазурин (исходный раствор 1000 мг/л)	1 мл	2 мл
FeCl ₃	0,0025 г	0,01 г
Цистеин HCl моногидрат	0,75 г	0,5 г
Агароза (необязательно)	15 г	15 г
Дистиллированная вода	до 1 л	до 1 л

* сочетание NaH₂PO₄ (13,2 г) и Na₂HPO₄·7H₂O (1,1 г) в H₂O (1 л)

Состав раствора витаминов группы В (LS03) и раствора
металлических микроэлементов (LS06)

Комбинированный раствор витаминов группы В (LS03)	на 1 л исх. раствора	Комбинированный раствор металлических микроэлементов (LS06)	на 1 л исх. раствора
Биотин	20,0 мг	Нитрилотриуксусная кислота	1,5 г
Фолиевая кислота	20,0 мг	MgSO ₄ ·7H ₂ O	3,0 г
Пиридоксин гидрохлорид	10,0 мг	MnSO ₄ ·H ₂ O	0,5 г
Тиамин·HCl	50,0 мг	NaCl	1,0 г
Рибофлавин	50,0 мг	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,1 г
Никотиновая кислота	50,0 мг	Fe(SO ₄) ₂ (NH ₄) ₂ ·6H ₂ O	0,8 г
Кальций D- (*) - пантотенат	50,0 мг	CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,2 г
Витамин B12	50,0 мг	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,2 г
п-Аминобензойная кислота	50,0 мг	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0,02 г
Липоевая кислота	50,0 мг	AlK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	0,02 г
Дистиллированная вода	до 1 л	H ₃ BO ₃	0,30 г
		NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0,03 г
		Na ₂ SeO ₃	0,02 г
		NiCl ₂ ·6H ₂ O	0,02 г
		Na ₂ WO ₄ ·6H ₂ O	0,02 г
Дистиллированная вода	до 1 л		

Методология

Среды

Растворы сред LM23 и LM33 приготовили при pH 5,5 следующим образом. Все ингредиенты за исключением цистеина HCl смешали в 400 мл дистиллированной воды. Раствор обескислородили путем нагревания до кипения и произвольного охлаждения до комнатной температуры при постоянном продувании газа, содержащего 95% CO и 5% CO₂. После охлаждения добавили цистеин HCl и довели pH раствора до 5,5 перед доведением объема раствора до 1000 мл (для примера 1) или 500 мл (для примера 2). Анаэробность поддерживали во время всех экспериментов.

Отходящий газ сталелитейного завода

Отходящий газ сталелитейного завода получили с предприятия New Zealand Steel

Glenbrook, расположенного в Glenbrook, Новая Зеландия. Более конкретно, газ собрали и хранили в газонепроницаемых мешках или в стальных газовых баллонах под давлением 100-130 бар. Отходящий газ сталелитейного завода, хранящийся в мешках, извлекали из них через газонепроницаемую диафрагму из бутилкаучука. Состав отходящего газа сталелитейного завода изменяется во времени в зависимости от стадии производства стали. Однако в данном случае газ собрали во время процесса обезуглероживания, а такие газы обычно содержат 43-50% CO; 17-20% CO₂; 2-3% H₂; 27-34% N₂.

Орошающая вода сталелитейного завода

Воду, используемую для промывки (очистки) потока отходящего газа кислородного конвертера на предприятии New Zealand Steel Glenbrook, расположенном в Glenbrook, Новая Зеландия, отфильтровали один раз при помощи воронки Бюхнера и вакуумной линии через фильтровальную бумагу S95. pH отфильтрованной воды скорректировали до 5,5, перед дальнейшим использованием через нее в течение 45 минут барботировали газ, содержащий 95% CO и 5% CO₂.

Бактерии

Clostridium, autoethanogenum получены из банка биологического материала в Германии (DSMZ). Идентификационный номер, присвоенный этим бактериям в DSMZ 10061. В качестве альтернативы, были использованы Clostridium autoethanogenum под идентификационным номером вложения в DSMZ 19630.

Пробоотбор и аналитические процедуры

Пробы сред отбирали с определенными интервалами в течение 5 дней. Каждый раз при отборе проб обеспечивались меры предосторожности, чтобы не допустить поступления или выхода газа из реакторов/колб для сывортки.

Все пробы были использованы для измерения оптической плотности при 600 нм (спектрофотометр) с целью определения плотности клеток в культуре, концентрации субстратов и продуктов определяли при помощи высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и газовой хроматографии (ГХ). ВЭЖХ в обычном порядке использовали для количественного определения ацетата и этанола. ГХ использовали для определения количества (в процентах по объему) газов монооксида углерода, диоксида углерода, водорода и азота.

ВЭЖХ

Прибор ВЭЖХ системы Agilent, модификация 1100. Подвижная фаза: 0,0025N серная кислота. Расход и давление: 0,800 мл/мин. Колонка: Alltech IOA; номер по каталогу 9648, 150x6,5 мм, размер частиц 5 мкм. Температура колонки: 60°C. Детектор: показатель преломления. Температура детектора: 45°C.

Способ подготовки пробы: 400 мкл пробы + 50 мкл 0,15M ZnSO₄+50 мкл 0,15M Ba(OH)₂ в пробирке Эппендорфа. Центрифугирование 10 мин при 12000 об/мин, 4°C.

Перенесение 200 мкл кондиционированной среды в виалу для ВЭЖХ и инъекция 5 мкл в прибор ВЭЖХ.

Газовая хроматография

Использовали двухканальный газовый хроматограф CP-4900 Micro-GC: канал CP-4900 молекулярное сито 5A PLOT, 10 м, внутренним диаметром 0,25 мм, 4,2 сек промывки обратным потоком, температура инжектора и колонки 70°C, газ-носитель аргон 200 кПа, инъекция 40 миллисекунд; канал CP-4900 PoraPLOT Q, 10 м, внутренним диаметром 0,25 мм, температура инжектора 70°C, температура колонки 90°C, газ-носитель гелий 150 кПа, инъекция 40 миллисекунд. Продолжительность измерения 20 сек.

Продолжительность рабочего цикла метода 2 минуты. Линию ввода проб нагревали

до 70°C и соединяли с сушилкой Nafion.

Пример 1. Ферментация с использованием отходящего газа сталелитейного завода

Пример 1a (колба для сыворотки)

Инкубацию осуществляли в герметичных колбах для сыворотки объемом 250 мл, в каждой из которых содержалось 50 мл сред. Свободное пространство над средой в каждой колбе для сыворотки сначала, перед вакуумированием, три раза продули CO₂, затем заполнили отходящим газом, отобранном на сталелитейном заводе, до итогового давления 25 psig (172,3 кПа). В каждую колбу внесли 1 мл посевного материала культуры Clostridium autoethanogenum. Далее использовали встряхивающий инкубатор и поддерживали температуру реакции равной 37°C.

Пробы сред отбирали с одинаковыми интервалами в течение 15 дней. Каждый раз при отборе проб обеспечивались меры предосторожности, чтобы не допустить поступления или выхода газа из колб для сыворотки.

Все пробы были использованы для измерения плотности клеток в культуре и количества ацетата.

Как видно на фиг. 14 и 15, рост клеток и производство ацетата увеличивалось на протяжении начальных 10 дней, после чего медленно убывало. Таким образом, рост клеток и производство ацетата можно было без труда поддерживать при помощи отходящего газа сталелитейного завода даже при том, что перед использованием этого газа для реакции ферментации не проводилась никакая его дополнительная обработка.

Пример 1b (колба для сыворотки)

Инкубацию осуществляли в герметичных колбах для сыворотки объемом 234 мл, в каждой из которых содержалась среда LM33. Свободное пространство над средой объемом 184 мл в каждой колбе для сыворотки сначала, перед вакуумированием, три раза продули отходящим газом сталелитейного завода, затем заполнили до избыточного давления 30 psig (206,8 кПа). В каждую колбу внесли 2 мл посевного материала культуры Clostridium autoethanogenum. Далее использовали встряхивающий инкубатор и поддерживали температуру реакции равной 37°C. Результаты этих экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Колба для сыворотки (30 psig (206,8 кПа);
50% CO; 18% CO₂; 3% H₂; 29% N₂)

День	0	1	2
Биомасса, г/л	0,08	0,22	0,19
Ацетат, г/л	0,4	1,4	3,2
Этанол, г/л	0	0	0,3
Избыточное давление, psig	30	28	18

Пример 1c (проточный реактор с мешалкой объемом 10 л)

Биореактор Bioflo 3000 заполнили 5 л среды LM33 без цистеина и раствора витаминов (LS03) и обрабатывали в автоклаве в течение 30 мин при 121°C. После охлаждения среду продули N₂ и добавили раствор LS03, а также цистеин. Затем, перед внесением 150 мл посевного материала культуры Clostridium autoethanogenum, газ заменили на отходящий газ сталелитейного завода. Температуру в биореакторе поддерживали равной 37°C и осуществляли перемешивание при 200 об/мин в начале развития культуры

с расходом газа 60 мл/мин. В ходе фазы роста перемешивание усилили до 400 об/мин, расход газа установили равным 100 мл/мин, рН установили равным 5,5 и поддерживали путем автоматического добавления 5М NaOH. Результаты эксперимента, включая потребление газа, приведены в таблице 4.

5

Таблица 4

Ферментация в проточном реакторе с мешалкой при подаче отходящего газа сталелитейного завода

День	1	2	3	4	5
Биомасса, г/л	0,05	0,08	0,30	0,28	0,20
Ацетат, г/л	0,40	0,78	2,76	3,10	4,03
Этанол, г/л	0,00	0,00	0,00	0,48	0,71
Подача газа, мл/мин	60	60	100	100	100
CO, %, в подаваемом газе	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5
CO ₂ , %, в подаваемом газе	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
H ₂ , %, в подаваемом газе	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
N ₂ , %, в подаваемом газе	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7
Выход газа, мл/мин	55	55	73	94	92
CO, %, в исходящем газе	49,2	35,8	16,4	46,1	45,5
CO ₂ , %, в исходящем газе	16,9	30,6	44,6	21,1	21,1
H ₂ , %, в исходящем газе	3,2	3,2	1,1	3,2	3,2
N ₂ , %, в исходящем газе	30,4	30,4	37,8	29,5	30,2

Пример 1d (газлифный реактор объемом 50 л)

30

Газлифный реактор объемом 50 л (высотой 2900 мм × диаметром 150 мм, с направляющей трубкой высотой 200 мм × диаметром 95 мм) заполнили 37 л среды LM33, стерилизованной на фильтре с порами 0,2 микрометра (фильтр Pall KA2 DFL P2). Через эту среду в течение 18 ч барботировали азот, затем перешли на отходящий газ сталелитейного завода и внесли 5 л посевного материала культуры *Clostridium autoethanogenum*. Температуру в газлифтном реакторе поддерживали равной 37°C, перемешивание осуществляли путем рециркуляции в пространстве над средой газа с расходом 15 л/мин. Вначале расход газа, подаваемого в реактор, составил 500 мл/мин. Повышенное давление в пространстве над средой поддерживали равным 8 psig (55,1 кПа). На протяжении фазы роста микроорганизмов подачу газа в реактор увеличили до 1000 мл/мин. рН установили равным 5,5 и поддерживали путем автоматического добавления 5М NaOH. Результаты эксперимента, включая потребление газа, приведены в таблице 5.

45

Ферментация в газлифтном реакторе при подаче отходящего газа
сталелитейного завода

5	День	1	2	3	4	5
	Биомасса, г/л	0,15	-	-	0,36	0,36
	Ацетат, г/л	0,87	3,93	7,90	9,44	10,86
10	Этанол, г/л	0,00	0,00	0,21	0,38	0,48
	Подача газа, мл/мин	500	500	1000	1000	1000
	CO, %, в подаваемом газе	43,6	43,6	43,6	44,3	44,3
	CO ₂ , %, в подаваемом газе	19,7	19,7	19,7	20,0	20,0
15	H ₂ , %, в подаваемом газе	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	N ₂ , %, в подаваемом газе	33,9	33,9	33,9	32,8	32,8
	Выход газа, мл/мин	341	-	-	690	716
20	CO, %, в исходящем газе	29,1	-	-	33,1	41,3
	CO ₂ , %, в исходящем газе	29,5	-	-	28,5	22,7
	H ₂ , %, в исходящем газе	2,9	-	-	3,0	2,6
	N ₂ , %, в исходящем газе	38,4	-	-	34,8	33,5

25

Благодаря конкретным вариантам осуществления настоящего изобретения расширяется применимость реакций микробиологической ферментации с использованием промышленных отходящих газов, особенно для производства этанола бактериями *Clostridium autoethanogenum*. Содержащие CO отходящие газы, получаемые непосредственно из производственных процессов, могут быть использованы в качестве субстрата в реакциях ферментации с целью производства продуктов, таких как ацетат и/или этанол. Это является результатом улавливания углерода, содержащегося в отходящих газах, и, таким образом, повышается качество или уменьшается количество отходов, образующихся в производственных процессах, в частности, при производстве стали, и уменьшаются затраты, связанные с использованием на практике реакций ферментации.

30

Пример 2. Ферментация с использованием орошающей воды

В непрерывном потоке газа, содержащего 95% CO и 5% CO₂, 25 мл сред LM23 распределили в колбы для сыворотки объемом 250 мл и смешали либо с 25 мл дистиллированной воды (контрольные колбы), либо с 25 мл обескислороженной орошающей воды со скорректированным pH (экспериментальные колбы). Все колбы закрыли газонепроницаемой диафрагмой из бутилкаучука и герметизировали путем обжима крышки перед обработкой в автоклаве при 121°C в течение 20 мин.

40

После охлаждения во все колбы для сыворотки внесли 1 мл посевного материала культуры *Clostridium autoethanogenum*, которая активно росла в атмосфере 95% CO и 5% CO₂. Пространство над культурой заполнили 95% CO и 5% CO₂ до давления 35 psig (241,3 кПа). Из каждой колбы в асептических условиях отобрали первую пробу среды. Колбы поместили во встряхивающий инкубатор с температурой 37°C.

45

Пробы сред отбирали с одинаковым интервалом на протяжении 15 дней. Каждый раз при отборе проб пространство над средой в каждой колбе три раза продували 95% СО и 5% СО₂ перед подъемом давления до 35 psig (241,3 кПа).

5 Все пробы были использованы для измерения концентрации клеток и количества этанола и ацетата в каждой культуре.

Результаты

Как можно видеть на фиг. 16 и 17, влияние добавления 50% орошающей воды к среде включает:

1. Снижение уровня производства ацетата;
- 10 2. 45% увеличение конечной плотности бактерий;
3. 45% увеличение уровня производства этанола.

15 Как таковые, конкретные варианты осуществления настоящего изобретения обеспечивают увеличение эффективности роста бактерий и производства спирта в ходе реакций ферментации, в частности, производства этанола бактериями *Clostridium autoethanogenum*. В качестве добавки к питательным средам, используемым в реакциях ферментации, могут быть использованы отходы производственных процессов. В частности, орошающая вода может быть использована в качестве альтернативного

20 основного сырья или субстрата для реакций микробиологической ферментации. Результатом этого является повышение качества или уменьшение количества отходов, образующихся в ходе производственных процессов, в частности, производства стали, уменьшение количества сред, необходимых для поддержания реакций ферментации, и уменьшение образования ацетата, являющегося побочным продуктом при производстве этанола путем ферментации, таким образом, повышается общая эффективность реакций ферментации и уменьшаются затраты, связанные с осуществлением на практике таких

25 реакций. Настоящее изобретение описано со ссылкой на определенные предпочтительные варианты его осуществления, чтобы дать возможность читателю реализовать данное изобретение без ненужного экспериментирования. Специалистам в данной области понятно, что настоящее изобретение может быть воплощено в большом числе вариантов и модификаций, отличных от специально описанных в настоящем документе. Следует

30 понимать, что изобретение включает все подобные варианты и модификации. Кроме того, заголовки, рубрики и т.п. даны для того, чтобы облегчить для читателя понимание данного документа и не должны быть истолкованы как ограничивающие объем настоящего изобретения. Содержание всех патентных заявок, патентов и публикаций, цитируемых в данной документе, во всех их полноте включается в описание путем

35 ссылки. Более конкретно, как ясно специалистам в данной области, реализация вариантов осуществления настоящего изобретения может включать один или более дополнительный элемент. В конкретном примере или в настоящем описании могли

40 быть показаны только элементы, необходимые для понимания настоящего изобретения в различных его аспектах. Однако объем настоящего изобретения не ограничивается описанными вариантами его осуществления и включает системы и/или способы, в которых имеется один или более дополнительный этап и/или один или более замененный этап и/или системы и/или способы, не включающие один или более этап.

45 Какая-либо ссылка на известный уровень техники в настоящем описании не является и не должна быть истолкована как признание или любая форма указания на то, что этот известный уровень техники составляет часть общедоступных сведений в данной области деятельности в любой стране.

В настоящем описании и любом пункте нижеследующей формулы изобретения, если контекст не указывает на иное, слова «содержать», «содержащий» и т.п. следует рассматривать как включающие, а не исключающие, то есть, в смысле «включающий, но этим не ограничивающийся».

5

(57) Формула изобретения

1. Способ получения одного или более продуктов с помощью микробиологической ферментации потока газа, включающий стадии, на которых

а) направляют поток газа, содержащий метан, в установку для химического превращения и превращают по меньшей мере порцию потока газа, содержащего метан, в поток газообразного субстрата, содержащего СО;

б) направляют этот поток субстрата в биореактор, содержащий культуру одного или более микроорганизмов; и

в) анаэробно ферментируют этот поток субстрата в биореакторе с получением продукта, выбранного из группы, состоящей из спиртов, кислот и их смесей.

2. Способ по п. 1, где поток газа содержит поток природного газа.

3. Способ по п. 1, где поток газа превращают в поток газообразного субстрата, содержащего СО, посредством реформинга.

4. Способ по п. 3, где реформинг представляет собой паровой реформинг.

5. Способ по п. 1, где поток газа превращают в поток газообразного субстрата, содержащего СО, посредством частичного окисления.

6. Способ по п. 1, дополнительно включающий отделение по меньшей мере части компонента СО₂ при помощи устройства для удаления СО₂ из одного или обоих потоков:

i. потока субстрата перед вхождением потока субстрата в биореактор; и

ii. потока отходящих газов после того, как поток отходящих газов вышел из биореактора.

7. Способ по п. 1, где один или более микроорганизмов представляет собой карбоксидотрофную бактерию.

8. Способ по п. 7, где карбоксидотрофная бактерия выбрана из группы, состоящей из *Clostridium*, *Moorella* и *Carboxydotherrmus*.

9. Способ по п. 8, где бактерия *Clostridium* выбрана из группы, состоящей из *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium Ijungdahlii*, *Clostridium ragsdalei*, *Clostridium drakei*, *Clostridium carboxydivorans*, *Clostridium scatologenes* и их смесей.

10. Способ по п. 9, где бактерия представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

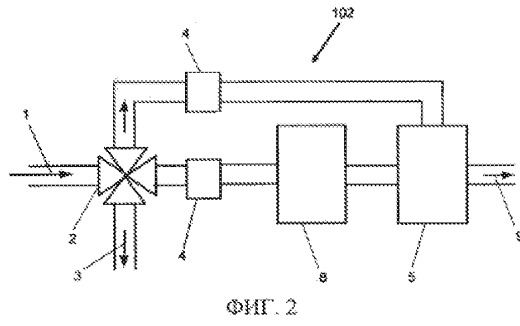
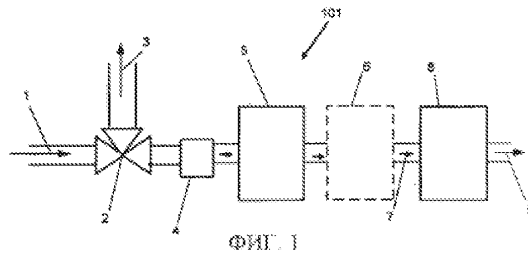
11. Способ по п. 10, где бактерия имеет отличительные характеристики штамма *Clostridium autoethanogenum*, который внесен в банк биологического материала в Германии (German Resource Centre for Biological Materials; DSMZ) под идентификационным номером вложения DSM 19630.

12. Способ по п. 1, где продукты ферментации включают этанол и/или ацетат.

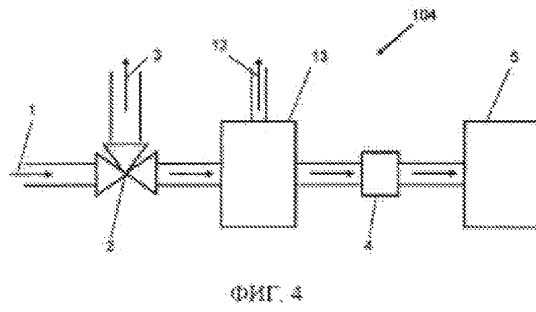
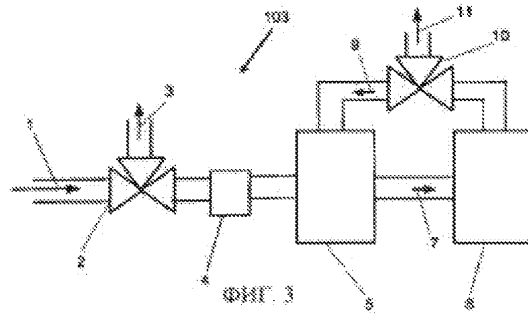
40

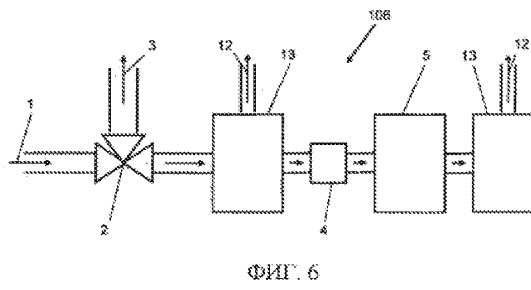
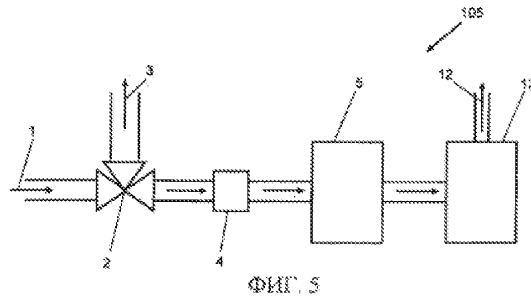
45

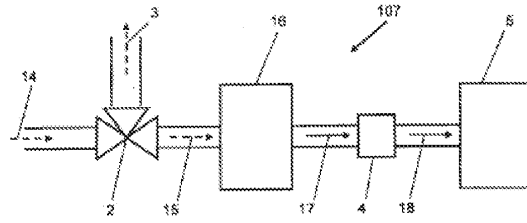
1



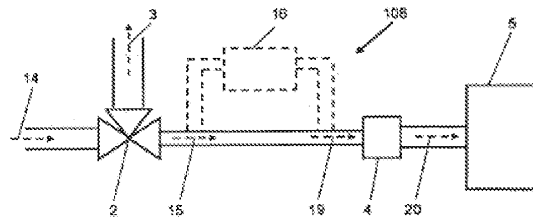
2



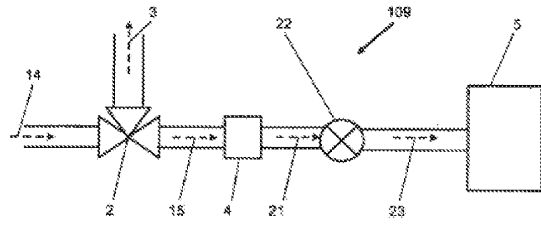




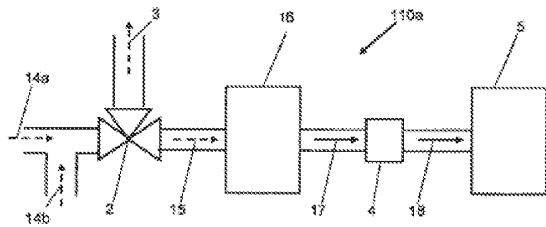
ФИГ. 7



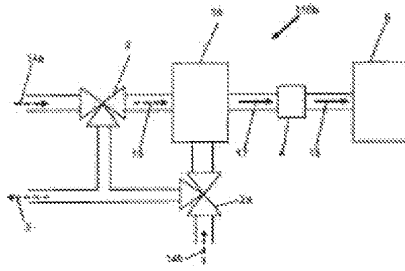
ФИГ. 8



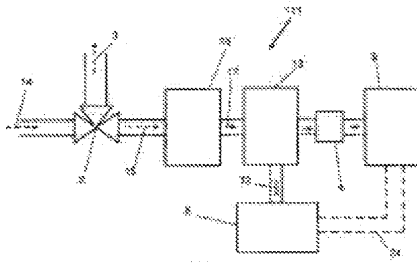
ФИГ. 9



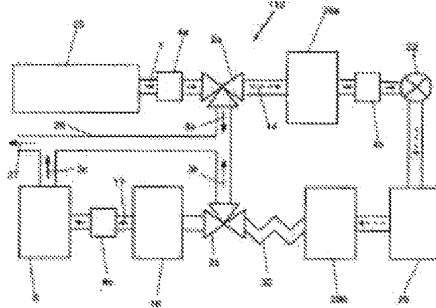
ФИГ. 10a



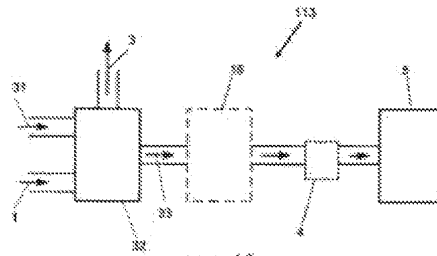
ФИГ. 10b



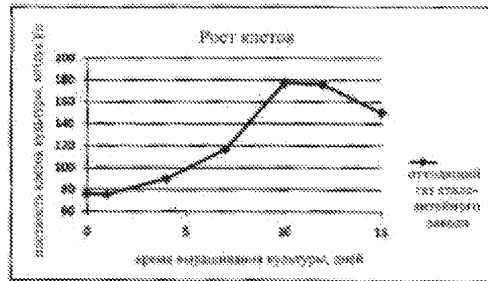
ФИГ. 11



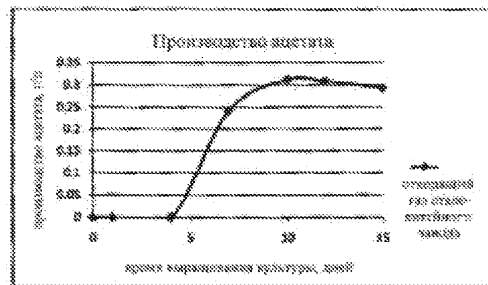
Фиг. 12



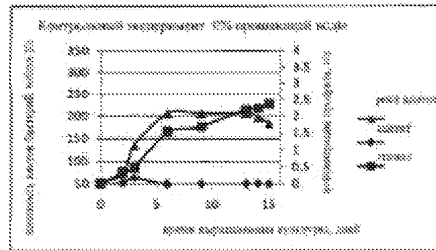
Фиг. 13



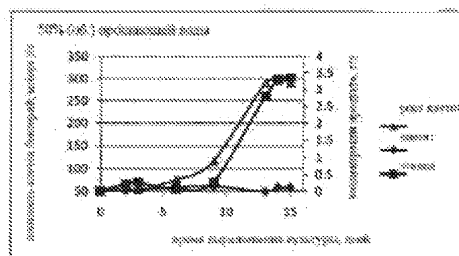
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17