

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045094**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.10.27**

(51) Int. Cl. **C12P 7/06 (2006.01)**  
**C12M 1/00 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**202191899**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.12.20**

---

(54) **СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ С БЛИЗКИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ КИПЕНИЯ**

---

(31) **62/803,120**

(32) **2019.02.08**

(33) **US**

(43) **2021.10.19**

(86) **PCT/US2019/067981**

(87) **WO 2020/163020 2020.08.13**

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

(72) Изобретатель:  
**Гао Аллан Хейминг, Конрадо Роберт  
Джон, Гриффин Дерек Уэйн, Тянь Пэн  
(US)**

(74) Представитель:  
**Хмара М.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2018175481  
US-A-5897750  
WO-A2-2012058508  
US-A-5800681  
WO-A1-2017136740  
KR-A-1020130086246**

---

(57) Изобретение направлено на способ извлечения продуктов из ферментативного бульона. Изобретение относится к использованию экстрактивной перегонки и/или дегидратации для извлечения продуктов, которые имеют близкие температуры кипения, например, этанола и изопропанола, из ферментативного бульона. В одном варианте осуществления изобретения извлечение продукта завершается способом, который минимизирует нагрузку на микробную биомассу, вследствие чего она остается жизнеспособной, по меньшей мере частично, и может быть переработана и повторно использована в процессе ферментации, что может привести к повышению эффективности процесса ферментации. После емкости перегонки могут быть использованы емкость экстрактивной перегонки и/или реактор дегидратации. Чтобы минимизировать нагрузку на микробную биомассу, емкость перегонки может находиться под вакуумом. Емкость экстрактивной перегонки может быть использована параллельно с сепарационной емкостью, таким образом, сепарационная емкость способна возвращать в повторный цикл агент экстрактивной перегонки.

**B1**

**045094**

**045094**

**B1**

### **Перекрестная ссылка на родственную заявку**

В настоящей заявке испрашивается приоритет по предварительной заявке США № 62/803,120, поданной 8 февраля 2019 г., содержание которой включено в данный документ посредством ссылки.

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Это изобретение относится к способу извлечения продуктов с близкими температурами кипения из ферментативного бульона. В частности, изобретение относится к использованию экстрактивной перегонки для извлечения продуктов, например, этанола и изопропанола, из ферментативного бульона, причем ферментативный бульон содержит микробную биомассу, этанол и изопропанол.

### **Уровень техники**

На углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) приходится около 76% мировых выбросов парниковых газов в результате деятельности человека, при этом на оставшуюся долю приходится метан (16%), закись азота (6%) и фторированные газы (2%) (согласно данным Управления по охране окружающей среды США). Большая часть  $\text{CO}_2$  поступает от сжигания ископаемого топлива для производства энергии, хотя промышленные и лесохозяйственные мероприятия также выделяют  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Снижение выбросов парниковых газов, особенно  $\text{CO}_2$ , имеет решающее значение для остановки глобального потепления и связанного с ним изменения климата и погоды.

Давно признано, что каталитические процессы, например, процесс Фишера-Тропша, могут быть использованы для преобразования газов, содержащих диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), монооксид углерода (CO) и/или водород ( $\text{H}_2$ ), например, газообразных промышленных отходов или синтез-газа, в различные виды топлива и химикаты. Однако в последнее время ферментация газов стала альтернативной платформой для биологического связывания таких газов. В частности, было продемонстрировано, что C1-связывающие микроорганизмы превращают газы, содержащие  $\text{CO}_2$ , CO и/или  $\text{H}_2$ , в такие продукты, как этанол и изопропанол.

Как правило, продукты, полученные в результате ферментации Фишера-Тропша и/или ферментации газов, отделяются посредством обычной перегонки. Процесс перегонки основывается на разнице в летучести, то есть разнице в температуре кипения компонентов, которые необходимо разделить. Однако было показано, что для смесей с близкими температурами кипения, например, смесей, содержащих как этанол, так и изопропанол, обычная перегонка не позволяет эффективно отделить отдельные компоненты из раствора.

Кроме того, C1-связывающие микроорганизмы, присутствующие в ферментативном бульоне, вряд ли выдержат высокие температуры, необходимые для обычной перегонки. Чтобы преодолеть потерю жизнеспособных C1-связывающих микроорганизмов, использовали методы фильтрации. Однако со временем при использовании традиционных методов фильтрации твердые частицы могут накапливаться в фильтре или на нем, что может привести к уменьшению потока фильтрата и неизбежно потребуются очистка и/или замена фильтра.

Соответственно, остается потребность в системе, которая была бы эффективной для отделения соединений с близкими температурами кипения, например, этанола и изопропанола, обеспечивая при этом жизнеспособность C1-связывающих микроорганизмов в ферментативном бульоне.

### **Краткое описание сущности изобретения**

В изобретении предлагается способ извлечения продукта из ферментативного бульона, содержащего микробную биомассу, этанол и изопропанол. В одном варианте осуществления изобретения ферментативный бульон подается из биореактора в емкость вакуумной перегонки, где ферментативный бульон частично испаряется с получением обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, и обедненного продуктом потока, содержащего микробную биомассу. В некоторых вариантах осуществления изобретения по меньшей мере часть обедненного продуктом потока подается обратно в биореактор. На следующей ступени может быть использована емкость экстрактивной перегонки для разделения этанола и изопропанола. Разделение достигается посредством перегонки в присутствии агента экстрактивной перегонки с получением головного продукта перегонки и кубовых остатков перегонки. В зависимости от используемого агента экстрактивной перегонки этанол либо изопропанол извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть другого продукта извлекается в кубовых остатках перегонки: этанола, если изопропанол извлекается в головном продукте перегонки, и изопропанола, если этанол извлекается в головном продукте перегонки.

Агент экстрактивной перегонки работает посредством взаимодействия с продуктом, этанолом либо изопропанолом, в обогащенном продуктом потоке, для увеличения относительной летучести между продуктами. В одном варианте осуществления изобретения агент экстрактивной перегонки имеет высокое сродство к одному продукту, этанолу либо изопропанолу, и низкое сродство к альтернативному продукту. Правильный агент экстрактивной перегонки не должен образовывать азеотроп с компонентами в потоке, обогащенном продуктом, и должен быть способен отделяться от альтернативного продукта в дальнейшем в сепарационной емкости, как правило, посредством перегонки.

Для извлечения этанола в головном продукте перегонки и изопропанола в кубовых остатках перегонки, агент экстрактивной перегонки может содержать по меньшей мере один материал, выбранный из группы, состоящей из альфа-пинена, бета-пинена, метилизобутилкетона, лимонена, альфа-фелландрена,

альфа-терпинена, мирцена, карана, пара-мента-1,5-диена, бутилового эфира, 1-метокси-2-пропанола, н-бутилацетата, н-амилацетата, бензилацетата, этиленгликоля этилового эфира ацетата, метилацетоацетата, этиленгликольдиацетата, 2-бутоксипропиолацетата, метилбутирата, этилпропионата, этил-н-валерата, бутилбензоата, этилбензоата, пиридина, N,N-диметиланилина, о-втор-бутилфенола, 3-изопропилфенола, 2,6-диметилфенола, о-трет-бутилфенола, 4-этилфенола, диэтилфталата, диизооктилфталата, диметиладипата, триацетата глицерина, диэтилмалоната, диметилглутарата, тетрагидрофурана, фенилового эфира этиленгликоля, ацетата метилового эфира дипропиленгликоля, гексилового эфира диэтиленгликоля, пропоксипропанола, бутоксипропанола, диметилового эфира п-ксиленгликоля, метилового эфира трет-бутилового эфира диэтиленгликоля, диацетата триэтиленгликоля, анизола, фенетолола, фенилового эфира, 1,2-метилendioксибензола, изофорона, этил-3-этоксипропионата, тетраэтилортосиликата, 2-гидроксиацетофенона, 1,1,1-трихлорэтана, тетрахлорэтилена, 2,2,2-трихлорэтанола, м-дихлорбензола, хлорбензола, 2,6-дихлортолуола, 1-хлоргексана, диэтиленгликоля, диметилсульфоксида, диметилформамида, сульфолана, изофорона, 2-пирролидинона, 1-метил-2-пирролиндинона, изодецилового спирта, циклодеканола, бензилового спирта, 1-додеканола, тридецилового спирта, фенэтилового спирта, циклогексанола, циклопентанола, 2-нитропропана, 1-нитропропана, нитроэтана, нитрометана, 3-нитротолуола, 2-нитротолуола, триацетина, 3-нитро-о-килола, 1,4-диоксана, изобутилацетата, этилбутирата, изоамилформиата, метилкапроата, этилкапроата, пропилкапроата, 1-метокси-2-пропанолацетата, изобутилизобутирата, гексилацетата, этилизобутирата, пропилибутирата, изобутилибутирата, изоборнилацетата, 1,3-диоксолана, нитробензола, бутилбутирата, 4-метил-2-пентанола и полиэтиленгликоля 400.

В одном варианте осуществления изобретения агент экстрактивной перегонки добавляется в емкость экстрактивной перегонки в соотношении агента экстрактивной перегонки к изопропанолу по меньшей мере 5:1. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения агент экстрактивной перегонки добавляется в соотношении агента экстрактивной перегонки к изопропанолу по меньшей мере 5:1, 10:1, 20:1 или 40:1.

Для извлечения изопропанола в головном продукте перегонки и этанола в кубовых остатках перегонки агент экстрактивной перегонки может содержать по меньшей мере один материал, выбранный из группы, состоящей из этилбензола, толуола, п-ксилола, гептана, фенола и 2-трет-бутилфенола.

В одном варианте осуществления изобретения агент экстрактивной перегонки добавляется в емкость экстрактивной перегонки в соотношении агента экстрактивной перегонки к этанолу по меньшей мере 5:1. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения агент экстрактивной перегонки добавляется в соотношении агента экстрактивной перегонки к этанолу по меньшей мере 5:1, 10:1, 20:1 или 40:1.

В некоторых случаях ферментативный бульон может дополнительно содержать один или более побочных продуктов, выбранных из группы, состоящей из уксусной кислоты, ацетона, 3-гидроксипропиола, изобутанола, н-пропанола, н-бутанола и/или 2,3-бутандиола. По меньшей мере часть по меньшей мере одного побочного продукта удаляется с боковым погоном или при последующей обработке. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть 3-гидроксипропиола, изобутанола, н-пропанола и/или н-бутанола удаляется с боковым погоном в ректификационной колонне.

В некоторых случаях ацетон в ферментативном бульоне используется в качестве промежуточного продукта для получения изопропанола. В случае, если ацетон используется в качестве промежуточного продукта для получения изопропанола, по меньшей мере часть ацетона в ферментативном бульоне превращается в изопропанол посредством одного или более микроорганизмов в биореакторе. В различных вариантах осуществления изобретения по меньшей мере часть ацетона удаляется из ферментативного бульона до того, как ферментативный бульон будет передан в емкость вакуумной перегонки. В различных вариантах осуществления изобретения по меньшей мере часть ацетона отделяется с использованием теплообменника, расположенного после ректификационной колонны. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть удаленного ацетона возвращается в биореактор для увеличения доли изопропанола, получаемого в процессе ферментации.

В некоторых случаях указанный процесс является оптимальным решением для получения изопропанола вместо этанола. Чтобы увеличить долю изопропанола, получаемого в процессе ферментации, по меньшей мере часть отделенного этанола, который получают в биореакторе, может быть передана обратно в биореактор, чтобы уменьшить долю этанола, в дальнейшем получаемого в биореакторе. В одном варианте осуществления изобретения подача этанола обратно в биореактор уменьшит количество углерода, который связывается с образованием этанола, и увеличит количество углерода, который связывается с образованием изопропанола. В некоторых случаях, когда ацетон является промежуточным продуктом получения изопропанола, подача этанола обратно в биореактор уменьшает долю углерода, который связывается с образованием этанола, и увеличивает количество углерода, который связывается с образованием ацетона. По меньшей мере часть этанола, подаваемого обратно в биореактор, может подаваться из емкости экстрактивной перегонки либо из сепарационной емкости, в зависимости от того, какой агент экстрактивной перегонки используется и где этанол извлекается в технологическом процессе.

В изобретении предлагается оптимизация энергопотребления процесса. В одном варианте осуществления изобретения емкость экстрактивной перегонки является теплоинтегрированной для уменьшения

количества энергии, необходимой для процесса. В некоторых случаях в изобретении предлагается приведение в контакт головного продукта перегонки, полученного в колонне экстрактивной перегонки, с ребойлером сепарационной емкости, ребойлером ректификационной колонны и/или теплообменником для уменьшения количества энергии, необходимой для технологического процесса. Перед использованием в качестве теплообменной среды, один или более головных продуктов перегонки могут быть подвергнуты сжатию с целью увеличения давления потока. Головные погоны, полученные в других емкостях/колоннах, также могут быть использованы в качестве теплообменной среды. Например, головной продукт перегонки, произведенный ректификационной колонной, может контактировать с ребойлером емкости экстрактивной перегонки, ребойлером сепарационной емкости и/или теплообменником с целью уменьшения количества энергии, необходимой для процесса.

В изобретении предлагается максимизация производства определенных продуктов и при этом минимизация производства побочных продуктов. В одном варианте осуществления изобретения сепарационная емкость используется для отделения продукта, содержащегося в кубовых остатках перегонки, от агента экстрактивной перегонки. В одном варианте осуществления изобретения сепарационная емкость может принимать кубовые остатки перегонки и производить обогащенный изопропанолом поток и поток, обогащенный агентом экстрактивной перегонки. В другом варианте осуществления изобретения сепарационная емкость может принимать кубовые остатки перегонки и производить обогащенный этанолом поток и поток, обогащенный агентом экстрактивной перегонки. Производит ли сепарационная емкость обогащенный изопропанолом поток или обогащенный этанолом поток или нет, зависит, по меньшей мере частично, от используемого агента экстрактивной перегонки. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть потока, обогащенного агентом экстрактивной перегонки, подается в емкость экстрактивной перегонки для уменьшения количества нового агента экстрактивной перегонки, необходимого для емкости экстрактивной перегонки.

В одном варианте осуществления изобретения в изобретении допускается обработка ферментативного бульона при заданной скорости подачи. Скорость подачи определяется объемами биореактора для ферментативного бульона в час. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения скорость подачи в емкость вакуумной перегонки находится в интервале между 0,05 и 0,5 объема биореактора в час. В определенных вариантах осуществления изобретения скорость подачи находится в интервале между 0,01 и 0,1, 0,05 и 0,2, 0,05 и 0,3, 0,05 и 0,4, 0,1 и 0,3, 0,1 и 0,5 или 0,3 и 0,5 объема биореактора в час.

В некоторых случаях ферментативный бульон имеет заданное время пребывания в емкости вакуумной перегонки. Количество времени, в течение которого ферментативный бульон находится в емкости вакуумной перегонки, это количество времени между моментом, когда ферментативный бульон поступает через впускное отверстие для приема ферментативного бульона, и моментом, когда ферментативный бульон выходит через выпускное отверстие для передачи обедненного продуктом потока. В одном варианте осуществления изобретения время пребывания находится в интервале между 0,5 и 15 минутами. В различных вариантах осуществления изобретения время пребывания находится в интервале между 0,5 и 12 минутами, 0,5 и 9 минутами, 0,5 и 6 минутами, 0,5 и 3 минутами, 2 и 15 минутами, 2 и 12 минутами, 2 и 9 минутами или 2 и 6 минутами. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения время пребывания составляет менее 15 минут, менее 12 минут, менее 9 минут, менее 6 минут, менее 3 минут, менее 2 минут или менее 1 минуты с целью обеспечения жизнеспособности микроорганизмов.

В некоторых случаях емкость вакуумной перегонки определяет разделительную секцию, состоящую из ряда тарелок для перегонки. Тарелки для перегонки могут представлять собой любой соответствующий ряд тарелок для перегонки для обеспечения требуемого парожидкостного контакта.

В некоторых случаях емкость вакуумной перегонки определяет разделительную секцию, состоящую из насадочного материала. Насадочный материал может быть любым подходящим материалом, способным обеспечить требуемый парожидкостный контакт.

Разделительная секция емкости вакуумной перегонки предназначена для обеспечения множества теоретических ступеней перегонки, при которых возрастающее количество продукта испаряется из ферментативного бульона, когда ферментативный бульон проходит ступени перегонки. В одном варианте осуществления изобретения разделительная среда обеспечивает множество теоретических ступеней перегонки. В определенных вариантах осуществления изобретения разделительная среда обеспечивает по меньшей мере три теоретические ступени перегонки, или по меньшей мере пять теоретических ступеней перегонки, или по меньшей мере шесть теоретических ступеней перегонки.

В одном варианте осуществления изобретения разделение осуществляется с целью обеспечения жизнеспособности микробной биомассы. Посредством обеспечения жизнеспособности микробной биомассы, обедненный продуктом поток, передаваемый в биореактор, который содержит по меньшей мере некоторое количество жизнеспособных микроорганизмов, снова может быть использован для процесса газовой ферментации. Обедненный продукт поток содержит микробную биомассу с жизнеспособностью по меньшей мере 20%, с жизнеспособностью по меньшей мере 25%, с жизнеспособностью по меньшей мере 30%, с жизнеспособностью по меньшей мере 40%, с жизнеспособностью по меньшей мере 50%, или с жизнеспособностью по меньшей мере 60%, или с жизнеспособностью по меньшей мере 70%,

или с жизнеспособностью по меньшей мере 80%, или с жизнеспособностью по меньшей мере 85%, или с жизнеспособностью по меньшей мере 90%, или с жизнеспособностью по меньшей мере 95%. В контексте данного документа процент жизнеспособности описывает количество жизнеспособных клеток, деленное на общее количество клеток, где общее количество клеток равно сумме количества жизнеспособных клеток и количества нежизнеспособных клеток. В одном варианте осуществления изобретения снижение жизнеспособности в емкости вакуумной перегонки составляет не более 5-10%.

Жизнеспособность микробной биомассы может быть измерена с использованием любых подходящих средств. В одном варианте осуществления изобретения жизнеспособность измеряется с использованием проточной цитометрии и анализа живых/мертвых клеток. В некоторых случаях для измерения жизнеспособности микробной биомассы в ферментативном бульоне, её отбирают из ферментативного бульона перед его поступлением в емкость вакуумной перегонки. В некоторых случаях для измерения жизнеспособности микробной биомассы в обедненном продуктом потоке, её отбирают из обедненного продуктом потока, выходящего из емкости вакуумной перегонки, перед подачей обедненного продуктом потока в биореактор. В других вариантах осуществления изобретения, возможно, нет необходимости вообще измерять жизнеспособность микробной биомассы, в частности, если ранее было продемонстрировано, что этот процесс поддерживает жизнеспособность по меньшей мере части микробной биомассы.

В некоторых случаях в результате измерения жизнеспособности могут быть изменены одна или более переменных. В одном варианте осуществления изобретения одна или более переменных, измененных в результате измерения жизнеспособности, выбраны из группы, включающей: давление, температуру, время пребывания, концентрацию продукта в ферментативном бульоне, скорость подачи пара и разделительную среду.

В одном варианте осуществления изобретения обедненный продуктом поток имеет уменьшенное содержание продукта по отношению к ферментативному бульону с целью предотвращения или по меньшей мере уменьшения накопления продукта в ферментативном бульоне. За счет предотвращения или по меньшей мере уменьшения накопления продукта в ферментативном бульоне, процесс ферментации может быть непрерывным. В одном варианте осуществления изобретения продукт извлекается при непрерывном процессе ферментации. В некоторых случаях обедненный продуктом поток содержит менее 20% продукта, содержащегося в сырьевом потоке, или менее 10% продукта, содержащегося в сырьевом потоке, или менее 5% продукта, содержащегося в сырьевом потоке, или менее 2,5% продукта, содержащегося в сырьевом потоке, или менее 2% продукта, содержащегося в сырьевом потоке, или менее 1% продукта, содержащегося в сырьевом потоке.

В некоторых случаях емкость вакуумной перегонки обеспечивает перепад давления по высоте емкости вакуумной перегонки менее 3,2 кПа (абс.). В некоторых случаях перепад давления по высоте емкости вакуумной перегонки составляет менее 3 кПа (абс.), менее 2,8 кПа (абс.), менее 2,6 кПа (абс.), менее 2,4 кПа (абс.), менее 2,2 кПа (абс.), менее 2 кПа (абс.) или менее 1,8 кПа (абс.).

Для эффективного извлечения продукта из ферментативного бульона, при сохранении жизнеспособности микроорганизмов, емкость вакуумной перегонки работает под давлением ниже атмосферного. В одном варианте осуществления изобретения емкость вакуумной перегонки работает под давлением в интервале между 4 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.), или в интервале между 4 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.), или в интервале между 4 кПа (абс.) и 6 кПа (абс.), или в интервале между 5 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.), или в интервале между 5 кПа (абс.) и 8 кПа (абс.), или в интервале между 5 кПа (абс.) и 7 кПа (абс.), или в интервале между 6 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.), или в интервале между 8 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.).

Для эффективного извлечения продукта из ферментативного бульона, вакуумная перегонка работает при температуре в диапазоне, дающем возможность извлечения продукта, при этом обеспечивая жизнеспособность микроорганизмов. В некоторых случаях продукт выбран из группы, состоящей из этанола, ацетона и изопропанола. В одном варианте осуществления изобретения емкость вакуумной перегонки работает при температуре в интервале между 30°C и 50°C. В одном варианте осуществления изобретения температура находится в интервале между 30°C и 45°C, или в интервале между 37°C и 45°C, или в интервале между 45°C и 50°C. В различных случаях температура составляет менее 37°C.

В некоторых случаях посредством ферментации получают один или более побочных продуктов. В некоторых случаях один или более побочных продуктов выбраны из группы, состоящей из карбоновых кислот (например, уксусной кислоты и молочной кислоты), ацетона, 3-гидроксипропаната, изобутанола, н-пропанола, н-бутанола и/или 2,3-бутандиола. В некоторых случаях один или более побочных продуктов не отделяются от ферментативного бульона и возвращаются в биореактор в обедненном продуктом потоке. Из-за постоянного возврата побочных продуктов в биореактор, количество побочного продукта в процессе ферментации может накапливаться. В некоторых случаях желательно поддерживать концентрацию побочных продуктов в ферментативном бульоне ниже заданного уровня. Приемлемая концентрация побочных продуктов может быть определена, основываясь на устойчивости микроорганизма к побочным продуктам. В некоторых случаях может быть желательно подавать обедненный продуктом поток во вторичные средства разделения для удаления одного или более побочных продуктов из обедненного продуктом потока. В определенных вариантах осуществления изобретения побочным продуктом является 2,3-бутандиол, причем концентрация 2,3-бутандиола в ферментативном бульоне поддерживает

ся ниже 10 г/л. В некоторых случаях побочным продуктом является уксусная кислота, причем концентрация уксусной кислоты в ферментативном бульоне поддерживается ниже 10 г/л.

В некоторых случаях температура обедненного продуктом потока настолько высокая, что обедненный продуктом поток необходимо охладить перед передачей в биореактор. Температура потока может оказывать прямое влияние на жизнеспособность микроорганизмов. Например, более высокие температуры могут привести к снижению жизнеспособности микроорганизмов. Во избежание негативного воздействия повышенной температуры, обедненный продуктом поток может быть охлажден любыми подходящими средствами охлаждения перед отправкой в биореактор. В одном варианте осуществления изобретения температуру обедненного продуктом потока снижают в интервале между 30°C и 40°C перед его возвратом в биореактор. В другом варианте осуществления изобретения ферментативный бульон и обедненный продуктом поток выдерживают при температуре ниже 45°C, чтобы избежать пагубного воздействия на жизнеспособность. В одном варианте осуществления изобретения температура находится в интервале между 37°C и 45°C, чтобы избежать пагубного воздействия. В некоторых случаях температура зависит от используемого микроорганизма. Влияние температуры на жизнеспособность микроорганизмов может быть усилено при более продолжительном времени пребывания. Например, при более продолжительном времени пребывания, когда температура выше оптимальной, жизнеспособность микроорганизмов может снижаться.

В некоторых случаях ферментативный бульон может иметь относительное содержание газа. Было показано, что газ в ферментативном бульоне отрицательно влияет на производительность емкости вакуумной перегонки. Это снижение производительности может быть вызвано, по меньшей мере частично, корреляцией между газом в ферментативном бульоне и образованием пены в емкости вакуумной перегонки. Для уменьшения относительного содержания газа в ферментативном бульоне может быть использован аппарат дегазации. При использовании аппарата дегазации, впускное отверстие для приема ферментативного бульона может быть соединено трубопроводом с аппаратом дегазации. Аппарат дегазации работает в условиях, подходящих для удаления по меньшей мере части газа из ферментативного бульона перед тем, как ферментативный бульон будет доставлен в емкость вакуумной перегонки.

В некоторых случаях аппарат дегазации работает под давлением. В некоторых случаях аппарат дегазации работает при любом давлении ниже рабочего давления биореактора. В одном варианте осуществления изобретения аппарат дегазации работает под давлением в интервале между 0,0 кПа (изб.) и 100 кПа (изб.). В другом варианте осуществления изобретения аппарат дегазации работает под давлением в интервале между 0,0 (изб.) кПа и 50 кПа (изб.). В одном варианте осуществления изобретения аппарат дегазации удаляет практически весь газ из ферментативного бульона. В конкретных вариантах осуществления изобретения аппарат дегазации удаляет от 0 до 100% газа в ферментативном бульоне. В некоторых случаях аппарат дегазации удаляет более 20%, более 40%, более 60% или более 80% газа из ферментативного бульона. В некоторых случаях аппарат дегазации удаляет по меньшей мере часть углекислого газа из ферментативного бульона. В некоторых случаях аппарат дегазации удаляет по меньшей мере 20%, или по меньшей мере 40%, или по меньшей мере 60%, или по меньшей мере 80% углекислого газа из ферментативного бульона.

Указанным технологическим процессом имеется возможность извлечения из ферментативного бульона продукта, полученного из биореактора, работающего в условиях ферментации C1-содержащего субстрата от промышленного процесса. Этот C1-содержащий субстрат может быть получен в результате одного или более промышленных процессов. В одном варианте осуществления изобретения промышленный процесс выбран из группы, включающей: ферментацию углеводов, ферментацию газа, производство цемента, производство целлюлозы и бумаги, производство стали, нефтепереработку и сопутствующие процессы, нефтехимическое производство, коксообразование, анаэробное или аэробное сбраживание, газификацию, пиролиз, торрефикацию, добычу природного газа, нефтедобычу, металлургические процессы и каталитические процессы.

В некоторых случаях указанный процесс включает емкость перегонки, работающую в условиях перегонки ферментативного бульона, содержащего этанол, изопропанол и воду с получением обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, и обедненного продуктом потока, содержащего воду. В различных случаях емкость перегонки работает при атмосферном давлении. В одном варианте осуществления изобретения емкость перегонки пропускает по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока в емкость экстрактивной перегонки. В случаях, когда емкость перегонки работает при атмосферном давлении, для отделения микробной биомассы от ферментативного бульона перед перегонкой может быть использовано одно или более устройств фильтрации на входе. Такое устройство фильтрации может включать, но не ограничивается ими, керамические мембраны.

Обрабатываемый ферментативный бульон может содержать любой подходящий микроорганизм. Например, указанный микроорганизм может быть выбран из группы, включающей: *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium saccharbutyricum*, *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*, *Clostridium butyricum*, *Clostridium diolis*, *Clostridium kluverii*, *Clostridium pasterianum*, *Clostridium novyi*, *Clostridium difficile*, *Clostridium thermocellum*, *Clostridium cellulolyticum*, *Clostridium cellulovorans*, *Clostridium phytofermentans*, *Lactococcus lactis*, *Bacillus subtilis*, *Ba-*

cillus licheniformis, Zymomonas mobilis, Klebsiella oxytoca, Klebsiella pneumonia, Corynebacterium glutamicum, Trichoderma reesei, Cupriavidus necator, Pseudomonas putida, Lactobacillus plantarum и Methylobacterium extorquens. В некоторых случаях микроорганизм может представлять собой C1-связывающую бактерию, выбранную из группы, включающей: Acetobacterium woodii, Alkalibaculum bacchii, Blautia producta, Butyrivibrio methylotrophicum, Clostridium aceticum, Clostridium autoethanogenum, Clostridium carboxidivorans, Clostridium coskatii, Clostridium drakei, Clostridium formicoaceticum, Clostridium ljungdahlii, Clostridium magnum, Clostridium ragsdalei, Clostridium scatologenes, Eubacterium limosum, Moorella thermoautotrophica, Moorella thermoacetica, Oxobacter pfennigii, Sporomusa ovata, Sporomusa silvacetica, Sporomusa sphaeroides и Thermoanaerobacter kiuvii. В одном варианте осуществления изобретения указанный микроорганизм является представителем рода Clostridium. В некоторых случаях указанный микроорганизм представляет собой Clostridium autoethanogenum.

Микроорганизмы могут быть способны продуцировать множество различных продуктов. В одном варианте осуществления изобретения один или более продуктов, продуцируемых микроорганизмами, представляют собой продукты ферментации с низкими температурами кипения. В некоторых случаях продукт выбран из группы, состоящей из этанола, ацетона, изопропанола, бутанола, кетонов, метилэтилкетона, ацетона, 2-бутанола, 1-пропанола, метилацетата, этилацетата, бутанола, 1,3-бутадиена, изопрена и изобутена. В некоторых случаях указанный способ обеспечивает достижение наивысшей эффективности процесса исходя из производимого продукта. В некоторых случаях продуктом, производимым в биореакторе, является этанол и изопропанол. В одном варианте осуществления изобретения указанный способ обеспечивает достижение наивысшей эффективности процесса извлечения этанола и изопропанола из ферментативного бульона. В некоторых случаях микроорганизм продуцирует по меньшей мере один побочный продукт. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере один побочный продукт выбран из группы, состоящей из уксусной кислоты, молочной кислоты, ацетона, 3-гидроксипропаноата, изобутанола, н-пропанола, н-бутанола и/или 2,3-бутандиола.

В различных вариантах осуществления изобретения реактор дегидратации используется отдельно либо вместе с емкостью экстрактивной перегонки для извлечения продукта. В случае, если встроены реактор дегидратации, по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, подается из емкости перегонки в реактор дегидратации. В одном варианте осуществления изобретения емкость перегонки представляет собой емкость вакуумной перегонки, работающую в условиях частичного испарения ферментативного бульона, содержащего микробную биомассу, этанол и изопропанол, с получением обогащенного продуктом потока и обедненного продуктом потока, содержащего микробную биомассу. Реактор дегидратации работает в условиях дегидратации обогащенного продуктом потока с получением обезвоженного обогащенного продуктом потока, содержащего этилен и пропилен, а также обогащенного водой потока. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть обогащенного водой потока возвращается обратно в биореактор.

В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока подается в реактор дегидратации, необязательно, вместе с инертным газом, например, N<sub>2</sub>, предварительно нагретым до выбранной температуры реакции и пропущенным через катализатор дегидратации (например, оксид алюминия, модифицированный оксид алюминия, алюмосиликат, модифицированный алюмосиликат и другие катализаторы) при температуре и давлении, достаточных для проведения реакций дегидратации, в которых образуется этилен и/или пропилен. Условия зависят от используемого катализатора, который может быть определен с использованием методов, известных специалистам в данной области техники.

В некоторых случаях реактор дегидратации работает при температуре в интервале между 200°C и 500°C. В различных вариантах осуществления изобретения реактор дегидратации работает в интервале между 300°C и 450°C, 200°C и 450°C или 300°C и 500°C.

В некоторых случаях реактор дегидратации работает под давлением в интервале между 0 МПа (изб.) и 8,3 МПа (изб.). В различных вариантах осуществления изобретения реактор дегидратации работает в интервале между 0 МПа (изб.) и 3,5 МПа (изб.) или 3,5 МПа (изб.) и 8,3 МПа (изб.).

В некоторых случаях обогащенный продуктом поток может быть пропущен в реактор дегидратации с часовой объемной скоростью на единицу массы катализатора (WHSV) в интервале между 0,1 ч<sup>-1</sup> и 30 ч<sup>-1</sup>. В различных вариантах осуществления изобретения обогащенный продуктом поток подают в реактор дегидратации с WHSV в интервале между 0,5 ч<sup>-1</sup> и 5 ч<sup>-1</sup>, 0,1 ч<sup>-1</sup> и 5 ч<sup>-1</sup>, 0,1 ч<sup>-1</sup> и 5 ч<sup>-1</sup> или 5 ч<sup>-1</sup> и 30 ч<sup>-1</sup>.

В одном варианте осуществления изобретения обогащенный продуктом поток содержит этанол и/или изопропанол. В некоторых случаях обогащенный продуктом поток содержит от 20 до 100 мас.% этанола. В некоторых случаях обогащенный продуктом поток содержит от 20 до 100 мас.% изопропанола. В различных вариантах осуществления изобретения обогащенный продуктом поток содержит по меньшей мере 10 мас.%, по меньшей мере 20 мас.%, по меньшей мере 30 мас.%, по меньшей мере 30 мас.%, по меньшей мере 40 мас.%, по меньшей мере 50 мас.%, по меньшей мере 60 мас.%, по меньшей мере 70 мас.%, по меньшей мере 80 мас.% этанола. В различных вариантах осуществления изобретения обогащенный продуктом поток содержит по меньшей мере 10 мас.%, по меньшей мере 20 мас.%, по меньшей мере 30 мас.%, по меньшей мере 30 мас.%, по меньшей мере 40 мас.%, по меньшей мере 40 мас.%, по меньшей мере 50 мас.%, по меньшей мере 60 мас.%, по меньшей мере 70 мас.%, по меньшей мере 80 мас.%, по меньшей мере 90 мас.% этанола.

50 мас.%, по меньшей мере 60 мас.%, по меньшей мере 70 мас.%, по меньшей мере 80 мас.% изопропанола.

По меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока, необязательно, может быть преобразована по меньшей мере в часть углеводородного топлива. Превращение обезвоженного продуктового потока по меньшей мере в часть углеводородного топлива может быть завершено любым подходящим способом, известным специалистам в данной области техники. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока превращается по меньшей мере в часть углеводородного топлива с использованием способа, включающего двухстадийный процесс олигомеризации. В одном варианте осуществления изобретения первый процесс олигомеризации проводят при температуре от 40°C до 220°C с образованием первого продукта олигомеризации. В одном варианте осуществления изобретения во втором процессе олигомеризации первый продукт олигомеризации подвергают олигомеризации при температуре от 150°C до 450°C с образованием второго продукта олигомеризации.

По меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока, необязательно, может быть полимеризована. Полимеризация может проводиться в смешанном потоке этилена и пропилена либо отдельно в потоке, обогащенном этиленом, и потоке, обогащенном пропиленом. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть пропилен полимеризуется с образованием полипропилена. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть этилена полимеризуется с образованием полиэтилена.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 проиллюстрирована принципиальная блок-схема емкости экстрактивной перегонки в комбинации с сепарационной емкостью, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

На фиг. 2 проиллюстрирована принципиальная блок-схема емкости вакуумной перегонки перед емкостью экстрактивной перегонки и сепарационной емкостью, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

На фиг. 3 проиллюстрирована принципиальная блок-схема емкости вакуумной перегонки в комбинации с реактором дегидратации, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

#### **Подробное описание**

Авторы изобретения установили, что при использовании емкости экстрактивной перегонки после емкости вакуумной перегонки продукты с близкими температурами кипения, например, этанол и изопропанол, могут быть эффективно извлечены из ферментативного бульона, содержащего жизнеспособную микробную биомассу, обеспечивая при этом жизнеспособность микробной биомассы.

#### **Определения**

Термин "емкость экстрактивной перегонки" предназначен для включения устройства для перегонки компонентов с низкой относительной летучестью, например, этанола и изопропанола, посредством добавления третьего компонента, агента экстрактивной перегонки, для изменения относительной летучести компонентов. Для извлечения агента экстрактивной перегонки используется сепарационная емкость после емкости экстрактивной перегонки. В одном варианте осуществления изобретения сепарационная емкость принимает кубовые остатки перегонки из емкости экстрактивной перегонки. В одном варианте осуществления изобретения емкость экстрактивной перегонки принимает обогащенный продуктом поток из емкости перегонки. В некоторых случаях эта емкость перегонки представляет собой емкость вакуумной перегонки.

Термин "агент экстрактивной перегонки" предназначен для включения любого компонента, способного изменять относительную летучесть продуктов. В одном варианте осуществления изобретения агент экстрактивной перегонки способен изменять относительную летучесть этанола и изопропанола, что позволяет разделить этанол и изопропанол. Помимо изменения относительной летучести, агент экстрактивной перегонки может также иметь высокую разницу температур кипения между этанолом и/или изопропанолом.

Термин "емкость вакуумной перегонки" предназначен для включения устройства для проведения перегонки в вакууме, в котором перегоняемая жидкость находится под низким давлением с целью снижения ее температуры кипения. В одном варианте осуществления изобретения емкость вакуумной перегонки включает разделительную секцию. В одном варианте осуществления изобретения перегоняемая жидкость представляет собой ферментативный бульон, содержащий микробную биомассу и по меньшей мере один продукт. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть микробной биомассы является жизнеспособной. Такой ферментативный бульон может быть получен из биореактора. Биореактор может быть использован для ферментации C1-содержащего субстрата.

"Разделительная секция" может состоять из любой подходящей среды, способной обеспечить большую площадь поверхности для парожидкостного контакта, что увеличивает эффективность колонны вакуумной перегонки. Такая разделительная среда предназначена для обеспечения множества теоретических ступеней перегонки. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения разделительная среда представляет собой ряд тарелок для перегонки. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения разделительная среда состоит из насадочного материала.

Термин "тарелки для перегонки" и т.п. предназначен для включения тарелок, используемых для стимулирования парожидкостного контакта. Типы тарелок включают ситчатую, клапанную и колпачковую тарелки. Ситчатые тарелки, которые содержат отверстия для прохождения пара, используются для условий с высокой производительностью, обеспечивая высокую эффективность при низкой стоимости. Хотя и менее дорогие, клапанные тарелки, содержащие отверстия с открывающимися и закрывающимися клапанами, имеют тенденцию к засорению из-за скопления материала. Колпачковые тарелки содержат колпачки и являются наиболее продвинутыми и дорогими из трех типов тарелок, а также очень эффективны в некоторых условиях, связанных с расходом жидкости.

В одном варианте осуществления изобретения "верхняя тарелка" представляет собой любую подходящую границу, посредством которой ферментативный бульон может быть распределен вниз в разделительную среду.

В одном варианте осуществления изобретения "нижняя тарелка" представляет собой любую подходящую границу для осуществления передачи обедненного продуктом потока через выпускное отверстие в корпусе.

"Теоретическая ступень перегонки" - это гипотетическая зона, в которой две фазы, например, жидкая и паровая фазы вещества, устанавливают равновесие друг с другом. Эффективность многих процессов разделения зависит от наличия ряда теоретических ступеней перегонки. Производительность устройства разделения, например, емкости вакуумной перегонки, может быть улучшена за счет увеличения количества ступеней. В одном варианте осуществления изобретения разделительная среда включает достаточное количество теоретических ступеней перегонки для эффективного извлечения по меньшей мере одного продукта из ферментативного бульона. В одном варианте осуществления изобретения разделительная среда включает множество теоретических ступеней перегонки.

Термин "ферментативный бульон" или "бульон" предназначен для включения смеси компонентов, включая питательную среду, культуру одного или более микроорганизмов и один или более продуктов. Следует отметить, что термин "микроорганизм" и термин "бактерии" используются в документе взаимозаменяемо.

"Питательная среда" используется для описания среды для роста микроорганизмов. Как правило, этот термин относится к среде, содержащей питательные вещества и другие компоненты, подходящие для роста микробной культуры. Термин "питательное вещество" включает любое вещество, которое может быть использовано в метаболическом пути микроорганизма. Примеры питательных веществ включают калий, витамины группы В, металлические микроэлементы и аминокислоты.

В одном варианте осуществления изобретения ферментативный бульон отправляется из "биореактора" в емкость вакуумной перегонки. Термин "биореактор" включает устройство ферментации, состоящее из одной или более емкостей и/или колонн или обвязки трубопроводов, которое включает реактор с непрерывным перемешиванием (CSTR), рециклы с закрепленными на носителе клетками (ICR), реактор с орошаемым слоем (TBR), барботажную колонну, газлифтный ферментер, статический смеситель, циркуляционной петлевой реактор, мембранный реактор, например, биореактор с половолоконной мембраной (HFMB BR) или другую емкость или другое устройство, подходящее для контакта газа и жидкости. Реактор может быть приспособлен для приема газообразного субстрата, содержащего CO, или CO<sub>2</sub>, или H<sub>2</sub>, или их смеси. Реактор может содержать множество реакторов (ступеней), соединенных параллельно либо последовательно. Например, реактор может содержать первый реактор роста, в котором культивируются бактерии, и второй реактор ферментации, в который может быть подан ферментативный бульон из реактора роста и в котором может быть произведена большая часть продуктов ферментации.

"Газообразные субстраты, содержащие монооксид углерода" включают любой газ, содержащий монооксид углерода. Газообразный субстрат, как правило, будет содержать значительную долю CO, в одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере от около 5% об. до около 100% об. CO.

Хотя не обязательно, чтобы субстрат содержал водород, присутствие H<sub>2</sub> не должно оказывать вредного воздействия на образование продукта в соответствии со способами по изобретению. В конкретных вариантах осуществления изобретения присутствие водорода приводит к повышению общей эффективности производства спирта. Например, в конкретных вариантах осуществления изобретения субстрат может содержать приблизительное соотношение H<sub>2</sub>:CO как 2:1, или 1:1, или 1:2. В одном варианте осуществления изобретения субстрат содержит около 30% об. или менее H<sub>2</sub>, 20% об. или менее H<sub>2</sub>, около 15% об. или менее H<sub>2</sub> или около 10% об. или менее H<sub>2</sub>. В других вариантах осуществления изобретения поток субстрата содержит низкие концентрации H<sub>2</sub>, например, менее 5%, или менее 4%, или менее 3%, или менее 2%, или менее 1%, или практически не содержит водорода. Субстрат также может содержать некоторое количество CO<sub>2</sub>, например, от около 1% об. до около 80% об. CO<sub>2</sub>, или от 1% об. до около 30% об. CO<sub>2</sub>. В одном варианте осуществления изобретения субстрат содержит около 20% об. CO<sub>2</sub> или менее. В конкретных вариантах осуществления изобретения субстрат содержит около 15% об. CO<sub>2</sub> или менее, около 10% об. CO<sub>2</sub> или менее, около 5% об. CO<sub>2</sub> или менее, или по существу не содержит CO<sub>2</sub>.

Использование емкости вакуумной перегонки вместе с биореактором может повысить эффективность процесса ферментации. Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., при их использовании в отношении процесса ферментации, включают, но не ограничиваются этим,

увеличение одного или более из: скорости роста микроорганизмов, катализирующих ферментацию, роста и/или скорости производства продукта при повышенных концентрациях продукта, объема желаемого продукта, произведенного на объем потребляемого субстрата, скорости производства или уровня производства желаемого продукта, а также относительной доли полученного желаемого продукта по сравнению с другими побочными продуктами ферментации.

Если контекст не требует иного, то фразы "ферментация", "процесс ферментации" или "реакция ферментации" и т.п., используемые в данном документе, предназначены для включения как фазы роста микроорганизмов, так и фазы биосинтеза продукта микроорганизмами.

Процесс ферментации может быть описан как "периодический" либо "непрерывный". "Периодическая ферментация" используется для описания процесса ферментации, при котором биореактор заполняется сырьем, то есть источником углерода, вместе с микроорганизмами, при этом продукты остаются в биореакторе до завершения ферментации. В "периодическом" процессе после завершения ферментации продукты извлекаются, а биореактор очищается перед запуском следующей "партии". "Непрерывная ферментация" используется для описания процесса ферментации, при котором процесс ферментации продлевается на более длительные периоды времени, и продукт и/или метаболит извлекаются в процессе ферментации. В одном варианте осуществления изобретения в емкости вакуумной перегонки продукт извлекается из процесса "непрерывной ферментации".

"Микроорганизм" или "микроб" - это микроскопический организм, в частности, бактерия, архея, вирус или гриб. Микроорганизм по изобретению - это, как правило, бактерия. В контексте данного документа выражение "микроорганизм" следует понимать, как "бактерия".

"Жизнеспособность" или "жизнеспособность микробной биомассы" и т.п. относится к соотношению микроорганизмов, которые живы, способны жить, развиваться или воспроизводиться, к тем, которые не являются живыми. Например, жизнеспособная микробная биомасса в емкости вакуумной перегонки может означать соотношение живых микроорганизмов к мертвым в емкости вакуумной перегонки. Изобретение может быть разработано таким образом, чтобы жизнеспособность микробной биомассы поддерживалась на минимальном уровне. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения жизнеспособность микробной биомассы составляет по меньшей мере около 85%. В одном варианте осуществления изобретения жизнеспособность микробной биомассы составляет по меньшей мере 20%, или по меньшей мере 25%, или по меньшей мере 30%, или по меньшей мере 40%, 50%, или по меньшей мере 60%, или по меньшей мере 70%, или по меньшей мере 75%, или по меньшей мере 80%, или по меньшей мере 85%, или по меньшей мере 90%. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения жизнеспособная микробная биомасса возвращается из емкости вакуумной перегонки обратно в биореактор.

"Эффективная скорость извлечения продукта" и т.п. означает скорость, с которой продукт может быть извлечен из ферментативного бульона для того, чтобы предотвратить или по меньшей мере уменьшить токсические и/или ингибирующие эффекты, связанные с накоплением продукта. Изобретение может быть разработано таким образом, чтобы эффективная скорость извлечения продукта была такой, чтобы жизнеспособность микробной биомассы поддерживалась выше желаемого порога. Изобретение может быть разработано таким образом, чтобы уровень концентрации продукта в бульоне поддерживался ниже желаемого порога. Например, изобретение может быть разработано таким образом, чтобы объединенная концентрация этанола и изопропанола в ферментативном бульоне поддерживалась ниже 40 г/л. В некоторых случаях объединенная концентрация этанола и изопропанола в ферментативном бульоне поддерживается в интервале между 25 и 35 г/л. В конкретных случаях объединенная концентрация этанола и изопропанола в ферментативном бульоне составляет менее 30 г/л, менее 35 г/л или менее 38 г/л. В одном варианте осуществления изобретения объединенная концентрация этанола и изопропанола в ферментативном бульоне меньше, чем концентрация, которая может привести к ингибированию микроорганизма. В конкретных случаях ингибирование может зависеть от используемого микроорганизма и производимого продукта.

Емкость вакуумной перегонки может передавать обедненный продуктом поток к "средствам охлаждения" до того, как обедненный продуктом поток будет подан в биореактор. Термин "средства охлаждения" может описывать любое подходящее устройство или процесс, способный снизить температуру обедненного продуктом потока.

Микроорганизмы в биореакторе могут быть модифицированы из встречающихся в природе микроорганизмов. "Родительский микроорганизм" представляет собой микроорганизм, используемый для создания микроорганизма по данному изобретению. Родительский микроорганизм может быть микроорганизмом природного происхождения (т.е. микроорганизмом дикого типа) или микроорганизмом, который был ранее модифицирован (т.е. мутантным или рекомбинантным микроорганизмом). Микроорганизм по изобретению может быть модифицирован для экспрессии или сверхэкспрессии одного или более ферментов, которые не были экспрессированы или сверхэкспрессированы в родительском микроорганизме. Аналогично, микроорганизм по изобретению может быть модифицирован для того, чтобы он содержал один или более генов, которые не содержатся в родительском микроорганизме. Микроорганизм по изобретению также может быть модифицирован для того, чтобы он не экспрессировал или экспрессировал более

низкие количества одного или более ферментов, которые экспрессировались в родительском микроорганизме. В одном варианте осуществления изобретения родительским микроорганизмом является *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. В одном варианте осуществления изобретения родительским микроорганизмом является *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, который был депонирован 7 июня 2010 г. немецкой коллекцией микроорганизмов и клеточных культур (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, DSMZ), расположенной по адресу: Inhoffenstraße 7B, D-38124 Braunschweig, Germany 7 июня 2010, в соответствии с терминами Будапештского договора и присвоенным регистрационным номером DSM23693. Этот штамм описан в Международной патентной заявке № PCT/NZ2011/000144, которая опубликована как WO 2012/015317.

"Вуда-Льонгдаля" относится к пути связывания углерода Вуда-Льонгдаля, как описано, например, в Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784: 1873-1898, 2008 г. "Микроорганизмы Вуда-Льонгдаля" относятся, ожидаемо, к микроорганизмам, содержащим путь Вуда-Льонгдаля. В целом, микроорганизм по изобретению содержит нативный путь Вуда-Льонгдаля. В данном документе путь Вуда-Льонгдаля может представлять собой нативный, немодифицированный путь Вуда-Льонгдаля или он может представлять собой путь Вуда-Льонгдаля с некоторой степенью генетической модификации (т.е. сверхэкспрессией, гетерологичной экспрессией, нокаутом и т.д.), пока он все еще функционирует для преобразования CO, CO<sub>2</sub> и/или H<sub>2</sub> в ацетил-СоА.

"C1" относится к одноуглеродной молекуле, например, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> или CH<sub>3</sub>OH. "C1-оксигенат" относится к одноуглеродной молекуле, которая также содержит по меньшей мере один атом кислорода, например, CO, CO<sub>2</sub> или CH<sub>3</sub>OH. "C1-источник углерода" относится к одноуглеродной молекуле, которая служит частичным или единственным источником углерода для микроорганизма по изобретению. Например, C1-источник углерода может содержать один или более из CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>OH или CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. В одном варианте осуществления изобретения C1-источник углерода содержит один или оба из CO и CO<sub>2</sub>. "C1-связывающий микроорганизм" представляет собой микроорганизм, который имеет возможность продуцировать один или более продуктов из C1-источника углерода. Как правило, микроорганизм по изобретению представляет собой C1-связывающую бактерию.

"Анаэроб" - это микроорганизм, которому для роста не требуется кислород. Анаэроб может отреагировать отрицательно или даже умереть, если содержание кислорода превышает определенный порог. Однако некоторые анаэробы способны переносить низкие уровни кислорода, (т.е. 0,000001-5% кислорода). Как правило, микроорганизм по изобретению является анаэробом.

"Ацетогены" - это облигатно-анаэробные бактерии, которые используют путь Вуда-Льонгдаля в качестве основного механизма для сохранения энергии и синтеза ацетил-СоА продуктов и производных от ацетил-СоА продуктов, например, ацетата (Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784: 1873-1898, 2008). В частности, ацетогены используют путь Вуда-Льонгдаля в качестве (1) механизма восстановительного синтеза ацетил-СоА из CO<sub>2</sub>, (2) терминального процесса акцептирования электронов, сохранения энергии, (3) механизма связывания (ассимиляции) CO<sub>2</sub> в синтезе клеточного углерода (Drake, *Acetogenic Prokaryotes*, In: *The Prokaryotes*, 3<sup>rd</sup> edition, p. 354, New York, NY, 2006). Все ацетогены природного происхождения являются C1-связывающими, анаэробными, автотрофными и неметанотрофными. Как правило, микроорганизм по изобретению представляет собой ацетоген.

"Этанологен" - это микроорганизм, который продуцирует или способен продуцировать этанол. Как правило, микроорганизм по изобретению представляет собой этанологен.

"Автотроф" - это микроорганизм, способный расти при отсутствии органического углерода. Вместо этого автотрофы используют источники неорганического углерода, например, CO и/или CO<sub>2</sub>. Как правило, микроорганизм по изобретению представляет собой автотроф.

"Карбоксидотроф" - это микроорганизм, способный использовать CO в качестве единственного источника углерода и энергии. Как правило, микроорганизм по изобретению представляет собой карбоксидотроф.

"Метанотроф" - это микроорганизм, способный использовать метан в качестве единственного источника углерода и энергии. В определенных вариантах осуществления изобретения микроорганизм по изобретению представляет собой метанотроф или получен из метанотрофа. В других вариантах осуществления изобретения микроорганизм по изобретению не является метанотрофом или не является производным от метанотрофа.

"Субстрат" относится к источнику углерода и/или источнику энергии для микроорганизма по изобретению. Как правило, субстрат является газообразным и содержит C1-источник углерода, например, CO, CO<sub>2</sub> и/или CH<sub>4</sub>. В одном варианте осуществления изобретения субстрат содержит C1-источник углерода из CO или CO + CO<sub>2</sub>. Субстрат может дополнительно содержать другие неуглеродные компоненты, например, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> или электроны.

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

Хотя субстрат, как правило, является газообразным, субстрат также может быть представлен в альтернативных формах. Например, субстрат может быть растворен в жидкости, насыщенной СО-

содержащим газом, с использованием генератора микропузырьковой дисперсии. В качестве дополнительного примера, субстрат может быть адсорбирован на твердом носителе.

Субстрат и/или C1-источник углерода может быть отработанным газом, полученным в качестве побочного продукта промышленного процесса. В определенных вариантах осуществления изобретения промышленный процесс выбран из группы, состоящей из ферментации углеводов, ферментации газа, производства цемента, производства целлюлозы и бумаги, производства стали, нефтепереработки и сопутствующих процессов, нефтехимического производства, коксообразования, анаэробного или аэробного сбраживания, газификации, пиролиза, торрефикации, добычи природного газа, нефтедобычи, металлургических процессов и каталитических процессов. В этих вариантах осуществления изобретения субстрат и/или C1-источник углерода может быть получен от промышленного процесса до того, как он будет выпущен в атмосферу, с использованием любого удобного способа.

Микроорганизм по изобретению может быть культивирован потоком газа с получением одного или более продуктов. Например, микроорганизм по изобретению может продуцировать или может быть разработан с получением этанола (WO 2007/117157), ацетата (WO 2007/117157), бутанола (WO 2008/115080 и WO 2012/053905), бутирата (WO 2008/115080), 2,3-бутандиола (WO 2009/151342 и WO 2016/094334), лактата (WO 2011/112103), бутена (WO 2012/024522), бутадиена (WO 2012/024522), метилэтилкетона (2-бутанона) (WO 2012/024522 и WO 2013/185123), этилена (WO 2012/026833), ацетона (WO 2012/115527), изопропанола (WO 2012/115527), липидов (WO 2013/036147), 3-гидроксипропионата (3-HP) (WO 2013/180581), терпенов, включая изопрен (WO 2013/180584), жирных кислот (WO 2013/191567), 2-бутанола (WO 2013/185123), 1,2-пропандиола (WO 2014/036152), 1-пропанола (WO 2014/0369152), продуктов на основе хоризматов (WO 2016/191625), 3-гидоксибутирата (WO 2017/066498) и 1,3-бутандиола (WO 2017/0066498).

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

"Селективность" относится к отношению продуцирования целевого продукта к продуцированию всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом. Перечень потенциальных продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом, приведен выше, причем они могут исключать микробную биомассу. Микроорганизм по изобретению может быть разработан с целью продуцирования продуктов с определенной селективностью или с минимальной селективностью. В одном варианте осуществления изобретения целевой продукт составляет по меньшей мере около 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50%, 75% или 95% всех продуктов ферментации, произведенных микроорганизмом по изобретению. В одном варианте осуществления изобретения целевой продукт составляет по меньшей мере 10% всех продуктов ферментации, произведенных микроорганизмом по изобретению, таким образом, микроорганизм по изобретению имеет селективность по целевому продукту по меньшей мере 10%. В другом варианте осуществления изобретения целевой продукт составляет по меньшей мере 30% всех продуктов ферментации, произведенных микроорганизмом по изобретению, таким образом, микроорганизм по изобретению имеет селективность по целевому продукту по меньшей мере 30%. В различных случаях целевыми продуктами являются этанол и изопропанол. В некоторых случаях целевым продуктом является этанол. В некоторых случаях целевым продуктом является изопропанол.

Емкость вакуумной перегонки имеет функцию извлечения одного или более "продуктов ферментации с низкой температурой кипения". "Продукт ферментации с низкой температурой кипения" представляет собой продукт, который является более летучим, чем вода. Эти продукты могут включать, но не ограничиваются ими, этанол, ацетон, изопропанол, бутанол, кетоны, метилэтилкетон, 2-бутанол, 1-пропанол, метилацетат, этилацетат, бутанон, 1,3-бутадиен, изопрен и изобутен.

Культуру, как правило, поддерживают в водной культуральной среде, содержащей питательные вещества, витамины и/или минералы в достаточном количестве для роста микроорганизмов. В одном варианте осуществления изобретения водная культуральная среда представляет собой анаэробную среду для роста микроорганизмов, например, минимальную анаэробную среду для роста микроорганизмов. Подходящие среды хорошо известны в данной области техники.

Желательно, чтобы культивирование/ферментация проводились в соответствующих условиях для продуцирования целевого продукта. Как правило, культивирование/ферментация проводятся в анаэробных условиях. Условия реакции, которые следует учитывать, включают давление (или парциальное давление), температуру, скорость потока газа, скорость потока жидкости, pH среды, окислительно-восстановительный потенциал среды, скорость перемешивания (при использовании реактора непрерывного действия с перемешиванием), уровень посевного материала, максимальные концентрации газового субстрата, чтобы гарантировать, что газ в жидкой фазе не станет ограничивающим, а также максимальные концентрации продукта во избежание ингибирования продукта. В частности, скорость введения субстрата может быть управляемой, чтобы гарантировать, что концентрация газа в жидкой фазе не станет

ограничивающей, поскольку продукты могут потребляться культурой в условиях ограниченного количества газа.

Работа биореактора при повышенном давлении позволяет увеличить скорость массопереноса газа из газовой фазы в жидкую. Соответственно, один вариант осуществления изобретения заключается в проведении культивирования/ферментации при давлении выше атмосферного. Кроме того, поскольку заданный коэффициент превращения газа частично является функцией времени удерживания субстрата, а время удерживания диктует требуемый объем биореактора, использование систем под давлением может значительно уменьшить объем необходимого биореактора и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для культивирования/ферментации. Это, в свою очередь, означает, что время удерживания, определяемое, как объем жидкости в биореакторе, деленный на расход входящего газа, может быть уменьшено, если в биореакторах поддерживается повышенное, а не атмосферное давление. Оптимальные условия реакции будут частично зависеть от конкретного используемого микроорганизма. В одном варианте осуществления изобретения ферментация может быть проведена при давлении выше атмосферного. Кроме того, поскольку заданная скорость превращения газа частично является функцией времени удерживания субстрата и достижение желаемого времени удерживания, в свою очередь, диктует требуемый объем биореактора, использование систем под давлением может значительно уменьшить требуемый объем биореактора, и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для ферментации.

#### Описание

Было обнаружено, что экстрактивная перегонка эффективно разделяет продукты с близкими температурами кипения, например, этанол, кипящий при 78,4°C, и изопропанол, кипящий при 82,4°C, полученные в результате ферментации C1-содержащего газообразного субстрата. Экстрактивная перегонка достигается посредством обработки обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, в присутствии агента экстрактивной перегонки. В одном варианте осуществления изобретения емкость экстрактивной перегонки используется в комбинации с емкостью перегонки и сепарационной емкостью. В одном варианте осуществления изобретения емкость перегонки представляет собой емкость вакуумной перегонки, работающую в условиях, обеспечивающих жизнеспособность микроорганизма, содержащегося в ферментативном бульоне. Посредством объединения экстрактивной перегонки с вакуумной перегонкой, имеющие близкие температуры кипения продукты могут быть разделены, обеспечивая при этом жизнеспособность микроорганизмов, содержащихся в ферментативном бульоне.

Авторы изобретения обнаружили, что посредством объединения емкости перегонки с емкостью экстрактивной перегонки и сепарационной емкостью, этанол и изопропанол могут быть эффективно извлечены и отделены от ферментативного бульона при сохранении жизнеспособности микроорганизмов в ферментативном бульоне. Кроме того, благодаря оптимальной конфигурации этих емкостей, количество нежелательных побочных продуктов уменьшается, энергия сохраняется, а производство конкретных целевых продуктов максимизируется. Например, посредством рециркуляции одного или более продуктов, например, этанола или ацетона, в процессе ферментации могут образовываться повышенные количества конкретного целевого продукта, например, изопропанола.

На фиг. 1 проиллюстрирована емкость 100 экстрактивной перегонки в комбинации с сепарационной емкостью 200. Емкость 100 экстрактивной перегонки выполнена с возможностью приема обогащенного продуктом потока 103 и агента 101 экстрактивной перегонки с получением головного продукта 102 перегонки и кубовых остатков 104 перегонки. В одном варианте осуществления изобретения впускное отверстие 107 для приема обогащенного продуктом потока 103 находится ниже впускного отверстия 105 для приема агента 101 экстрактивной перегонки. В одном варианте осуществления изобретения головной продукт 102 перегонки выходит из емкости экстрактивной перегонки 100 через выпускное отверстие 106 выше впускного отверстия 105 для приема агента 101 экстрактивной перегонки. Авторы изобретения обнаружили, что посредством использования конкретных экстрактивных агентов 101 перегонки можно контролировать место извлечения определенных продуктов.

Для извлечения этанола в головном продукте 102 перегонки, агент 101 экстрактивной перегонки может быть выбран из группы, состоящей из альфа-пинена, бета-пинена, метилизобутилкетона, лимонена, альфа-фелландрена, альфа-терпинена, мирцена, карана, пара-мента-1,5-диена, бутилового эфира, 1-метокси-2-пропанола, н-бутилацетата, н-амилацетата, бензилацетата, этиленгликоля этилового эфира ацетата, метилацетоацетата, этиленгликольдиацетата, 2-бутоксипропилацетата, метилбутирата, этилпропионата, этил-н-валерата, бутилбензоата, этилбензоата, пиридина, N,N-диметиланилина, о-втор-бутилфенола, 3-изопропилфенола, 2,6-диметилфенола, о-трет-бутилфенола, 4-этилфенола, диэтилфталата, диизооктилфталата, диметиладипата, триацетата глицерина, диэтилмалоната, диметилглутарата, тетрагидрофурана, фенолового эфира этиленгликоля, ацетата метилового эфира дипропиленгликоля, гексилового эфира диэтиленгликоля, пропоксипропанола, бутоксипропанола, диметилового эфира п-ксиленгликоля, метилового эфира трет-бутилового эфира диэтиленгликоля, диацетата триэтиленгликоля, анизола, фенетолола, фенолового эфира, 1,2-метилendioксисбензола, изофорона, этил-3-этоксипропионата, тетраэтилортосиликата, 2-гидроксипропилового эфира, 1,1,1-трихлорэтана, тетрахлорэтилена, 2,2,2-трихлорэтанола, м-дихлорбензола, хлорбензола, 2,6-дихлортолуола, 1-хлоргексана, диэтиленгликоля, диметилсульфоксида, диметилформамида, сульфолана, изофорона, 2-пирролидона, 1-метил-2-

пирролиндинона, изодецилового спирта, циклододеканола, бензилового спирта, 1-додеканола, тридецилового спирта, фенэтилового спирта, циклогексанола, циклопентанола, 2-нитропропана, 1-нитропропана, нитроэтана, нитрометана, 3-нитротолуола, 2-нитротолуола, триацетина, 3-нитро-о-ксилола, 1,4-диоксана, изобутилацетата, этилбутирата, изоамилформиата, метилкапроата, этилкапроата, пропилкапроата, 1-метокси-2-пропанолацетата, изобутилизобутирата, гексилацетата, этилизобутирата, пропилабутирата, изобутилбутирата, изоборнилацетата, 1,3-диоксолана, нитробензола, бутилбутирата, 4-метил-2-пентанола и полиэтиленгликоля 400.

Для извлечения изопропанола в головном продукте 102 перегонки, агент 101 экстрактивной перегонки может быть выбран из группы, состоящей из этилбензола, толуола, п-ксилола, гептана, фенола и 2-трет-бутилфенола.

В одном варианте осуществления изобретения агент 101 экстрактивной перегонки добавляется в емкость 100 экстрактивной перегонки по меньшей мере в соотношении агента экстрактивной перегонки к спирту 5:1. При извлечении этанола в головном продукте 102 перегонки, отношении агента экстрактивной перегонки к спирту выражается в отношении агента экстрактивной перегонки к этанолу. При извлечении изопропанола в головном продукте 102 перегонки, отношении агента экстрактивной перегонки к спирту выражается в отношении агента экстрактивной перегонки к изопропанолу. В одном варианте осуществления изобретения агент 101 экстрактивной перегонки добавляется в оптимальном соотношении, чтобы изменить относительную летучесть этанола и изопропанола в обогащенном продуктом потоке 103. В некоторых случаях агент экстрактивной перегонки добавляется в соотношении агента экстрактивной перегонки к спирту по меньшей мере 5:1, 10:1, 20:1 или 40:1.

Для осуществления отделения этанола от изопропанола, емкость 100 экстрактивной перегонки оснащена ребойлером 150. Ребойлер 150 предназначен для того, чтобы направлять поток пара в емкость 100 экстрактивной перегонки. Этот поток пара направляется по устройству 152 трубопровода от ребойлера 150 к впускному отверстию 109 в емкости 100 экстрактивной перегонки. Поток пара поступает в емкость 100 экстрактивной перегонки и поднимается вверх по емкости 100 экстрактивной перегонки. Ребойлер 150 может создавать поток пара посредством нагревания кубовых остатков 104 перегонки, направляемых из выпускного отверстия 108 в емкости экстрактивной перегонки 100.

По меньшей мере часть продукта 103, не извлеченного в головном продукте перегонки 102, извлекается в кубовых остатках перегонки 104 вместе с агентом 101 экстрактивной перегонки. Если этанол извлекается в головном продукте 102 перегонки, то кубовые остатки 104 перегонки содержат изопропанол и агент 101 экстрактивной перегонки. Если изопропанол извлекается в головном продукте 102 перегонки, то кубовые остатки 104 перегонки содержат этанол и агент экстрактивной перегонки. Для осуществления разделения спирта и агента 101 экстрактивной перегонки в кубовых остатках перегонки, по меньшей мере часть кубовых остатков 104 перегонки пропускают из ребойлера 150 по устройству 151 трубопровода к впускному отверстию 203 в сепарационной емкости 200.

Сепарационная емкость 200 отделяет агент экстрактивной перегонки 101 от спирта в кубовых остатках перегонки 104 посредством использования ребойлера 250. Ребойлер 250 предназначен для того, чтобы направлять поток пара в сепарационную емкость 200. Этот поток пара направляется по устройству 252 трубопровода от ребойлера 250 к впускному отверстию 206 в сепарационной емкости 200. Поток пара поступает в сепарационную емкость 200 и поднимается вверх по сепарационной емкости 200. Ребойлер 250 может создавать поток пара посредством нагревания кубовых остатков 204 перегонки, направляемых из выпускного отверстия 201 в сепарационной емкости 200.

По меньшей мере часть спирта в кубовых остатках 104 перегонки извлекается в головном продукте перегонки 202 через выпускное отверстие 205 в сепарационной емкости 200. В случаях, если этанол извлекается в головном продукте 102 перегонки емкости 100 экстрактивной перегонки, то головной продукт 202 перегонки сепарационной емкости 200 обогащен изопропанолом. В случаях, если изопропанол извлекается в головном продукте 102 перегонки емкости 100 экстрактивной перегонки, то головной продукт 202 перегонки сепарационной емкости 200 обогащен этанолом. В одном варианте осуществления изобретения емкость 100 экстрактивной перегонки и сепарационная емкость 200 выполнены с возможностью сокращения отходов. В некоторых случаях агент 251 экстрактивной перегонки, остающийся в кубовых остатках 204 перегонки, извлекается из ребойлера 250 и возвращается обратно в колонну 100 экстрактивной перегонки.

В одном варианте осуществления изобретения емкость 100 экстрактивной перегонки и сепарационная емкость 200 используются в комбинации с емкостью перегонки. В некоторых случаях емкость перегонки может работать под вакуумом.

На фиг. 2 проиллюстрирована емкость 300 вакуумной перегонки перед емкостью 100 экстрактивной перегонки. Емкость 300 вакуумной перегонки может быть выполнена с возможностью извлечения продукта из ферментативного бульона 301, содержащего микробную биомассу, этанол и изопропанол, причем ферментативный бульон доставляется из биореактора. Для извлечения продукта из ферментативного бульона 301, емкость 300 вакуумной перегонки частично испаряет ферментативный бульон 301 и производит обогащенный продуктом поток 302 и обедненный продуктом поток 303. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть обедненного продуктом потока 303 подается обратно

в биореактор через выпускное отверстие 311. Обогащенный продуктом поток 303 может содержать микробную биомассу. Обогащенный продуктом поток 302 может содержать этанол и изопропанол. В одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока 302 подается из выпускного отверстия 310 в емкости 300 вакуумной перегонки к впускному отверстию 107 в емкости 100 экстрактивной перегонки.

Емкость 300 вакуумной перегонки выполнена с возможностью приема ферментативного бульона 301 из биореактора через впускное отверстие 309 в емкости 300 вакуумной перегонки. Емкость 300 вакуумной перегонки содержит разделительную секцию 307, причем разделительная секция 307 ограничена сверху верхней тарелкой 308, а снизу - нижней тарелкой 306. Разделительная секция 307 может быть составлена из ряда тарелок для перегонки и/или из насадочного материала. Емкость вакуумной перегонки 100 выполнена с возможностью увеличения извлечения продукта из ферментативного бульона 301. Впускное отверстие 310 для передачи обогащенного продуктом потока 302 расположено выше впускного отверстия 309 для приема ферментативного бульона 301. Впускное отверстие 309 для приема ферментативного бульона 301 расположено выше верхней тарелки 308, выпускное отверстие 306 для передачи обогащенного продуктом потока 303 расположено выше нижней тарелки 306.

В одном варианте осуществления изобретения ребойлер 350 используется емкостью 300 вакуумной перегонки. Ребойлер 350 предназначен для направления потока пара в емкость 300 вакуумной перегонки. Поток пара создается за счет использования жидких кубовых остатков 305 емкости 300 вакуумной перегонки, которые выходят из емкости 300 вакуумной перегонки через выпускное отверстие 312 и подаются в ребойлер 350 по устройству 304 трубопровода. Этот поток пара направляется по устройству 351 трубопровода от ребойлера 350 к впускному отверстию 313 в емкости 300 вакуумной перегонки. Поток пара поступает в емкость 300 вакуумной перегонки и поднимается вверх по емкости 300 вакуумной перегонки.

Емкость 100 вакуумной перегонки сконструирована таким образом, чтобы емкость 300 вакуумной перегонки могла обрабатывать ферментативный бульон с заданной скоростью подачи. Скорость подачи определяется объемами биореактора для ферментативного бульона в час. В одном варианте осуществления изобретения емкость 300 вакуумной перегонки сконструирована таким образом, чтобы скорость подачи находилась в интервале между 0,05 и 0,5.

Емкость 300 вакуумной перегонки сконструирована таким образом, чтобы ферментативный бульон 301 определял время пребывания. Время пребывания определяется количеством времени, в течение которого ферментативный бульон 301 находится в емкости 300 вакуумной перегонки. Считается, что ферментативный бульон 301 находится в емкости 300 вакуумной перегонки, когда ферментативный бульон 301 поступает через впускное отверстие 309. Считается, что ферментативный бульон 301 находится вне емкости 300 вакуумной перегонки, когда ферментативный бульон 301 выходит через выпускное отверстие 311. В одном варианте осуществления изобретения время пребывания находится в интервале между 0,5 и 15 минутами. В различных вариантах осуществления изобретения время пребывания находится в интервале между 0,5 и 12 минутами, 0,5 и 9 минутами, 0,5 и 6 минутами, 0,5 и 3 минутами, 2 и 15 минутами, 2 и 12 минутами, 2 и 9 минутами или 2 и 6 минутами. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения время пребывания составляет менее 15 минут, менее 12 минут, менее 9 минут, менее 6 минут, менее 3 минут, менее 2 минут или менее 1 минуты для обеспечения жизнеспособности микроорганизмов.

Заданное время пребывания может зависеть, по меньшей мере частично, от типа разделительной среды 307 в емкости 300 вакуумной перегонки. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения разделительная среда 307 определяется рядом тарелок для перегонки. В одном варианте осуществления изобретения разделительная среда 307 выполнена с возможностью обеспечения достаточного количества теоретических ступеней перегонки для извлечения продукта. В одном варианте осуществления изобретения разделительная среда 307 обеспечивает множество теоретических ступеней перегонки. В других вариантах осуществления изобретения разделительная среда 307 обеспечивает минимальное количество теоретических ступеней перегонки, например, более 3 теоретических ступеней перегонки, более 4 теоретических ступеней перегонки, более 5 теоретических ступеней перегонки или более 6 теоретических ступеней перегонки.

Емкость 300 вакуумной перегонки выполнена с возможностью эффективного извлечения продукта в ферментативном бульоне 301 и предотвращения накопления продукта в биореакторе. В одном варианте осуществления изобретения обогащенный продуктом поток 303 имеет уменьшенное относительное содержание продукта, вследствие чего накопление продукта эффективно сокращается или устраняется. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения обогащенный продуктом поток 303 содержит менее 10% продукта, содержащегося в сырьевом потоке ферментативного бульона 301. В определенных вариантах осуществления изобретения обогащенный продуктом поток 303 содержит менее 20% продукта, содержащегося в сырьевом потоке ферментативного бульона 301. В конкретных случаях, обогащенный продуктом поток 303 содержит от 12,5 до 5% продукта, содержащегося в сырьевом потоке ферментативного бульона 301. По меньшей мере в одном варианте осуществления изобретения извлекаемый продукт представляет собой этанол и изопропанол.

Емкость 300 вакуумной перегонки выполнена с возможностью обеспечения жизнеспособности микроорганизмов, при этом обеспечивая извлечение продукта. В вариантах осуществления изобретения обедненный продуктом поток 303 содержит микробную биомассу, которая по меньшей мере на 20 процентов жизнеспособна, или по меньшей мере на 25 процентов жизнеспособна, или по меньшей мере на 50 процентов жизнеспособна. Для обеспечения жизнеспособности микроорганизмов емкость 300 вакуумной перегонки выполнена с возможностью строгого контроля перепада давления по высоте емкости 300 вакуумной перегонки, давления в емкости 300 вакуумной перегонки и температуры в емкости 300 вакуумной перегонки.

Емкость 300 вакуумной перегонки выполнена с возможностью обеспечения передачи обогащенного продуктом потока 302 и обедненного продуктом потока 303. В некоторых случаях обедненный продуктом поток 303 может иметь температуру выше допустимой и поэтому может потребоваться охлаждение перед подачей в биореактор. Для осуществления охлаждения могут быть предусмотрены средства охлаждения. В одном варианте осуществления изобретения температура обедненного продуктом потока 303 находится в интервале между 30°C и 40°C перед отправкой в биореактор.

В некоторых случаях ферментативный бульон 301 может иметь более высокое, чем допустимое, процентное содержание газа, и поэтому может потребоваться дегазация перед транспортировкой в емкость 300 вакуумной перегонки. Для осуществления дегазации может быть предусмотрен аппарат дегазации. В одном варианте осуществления изобретения аппарат дегазации представляет собой циклон-дегазатор.

В некоторых случаях обогащенный продуктом поток 302 может содержать один или более побочных продуктов и количество воды выше оптимального. В случаях, когда обогащенный продуктом поток 302 содержит побочные продукты и/или количество воды выше оптимального, могут быть использованы один или более дополнительных процессов. Для осуществления удаления побочных продуктов и/или воды из обогащенного продуктом потока 302, обогащенный продуктом поток 302 может быть отправлен из емкости 300 вакуумной перегонки к впускному отверстию 408 в ректификационной колонне 400. Перед отправкой в ректификационную колонну 400, обогащенный продуктом поток 302 может быть отправлен в одну или более емкостей 380 сжатия, которые могут использовать технологию механической рекомпрессии пара для сжатия обогащенного продуктом потока 302. Сжатый обогащенный продуктом поток 381 обрабатывается в ректификационной колонне 400 для удаления избытка воды и/или побочных продуктов 401. Один или более побочных продуктов 401 могут быть удалены с боковым погоном через выпускное отверстие 405 в ректификационной колонне 400. В одном варианте осуществления изобретения 3-гидроксипропанол, изобутанол, н-пропанол и/или н-бутанол удаляются с боковым погоном в ректификационной колонне. В одном варианте осуществления изобретения ректификационная колонна 400 содержит разделительную секцию 404. Разделительная секция 404 может состоять из ряда тарелок для перегонки и/или из насадочного материала для облегчения удаления избыточной воды и/или побочных продуктов из обогащенного продуктом потока.

В одном варианте осуществления изобретения ребойлер 450 используется ректификационной колонной 400. Ребойлер 450 предназначен для направления потока пара для ректификационной колонны 400. Поток пара создается за счет использования кубовых остатков ректификационной колонны 400, которые выходят из ректификационной колонны 400 через выпускное отверстие 406 и подаются в ребойлер 450 по устройствам трубопровода 402. Этот поток пара направляется по устройствам 451 трубопровода от ребойлера 450 к впускному отверстию 409 в ректификационной колонне 400. Поток пара поступает в ректификационную колонну 400 и поднимается вверх по ректификационной колонне 400.

В некоторых случаях фракции побочных продуктов в потоке 302, обогащенном продуктом, могут в конечном итоге попасть в головной продукт перегонки 403, выходящий из выпускного отверстия 407 в ректификационной колонне 400. Для дальнейшего отделения побочных продуктов 482 и управления температурой обогащенного продуктом потока 302 может быть использован теплообменник 480. В одном варианте осуществления изобретения теплообменник 480 работает при наименьшем давлении 100 кПа (абс.) и при температуре по меньшей мере 70°C. В одном или более вариантах осуществления изобретения побочный продукт, удаляемый посредством теплообменника 480, содержит ацетон. Этот ацетон может быть в форме пара. Для дальнейшего удаления воды из обогащенного продуктом потока 302, обработанный обогащенный продуктом поток 481 может быть отправлен в одну или более мембранных систем 500 дегидратации для удаления избытка воды 502 из обогащенного продуктом потока 302. В одном варианте осуществления изобретения обезвоженный обогащенный продуктом поток 501 отправляется в емкость 100 экстрактивной перегонки для облегчения разделения этанола и изопропанола.

В некоторых случаях может быть использован реактор дегидратации рядом с емкостью экстрактивной перегонки либо вместо неё.

На фиг. 3 проиллюстрирована емкость 300 вакуумной перегонки перед реактором дегидратации 600. В различных вариантах осуществления изобретения емкость 300 перегонки работает при атмосферном давлении. В случае, если встроены реактор 600 дегидратации, то емкость 300 выполнена с возможностью передачи по меньшей мере части обогащенного продуктом потока 302, содержащего этанол и изопропанол, в реактор 600 дегидратации. В некоторых случаях ректификационная колонна 400 может быть

использована перед реактором 600 дегидратации и после емкости 300 вакуумной перегонки. В различных случаях по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока 302 подается в теплообменник 480 для подогрева обогащенного продуктом потока 302 перед его отправкой в реактор 600 дегидратации. Подогретый обогащенный продуктом поток 481 поступает в реактор 600 дегидратации через выпускное отверстие 606. Диаметр, длина и объем катализатора 603 в реакторе дегидратации рассчитаны на оптимальный температурный профиль и время пребывания для обогащенного продуктом потока 481. Как правило, реактор 600 дегидратации работает при температуре в интервале между 200°C и 500°C и давлении от 0 МПа (изб.) до 8,3 МПа (изб.), чтобы в достаточной степени обезвоживать обогащенный продуктом поток 481 с получением обезвоженного продуктового потока 602, содержащего этилен и пропилен, и потока 601, обогащенного водой. В одном варианте осуществления изобретения обезвоженный продуктовый поток 602 выходит из реактора 600 дегидратации через выпускное отверстие 604, а обогащенный водой поток 601 выходит из реактора 600 дегидратации через выпускное отверстие 605.

Реактор 600 дегидратации может быть выполнен с возможностью приема обогащенного продуктом потока 481 при соответствующей скорости. Как правило, обогащенный продуктом поток 481 подается в реактор 600 дегидратации с часовой объемной скоростью на единицу массы катализатора в интервале между 0,1 ч<sup>-1</sup> до 30 ч<sup>-1</sup>. Часовая объемная скорость на единицу массы катализатора обогащенного продуктом потока 481 может коррелировать с количеством катализатора 603, используемого в реакторе 600 дегидратации. В реакторе дегидратации 600 может использоваться по меньшей мере один катализатор 603, выбранный из группы, состоящей из оксида алюминия, модифицированного оксида алюминия, кристаллического или аморфного алюмосиликата и модифицированного алюмосиликата, в результате чего этанол и изопропанол в обогащенном продуктом потоке 481 могут быть совместно обезвожены. В некоторых случаях по меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока 602 в дальнейшем превращается по меньшей мере в часть углеводородного топлива. В некоторых случаях по меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока 602 полимеризуется с получением полипропилена и полиэтилена. Перед полимеризацией или дальнейшим преобразованием с получением по меньшей мере части углеводородного топлива, обезвоженный продуктовый поток 602 может быть разделен на поток, обогащенный этиленом, и поток, обогащенный пропиленом. Разделение обезвоженного продуктового потока 602, содержащего этилен и пропилен, является более легко достижимым, чем разделение потока 481, обогащенного исходным продуктом, содержащим этанол и изопропанол, из-за большей разницы в температурах кипения между этиленом и пропиленом, чем между этанолом и изопропанолом. Пропилен кипит при -47,6°C, а этилен кипит при -103,7°C, с разницей в 56,1°C. При этом этанол кипит при 78,4°C, а изопропанол кипит при 82,4°C, с разницей в 4°C. Эффективное разделение обезвоженного обогащенного продуктом потока 602 может быть достигнуто за счет использования технологии криогенной дистилляции.

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

Использование определений в единственном числе в контексте описания изобретения (особенно в контексте приведенной ниже формулы изобретения) должно толковаться как охватывающее как единственное, так и множественное число, если в данном документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту. Термины "содержащий", "имеющий", "включающий" и "состоящий из" должны толковаться как неограниченные термины (т.е. означающие "включая, но не ограничиваясь"), если не указано иное. Перечисление диапазонов значений в данном документе просто предназначено для использования в качестве сокращенного метода индивидуальной ссылки на каждое отдельное значение, попадающее в этот диапазон, если в данном документе не указано иное, и каждое отдельное значение включено в описание, как если бы оно было отдельно изложено в данном документе. Все способы, описанные в данном документе, могут быть выполнены в любом подходящем порядке, если в данном документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту. Использование любого или всех примеров, или вводного слова перед примером (например, "например"), предложенных в данном документе, предназначено просто для лучшего освещения изобретения и не накладывает ограничения на объем изобретения, если не заявлено иное. Никакие формулировки в описании не следует истолковывать как указывающие на какой-либо не заявленный элемент как существенный для практического использования изобретения.

Варианты осуществления изобретения по данному раскрытию описаны в данном документе. Вариации этих вариантов осуществления изобретения могут стать очевидными для специалистов в данной области техники после прочтения предшествующего описания. Авторы изобретения ожидают, что квалифицированные специалисты будут использовать такие вариации в зависимости от обстоятельств, а также авторы изобретения предполагают, что изобретение будет применяться на практике иначе, чем конкретно описано в данном документе. Соответственно, это изобретение включает все модификации и эквиваленты предмета изобретения, изложенные в прилагаемой формуле изобретения, как это разрешено применимым законодательством. Более того, любая комбинация вышеописанных элементов во всех их

возможных вариациях охватывается изобретением, если иное не указано в данном документе или иное явно не противоречит контексту.

Первый вариант осуществления изобретения представляет собой способ извлечения продукта из ферментативного бульона, причем указанный способ включает:

- a) подачу ферментативного бульона, содержащего микробную биомассу, этанол и изопропанол, из биореактора в емкость вакуумной перегонки;
- b) частичное испарение ферментативного бульона с получением обогащенного продуктом потока, причем обогащенный продуктом поток содержит этанол и изопропанол, и обедненного продуктом потока, причем обедненный продуктом поток содержит микробную биомассу;
- c) подачу по меньшей мере части обедненного продуктом потока обратно в биореактор;
- d) подачу по меньшей мере части обогащенного продуктом потока в емкость экстрактивной перегонки; и
- e) перегонку обогащенного продуктом потока в емкости экстрактивной перегонки в присутствии агента экстрактивной перегонки с получением головного продукта перегонки и кубовых остатков перегонки, при этом
  - i) по меньшей мере часть этанола извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть изопропанола извлекается в кубовых остатках перегонки; или
  - ii) по меньшей мере часть изопропанола извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть этанола извлекается в кубовых остатках перегонки.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть этанола извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть изопропанола извлекается в кубовых остатках перегонки; и при этом агент экстрактивной перегонки содержит по меньшей мере один материал, выбранный из группы, состоящей из альфа-пинена, бета-пинена, метилизобутилкетона, лимонена, альфа-фелландрена, альфа-терпинена, мирцена, карана, пара-мента-1,5-диена, бутилового эфира, 1-метокси-2-пропанола, н-бутилацетата, н-амилацетата, бензилацетата, этиленгликоля этилового эфира ацетата, метилацетоацетата, этиленгликольдиацетата, 2-бутоксипропилацетата, метилбутирата, этилпропионата, этил-н-валерата, бутилбензоата, этилбензоата, пиридина, N,N-диметиланилина, о-втор-бутилфенола, 3-изопропилфенола, 2,6-диметилфенола, о-трет-бутилфенола, 4-этилфенола, диэтилфталата, диизооктилфталата, диметиладипата, триацетата глицерина, диэтилмалоната, диметилглутарата, тетрагидрофурана, фенолового эфира этиленгликоля, ацетата метилового эфира дипропиленгликоля, гексилового эфира диэтиленгликоля, пропоксипропанола, бутоксипропанола, диметилового эфира п-ксиленгликоля, метилового эфира трет-бутилового эфира диэтиленгликоля, диацетата триэтиленгликоля, анизол, фенетол, фенолового эфира, 1,2-метилендиоксипропанола, изофорона, этил-3-этоксипропионата, тетраэтилортосиликата, 2-гидроксиацетофенона, 1,1,1-трихлорэтана, тетрахлорэтилена, 2,2,2-трихлорэтанола, м-дихлорбензола, хлорбензола, 2,6-дихлортолуола, 1-хлоргексана, диэтиленгликоля, диметилсульфоксида, диметилформамида, сульфолана, изофорона, 2-пирролидиона, 1-метил-2-пирролиндиона, изодецилового спирта, циклододеканола, бензилового спирта, 1-додеканола, тридецилового спирта, фенэтилового спирта, циклогексананола, циклопентанола, 2-нитропропана, 1-нитропропана, нитроэтана, нитрометана, 3-нитротолуола, 2-нитротолуола, триацетина, 3-нитро-о-ксилола, 1,4-диоксана, изобутилацетата, этилбутирата, изоамилформиата, метилкапроата, этилкапроата, пропилкапроата, 1-метокси-2-пропанолацетата, изобутилизобутирата, гексилацетата, этилизобутирата, пропилабутирата, изобутилбутирата, изоборнилацетата, 1,3-диоксолана, нитробензола, бутилбутирата, 4-метил-2-пентанола и полиэтиленгликоля 400.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть изопропанола извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть этанола извлекается в кубовых остатках перегонки; и при этом агент экстрактивной перегонки содержит по меньшей мере один материал, выбранный из группы, состоящей из этилбензола, толуола, п-ксилола, гептана, фенола и 2-трет-бутилфенола.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором обогащенный продуктом поток подается в ректификационную колонну перед его подачей в емкость экстрактивной перегонки.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором агент экстрактивной перегонки добавляется в емкость экстрактивной перегонки в соотношении агента экстрактивной перегонки к изопропанолу по меньшей мере 5:1 или в соотношении агента экстрактивной перегонки к этанолу по меньшей мере 5:1.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором ферментативный бульон дополнительно содержит один или более побочных продуктов, выбранных из группы, состоящей из уксусной кислоты, ацетона, 3-гидроксибутирата, изобутанола, н-пропанола, н-бутанола и/или 2,3-бутандиола. Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть из по меньшей мере одного побочного продукта удаляется с боковым погоном. Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть 3-гидроксибутирата, изобутанола, н-пропанола, н-бутанола и/или н-бутанола удаляется с боковым погоном.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором ферментативный бульон допол-

нительно содержит ацетон, причем по меньшей мере часть ацетона возвращается обратно в биореактор.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость экстрактивной перегонки является теплоинтегрированной.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, дополнительно включающий: подачу кубовых остатков перегонки в сепарационную емкость с получением обогащенного изопропанолом потока или обогащенного этанолом потока; а также потока, обогащенного агентом экстрактивной перегонки; и подачу по меньшей мере части потока, обогащенного агентом экстрактивной перегонки, в емкость экстрактивной перегонки.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором биореактор определяет объем ферментативного бульона, причем ферментативный бульон подается в емкость вакуумной перегонки со скоростью подачи, причем скорость подачи определяется объемами биореактора в час, причем скорость подачи находится в интервале между 0,05 и 0,5.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором ферментативный бульон определяет время пребывания, причем время пребывания определяется как количество времени пребывания ферментативного бульона в емкости вакуумной перегонки, причем время пребывания находится в интервале между 0,5 и 15 минутами.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость вакуумной перегонки определяет разделительную секцию, состоящую из ряда тарелок для перегонки.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость вакуумной перегонки определяет разделительную секцию, состоящую из более трех ступеней перегонки.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость вакуумной перегонки определяет разделительную секцию, состоящую из насадочного материала.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором обедненный продуктом поток содержит микробную биомассу, которая является по меньшей мере на 20 процентов жизнеспособной.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором обедненный продуктом поток содержит менее 10% этанола и изопропанола в ферментативном бульоне.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость вакуумной перегонки определяет перепад давления по высоте емкости вакуумной перегонки, причем указанный перепад давления составляет менее 3,2 кПа (абс.).

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость вакуумной перегонки работает под давлением в интервале между 4 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.).

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором емкость вакуумной перегонки работает при температуре в интервале между 30°C и 50°C.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором обедненный продуктом поток подается в средства охлаждения для снижения температуры обедненного продуктом потока перед подачей обедненного продуктом потока в биореактор.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором температура обедненного продуктом потока находится в интервале между 30°C и 40°C.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, дополнительно включающий дегазацию по меньшей мере части ферментативного бульона перед подачей ферментативного бульона в емкость вакуумной перегонки.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором биореактор работает в условиях ферментации C1-содержащего газа от промышленного процесса.

Способ по первому варианту осуществления изобретения, в котором промышленный процесс выбран из группы, включающей: ферментацию углеводов, ферментацию газа, производство цемента, производство целлюлозы и бумаги, производство стали, нефтепереработку и сопутствующие процессы, нефтехимическое производство, коксообразование, анаэробное или аэробное сбраживание, газификацию, пиролиз, торрефикацию, добычу природного газа, нефтедобычу, металлургические процессы и каталитические процессы.

Второй вариант осуществления изобретения представляет собой способ извлечения продукта из обогащенного продуктом потока, причем указанный способ включает:

а) подачу обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, в реактор дегидратации;

б) дегидратацию обогащенного продуктом потока с получением обезвоженного продуктового потока, содержащего этилен и пропилен, а также обогащенного водой потока; и

с) подачу обогащенного водой потока в биореактор.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока поступает из емкости вакуумной перегонки, работающей в условиях частичного испарения ферментативного бульона, содержащего микробную биомассу, этанол и изопропанол, с получением обогащенного продуктом потока и обедненного продуктом потока, содержащего микробную биомассу.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть обога-

щенного продуктом потока поступает из емкости перегонки, работающей в условиях перегонки ферментативного бульона, содержащего этанол, изопропанол, и воду, с получением обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, и обедненного продуктом потока, содержащего воду.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором биореактор работает в условиях ферментации С1-содержащего газа от промышленного процесса.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором реактор дегидратации работает при температуре в интервале между 200°C и 500°C.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором реактор дегидратации работает под давлением от 0 МПа (изб.) до 8,3 МПа (изб.).

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором обогащенный продуктом поток подается в реактор дегидратации с часовой объемной скоростью на единицу массы катализатора в интервале между 0,1 ч<sup>-1</sup> и 30 ч<sup>-1</sup>.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором обогащенный продуктом поток содержит от 20 до 100 мас.% этанола.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором реактор дегидратации содержит по меньшей мере один катализатор, выбранный из группы, состоящей из оксида алюминия, модифицированного оксида алюминия, кристаллического или аморфного алюмосиликата и модифицированного алюмосиликата.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока в дальнейшем превращается по меньшей мере в часть углеводородного топлива.

Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока полимеризуется. Способ по второму варианту осуществления изобретения, в котором перед полимеризацией по меньшей мере часть обезвоженного продуктового потока разделяется на обогащенный этиленом поток и обогащенный пропиленом поток.

Третий вариант осуществления изобретения представляет собой способ извлечения продукта из обогащенного продуктом потока, причем указанный способ включает:

а) подачу обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, в емкость экстрактивной перегонки; и

б) перегонку обогащенного продуктом потока в присутствии агента экстрактивной перегонки с получением головного продукта перегонки и кубовых остатков перегонки, при этом

i) по меньшей мере часть изопропанола извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть этанола извлекается в кубовых остатках перегонки; или

ii) по меньшей мере часть этанола извлекается в головном продукте перегонки и по меньшей мере часть изопропанола извлекается в кубовых остатках перегонки.

Способ по третьему варианту осуществления изобретения, в котором по меньшей мере часть обогащенного продуктом потока поступает из емкости перегонки, работающей в условиях перегонки ферментативного бульона, содержащего этанол, изопропанол, и воду, с получением обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол, и обедненного продуктом потока, содержащего воду.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения продукта из ферментативного бульона, включающий:

а) подачу ферментативного бульона, содержащего микробную биомассу, этанол, ацетон и изопропанол из биореактора в емкость вакуумной перегонки;

б) частичное испарение ферментативного бульона с получением обогащенного продуктом потока, причем обогащенный продуктом поток содержит этанол, ацетон и изопропанол, и обедненного продуктом потока, причем обедненный продуктом поток содержит микробную биомассу;

в) подачу обогащенного продуктом потока в ректификационную колонну с получением первого потока головного продукта перегонки и потока кубовых остатков перегонки;

г) подачу первого потока головного продукта в теплообменник с получением потока, содержащего ацетон, и обработанного обогащенного продуктом потока, содержащего этанол и изопропанол;

е) подачу по меньшей мере части обедненного продуктом потока обратно в биореактор;

ф) подачу по меньшей мере части обработанного обогащенного продуктом потока в емкость экстрактивной перегонки; и

г) перегонку обработанного обогащенного продуктом потока в емкости экстрактивной перегонки в присутствии агента экстрактивной перегонки с получением второго потока головного продукта перегонки и потока кубовых остатков перегонки, при этом в зависимости от используемого агента экстрактивной перегонки:

i) по меньшей мере часть этанола извлекают во втором потоке головного продукта перегонки и по меньшей мере часть изопропанола извлекают в потоке кубовых остатков перегонки; или

ii) по меньшей мере часть изопропанола извлекают во втором потоке головного продукта перегонки

и по меньшей мере часть этанола извлекают в потоке кубовых остатков перегонки.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть этанола извлекают во втором потоке головного продукта перегонки и по меньшей мере часть изопропанола извлекают в потоке кубовых остатков перегонки; и

при этом агент экстрактивной перегонки содержит по меньшей мере один материал, выбранный из группы, состоящей из альфа-пинена, бета-пинена, метилизобутилкетона, лимонена, альфа-фелландрена, альфа-терпинена, мирцена, карана, пара-мента-1,5-диена, бутилового эфира, 1-метокси-2-пропанола, н-бутилацетата, н-амилацетата, бензилацетата, этиленгликоля этилового эфира ацетата, метилацетоацетата, этиленгликольдиацетата, 2-бутоксизетилацетата, метилбутирата, этилпропионата, этил-н-валерата, бутилбензоата, этилбензоата, пиридина, N,N-диметиланилина, о-втор-бутилфенола, 3-изопропилфенола, 2,6-диметилфенола, о-трет-бутилфенола, 4-этилфенола, диэтилфталата, диизооктилфталата, диметиладипата, триацетата глицерина, диэтилмалоната, диметилглутарата, тетрагидрофурана, фенолового эфира этиленгликоля, ацетата метилового эфира дипропиленгликоля, гексилового эфира диэтиленгликоля, трет-бутилпропанола, бутоксипропанола, диметилового эфира п-ксиленгликоля, метилового эфира трет-бутилового эфира диэтиленгликоля, диацетата триэтиленгликоля, аниззола, фенетола, фенолового эфира, 1,2-метилendioксибензола, изофорона, этил-3-этоксипропионата, тетраэтилоортосиликата, 2-гидроксиацетофенона, 1,1,1-трихлорэтана, тетрахлорэтилена, 2,2,2-трихлорэтанола, м-дихлорбензола, хлорбензола, 2,6-дихлортолуола, 1-хлоргексана, диэтиленгликоля, диметилсульфоксида, диметилформамида, сульфолана, изофорона, 2-пирролидиона, 1-метил-2-пирролиндиона, изодецилового спирта, циклододеканола, бензилового спирта, 1-додеканола, тридецилового спирта, фенилэтилового спирта, циклогексанола, циклопентанола, 2-нитропропана, 1-нитропропана, нитроэтана, нитрометана, 3-нитротолуола, 2-нитротолуола, триацетина, 3-нитро-о-ксилола, 1,4-диоксана, изобутилацетата, этилбутирата, изоамилформиата, метилкапроата, этилкапроата, пропилкапроата, 1-метокси-2-пропанолацетата, изобутилизобутирата, гексилацетата, этилизобутирата, пропилбутирата, изобутилбутирата, изоборнилацетата, 1,3-диоксолана, нитробензола, бутилбутирата, 4-метил-2-пентанола и полиэтиленгликоля 400.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть изопропанола извлекают во втором потоке головного продукта перегонки и по меньшей мере часть этанола извлекают в потоке кубовых остатков перегонки; и

при этом агент экстрактивной перегонки содержит по меньшей мере один материал, выбранный из группы, состоящей из этилбензола, толуола, п-ксилола, гептана, фенола и 2-трет-бутилфенола.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что агент экстрактивной перегонки добавляют в емкость экстрактивной перегонки в соотношении агента экстрактивной перегонки к изопропанолу по меньшей мере 5:1 или в соотношении агента экстрактивной перегонки к этанолу по меньшей мере 5:1.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что ферментативный бульон дополнительно содержит один или более побочных продуктов, выбранных из группы, состоящей из уксусной кислоты, 3-гидроксипропиола, изобутанола, н-пропанола, н-бутанола и/или 2,3-бутандиола.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что по меньшей мере часть из одного побочного продукта удаляют с боковым погоном из ректификационной колонны.

7. Способ по п.5, отличающийся тем, что по меньшей мере часть из 3-гидроксипропиола, изобутанола, н-пропанола и/или н-бутанола удаляют с боковым погоном.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть ацетона возвращают в биореактор.

9. Способ по п.1, дополнительно включающий:

подачу потока кубовых остатков перегонки со стадии (g) в сепарационную емкость с получением потока, обогащенного изопропанолом, или потока, обогащенного этанолом; а также потока, обогащенного агентом экстрактивной перегонки; и

подачу по меньшей мере части потока, обогащенного агентом экстрактивной перегонки, в емкость экстрактивной перегонки.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что ферментативный бульон подают в емкость вакуумной перегонки со скоростью подачи от 0,05 до 0,5 объема биореактора в час.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что ферментативный бульон имеет время пребывания в емкости вакуумной перегонки в интервале между 0,5 и 15 минутами.

12. Способ по п.1, отличающийся тем, что емкость вакуумной перегонки содержит разделительную секцию, состоящую из ряда тарелок для перегонки.

13. Способ по п.1, отличающийся тем, что емкость вакуумной перегонки содержит разделительную секцию, состоящую из более трех ступеней перегонки.

14. Способ по п.1, отличающийся тем, что емкость вакуумной перегонки содержит разделительную секцию, состоящую из насадочного материала.

15. Способ по п.1, отличающийся тем, что обедненный продуктом поток содержит микробную биомассу, которая является по меньшей мере на 20 процентов жизнеспособной.

16. Способ по п.1, отличающийся тем, что обедненный продуктом поток содержит менее 10% этанола и изопропанола в ферментативном бульоне.

17. Способ по п.1, отличающийся тем, что емкость вакуумной перегонки работает под давлением в

интервале между 4 кПа (абс.) и 10 кПа (абс.).

18. Способ по п.1, отличающийся тем, что емкость вакуумной перегонки работает при температуре в интервале между 30°C и 50°C.

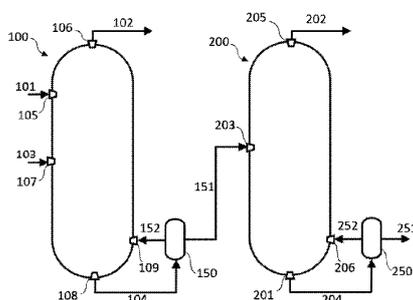
19. Способ по п.1, отличающийся тем, что обедненный продуктом поток подают в средства охлаждения для снижения температуры обедненного продуктом потока перед подачей обедненного продуктом потока в биореактор.

20. Способ по п.19, отличающийся тем, что температура обедненного продуктом потока находится в интервале между 30°C и 40°C.

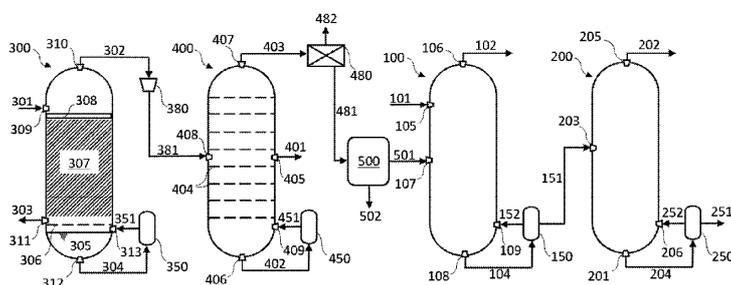
21. Способ по п.1, дополнительно включающий дегазацию по меньшей мере части ферментативного бульона перед подачей ферментативного бульона в емкость вакуумной перегонки.

22. Способ по п.1, отличающийся тем, что биореактор работает в условиях ферментации C1-содержащего газа из промышленного процесса.

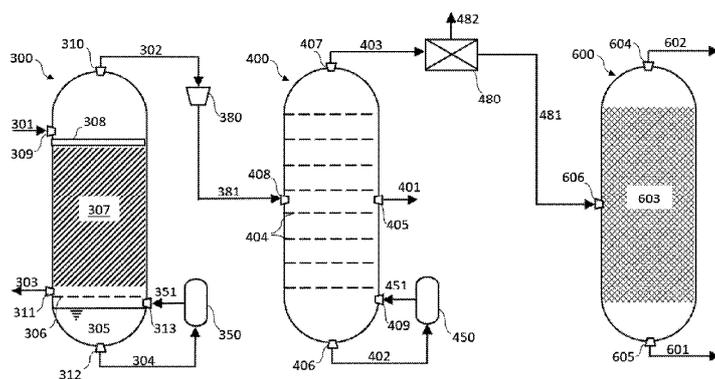
23. Способ по п.22, отличающийся тем, что промышленный процесс выбран из группы, включающей: ферментацию углеводов, производство цемента, производство целлюлозы и бумаги, производство стали, нефтепереработку и сопутствующие процессы, нефтехимическое производство, коксообразование, анаэробное или аэробное сбраживание, газификацию, пиролиз, торрефикацию, добычу природного газа, нефтедобычу, металлургические процессы и каталитические процессы.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2