

Настоящее изобретение относится к способу и оборудованию для непрерывной биокаталитической конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество, в реакторе с одной или несколькими ступенями конверсии/дегазации, которые соединены параллельно или последовательно и каждая из которых содержит последовательно соединенные, по крайней мере, один биореактор и, по крайней мере, одну дегазационную установку, при этом на первой технологической операции каждой ступени конверсии/дегазации водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество, непрерывным потоком подают на вход первого биореактора или на общий вход двух или нескольких первых биореакторов при их параллельном соединении, где этот раствор контактирует, по крайней мере, с одним биокатализатором и из него образуются, по крайней мере, один газообразный и, по крайней мере, один твердый или жидкий продукт, а на второй технологической операции биокаталитически конвертированный раствор перекачивают с выхода последнего биореактора или общего выходного трубопровода двух или нескольких последних биореакторов при их параллельном соединении на вход дегазационной установки, причем, по крайней мере, часть биокаталитически конвертированного дегазированного раствора с выхода последней дегазационной установки технологической линии непрерывным потоком подают на вход соединенного с ней первого биореактора. Изобретение относится также к установке для осуществления предлагаемого в нем способа.

В последние годы существенно возрос интерес к процессам, в которых используются иммобилизованные катализаторы, такие как ферменты и микроорганизмы. Процесс непрерывной биокаталитической конверсии с применением иммобилизованных биокатализаторов позволяет значительно снизить производственные затраты, в частности за счет сокращения времени конверсии и количества отходов в виде отработанной биомассы. Особый интерес в применении биокаталитической конверсии существует в пищевой промышленности, производящей безалкогольные и алкогольные напитки, т.е. в пивоварении и виноделии, а также при получении различных газов, например метана, способом биокаталитической конверсии органического материала.

В настоящее время технология с использованием иммобилизованных дрожжей находит успешное промышленное применение на некоторых пивоваренных заводах, производящих безалкогольное пиво, или при вторичной ферментации (дозревании) первично ферментированного пива. В обоих случаях дрожжи иммобилизуют на неподвижном слое твердого несжимаемого носителя в реакторе колонного типа, через который сусло или зеленое пиво прокачивают непрерывным потоком методом вы-

теснения. Такой процесс является достаточно простым в осуществлении, поскольку при производстве безалкогольного пива используют неферментированное сусло, а при вторичной ферментации зеленое пиво почти полностью истощается и в растворе остается очень небольшое количество образующегося при ферментации диоксида углерода.

При первичной ферментации сусла ситуация оказывается существенно более сложной. Количество диоксида углерода, высвобождающегося в процессе ферментации (биокаталитической конверсии) сусла, в этом случае оказывается намного большим, чем в вышеупомянутых процессах, что вызывает образование каналов в носителе, создает возмущения в потоке вытеснения, уменьшает эффективный объем реактора и вспенивает продукт. Еще одна проблема связана с отводом тепла, выделяющегося во время быстрой реакции биокаталитической конверсии. Поддерживать в этих условиях в реакторе необходимую температуру оказывается достаточно сложно или даже вообще невозможно. Это обстоятельство является главной проблемой при ферментации напитков, поскольку температура реактора оказывает значительное влияние на метаболизм дрожжей и на образование соединений, определяющих вкусовые качества напитка.

В последние годы был опубликован целый ряд отчетов о лабораторных и опытных исследованиях первичной (главной) ферментации пива с использованием иммобилизованных микроорганизмов (см., например, Monograph XXIV of European Brewery Convention, Symposium Immobilized Yeast Applications in the Brewing Industry, изд-во Hans Carl Gerthner-Fachverlag, Nurnberg, 1996, ISBN 3-418-00749-X). Так, например, согласно публикации Yamauchi and Kashihara был разработан двухступенчатый процесс ферментации с использованием резервуара с непрерывным перемешиванием и последовательно соединенного с ним реактора со слоем насадки. В публикации Kronl*f и др. описано использование для этой цели двух последовательно соединенных реакторов со слоем насадки. Однако возникшие в этих случаях технические проблемы настолько затруднили практическую реализацию этих способов, что процесс биокаталитической конверсии стал практически неуправляемым. Как было указано выше, основная проблема, с которой при этом пришлось столкнуться, была связана с интенсивным образованием диоксида углерода. Кроме того, большое количество тепла, выделяющегося при первичной ферментации, существенно затрудняет или даже вообще не позволяет поддерживать в реакторе требуемую температуру. Оба упомянутых выше способов, описанных Yamauchi и Kashihara, а также Kronl*f и др., позволили сократить продолжительность процесса ферментации приблизительно до двух дней.

В патенте US 5079011 описан способ получения этанола и алкогольных напитков, при этом жидкость, содержащую биокаталитически конвертируемое вещество, прокачивают через ряд соединенных между собой реакторов, заполненных иммобилизованными дрожжами. В местах соединений давление понижают, удаляя из системы большую часть диоксида углерода, образовавшегося в предыдущем реакторе. Таким образом, этот способ позволяет получать напитки с высокой концентрацией этанола практически без всяких проблем, связанных с наличием газообразного диоксида углерода. Однако этот способ дорог и непрактичен, поскольку для получения напитков даже со средней концентрацией этанола необходимо использовать несколько реакторов и устройств, предназначенных для понижения давления. Величина рабочего давления ограничена конструкцией реактора, а также допустимым отклонением давления дрожжей. Так, например, при ферментации пива с заданной концентрацией этанола, равной 5,5 мас.%, при максимально допустимом давлении в одном реакторе, равном 4 бар, и температуре ферментации, равной 15°C, содержание в растворе диоксида углерода составляет 7,0 г/л. При давлении в 1 бар содержание диоксида углерода в растворе соответственно снижается до 1,8 г/л. При этом максимальное содержание в растворе диоксида углерода в каждом реакторе составляет 5,2 г/л, что соответствует концентрации этанола в 0,54 мас.%. Поэтому для получения конечного продукта таким способом теоретически необходимо иметь в технологической линии одиннадцать реакторов. Однако фактически количество необходимых реакторов окажется намного больше.

Указанные выше проблемы в принципе характерны для всех биокаталитических процессов конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество, с применением биокатализатора и образованием, по крайней мере, одного газа и, по крайней мере, одного конечного продукта. Примерами таких процессов могут служить биокаталитическое изготовление фармацевтической продукции или применение биокаталитической обработки в технологических процессах, целью которых является получение полезных газов, например метана.

Исходя из вышеизложенного, в основу изобретения была положена задача разработать способ, лишенный упомянутых выше недостатков. Основной задачей изобретения является разработка способа непрерывной биокаталитической конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество. Другая задача изобретения состояла в разработке способа биокаталитической конверсии, который обладал большей по сравнению с существующими производительностью или для осуществления которого требовалось бы мень-

ше оборудования либо который обладал бы обоими этими преимуществами. Еще одной задачей изобретения является разработка способа биокаталитической конверсии, который обладал бы лучшей общей управляемостью, контролируемой устойчивостью, был бы экономически выгодным из-за компактности системы, нечувствителен к загрязнениям, связанным с высоким содержанием метаболитических продуктов, и отличался бы более постоянным и лучше контролируемым по сравнению с существующими способами расходом питательных веществ.

Еще одной задачей изобретения является разработка установки для осуществления такого способа.

Указанные задачи согласно изобретению с помощью способа, при осуществлении которого подлежащую конверсии жидкость в один или несколько циклов прокачивают по замкнутому реакционному контуру и в каждом цикле после биокаталитической конверсии из этого контура удаляют газы, образовавшиеся во время биокаталитической конверсии.

При использовании такого способа циркуляции по замкнутому контуру для производства спирта, например для производства алкогольных напитков, биокаталитическая конверсия происходит практически до получения продукта с конечной концентрацией спирта. Известно, что скорость ферментации этанола ограничена ингибированием процесса получения продукта. Поэтому можно было предположить, что в этом случае биокаталитическая конверсия будет происходить медленнее, чем при одноцикловом процессе без циркуляции жидкости по замкнутому контуру. Однако было установлено, что и в этом случае биокаталитическая конверсия происходит очень быстро. Применяя предложенный в изобретении способ для производства пива высокой плотности, продолжительность ферментации можно сократить до 20 ч или даже еще больше.

Таким образом, объектом настоящего изобретения является способ непрерывной биокаталитической конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество, в реакторе с одной или несколькими ступенями конверсии/дегазации, соединенными параллельно или последовательно, причем каждая ступень конверсии/дегазации содержит биореактор или два или несколько биореакторов и дегазационную установку или две или несколько дегазационных установок, и эти биореактор или биореакторы и дегазационная установка или дегазационные установки соединены последовательно, заключающийся в том, что на первой технологической операции в каждой ступени конверсии/дегазации водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество, подают на вход биореактора, где этот раствор контактирует с биокатализатором с образованием биокаталитически конвертирован-

ного раствора, содержащего, по крайней мере, один газ и, по крайней мере, один продукт, а на второй технологической операции биокаталитически конвертированный раствор перекачивают с выхода биореактора или общего выходного трубопровода двух или нескольких биореакторов на вход дегазационной установки или на общий входной трубопровод двух или нескольких дегазационных установок, в которых его, по крайней мере, частично дегазируют, получая дегазированный раствор, и, по крайней мере, часть дегазированного раствора с выхода последней дегазационной установки или общего выхода двух или нескольких дегазационных установок технологической линии непрерывным потоком подают на вход первого биореактора технологической линии или через общий подводящий трубопровод на входы двух или нескольких первых биореакторов.

Еще одним объектом изобретения является установка для непрерывной биокаталитической конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество, включающая

биореактор или два или несколько биореакторов, в которые загружен, по крайней мере, один биокатализатор и каждый из которых имеет, по крайней мере, один вход и, по крайней мере, один выход,

кольцевой трубопровод, имеющий вход, соединенный, по крайней мере, с одним выходом, по крайней мере, одного биореактора, по крайней мере, через одну установку для дегазации водного раствора, и, по крайней мере, один выход, соединенный, по крайней мере, с одним входом, по крайней мере, одного биореактора через устройство для перекачки водного раствора по замкнутому контуру,

по крайней мере, один подводящий трубопровод, соединенный с кольцевым трубопроводом по ходу потока за устройством для перекачки водного раствора, и

по крайней мере, один выход (отводящий трубопровод), соединенный с кольцевым трубопроводом до устройства для перекачки водного раствора.

Под термином "газ" в настоящем описании понимается вещество, находящееся в газообразном состоянии при температуре около 0°C и давлении около 1 бара. Термин "газ" относится также к такому веществу, которое частично или полностью растворяется в водном растворе или находится в жидком состоянии при условиях, создаваемых в биореакторе, а при вышеупомянутых условиях находится в газообразном состоянии. Примером газа, растворимого, по крайней мере, в большой степени, в вышеупомянутом водном растворе, является диоксид углерода.

Термин "продукт" или "продукты" в настоящем описании относится к твердым или жидким метаболитическим продуктам, получен-

ным с помощью используемого биокатализатора, независимо от того, определяют ли газ или такие продукты экономическую эффективность способа, предлагаемого в настоящем изобретении. В предпочтительном варианте изобретения продукты, по крайней мере частично, растворяются в водном растворе, содержащем биокаталитически конвертируемое вещество. В результате метаболизма биокатализатора можно получить только один продукт, однако в изобретении с помощью биокатализатора получают два или несколько продуктов, из которых, по крайней мере, один является конечным продуктом. Примерами таких конечных продуктов могут служить этанол, содержащийся, например, в вине, пиве или сидре, а также фармацевтические продукты.

Термин "метаболизм" в настоящем описании относится к продуктам метаболитических функций в биокатализаторе. Метаболитические продукты обычно получают в результате активности ферментов в биокатализаторе. Если биокатализатор представляет собой живую клетку, где термин "живой" означает способность катализатора к размножению, то термин "метаболизм" относится ко всем метаболитическим продуктам такой живой клетки. Однако термин "метаболизм" относится также к продукту или двум или нескольким различным продуктам, полученным с помощью фермента одного и того же типа или других биокаталитически активных веществ, не являющихся частью "живой" клетки.

Термин "биокаталитическая конверсия" в настоящем описании относится к конверсии углеводов, которые под действием биокатализатора могут разлагаться, по крайней мере, на один газ и, по крайней мере, на один охарактеризованный выше продукт.

Термин "биокатализатор" в настоящем описании относится к микроорганизму или ферменту, который обладает способностью конвертировать биокаталитически конвертируемое вещество, по крайней мере, в один газ и, по крайней мере, в один продукт. Примерами биокатализаторов могут служить такие микроорганизмы, как бактерии, грибы или дрожжи типа *Aspergillus niger*, *Rhizopus oryzae*, *Zygomonas mobilis* или *Saccharomyces cerevisiae*.

Термин "водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество", в настоящем описании относится к водному раствору биокаталитически конвертируемого вещества, которое может биокаталитически конвертироваться, по крайней мере, в один газ и, по крайней мере, в один продукт с помощью охарактеризованного выше биокатализатора. Этот термин относится ко всем типам таких водных растворов независимо от их происхождения и концентрации в них биокаталитически конвертируемого вещества. Типичными водными растворами, применяемыми в предпочтительном

варианте изобретения, являются сусло, фруктовый сок, ягодный сок, сахарный сироп, крахмальный сироп, растительные гидролизаты, сахарные сиропы, ароматизированные какими-либо фруктовыми, ягодными, солодовыми и т.п. экстрактами, или любая другая жидкость, применяемая в производстве любых алкогольных напитков, в частности пива, сидра, вина или ликера. В приведенном ниже описании предпочтительного варианта осуществления настоящего изобретения этот термин относится к суслу. Концентрация биокаталитически конвертируемого вещества в приведенных примерах может, как очевидно, меняться в широких пределах в зависимости от количества спирта в конечном продукте, а также в зависимости от того, насколько он должен быть сладким. Обычно концентрация биокаталитически конвертируемых веществ составляет от 1 до приблизительно 400 г/л, в частности, например, от 10 до 300 г/л или от 50 до 250 г/л, включая натуральное и добавленное биоконвертируемое вещество.

Термин "биокаталитически конвертируемое вещество" в настоящем описании относится к способности вещества конвертироваться, по крайней мере, в один газ и, по крайней мере, в один продукт с помощью биокатализатора.

Термин "степень конверсии/дегазации" в настоящем описании относится к секции, содержащей, по крайней мере, один биореактор, в котором биокаталитически конвертируемое вещество конвертируется с помощью, по крайней мере, одного биокатализатора независимо от формы, объема, модели или других особенностей биореактора, и, по крайней мере, одну дегазационную установку, в которой можно удалять образовавшиеся при биоконверсии газы.

Степень конверсии/дегазации может состоять только из одного биореактора и одной дегазационной установки, однако она также может содержать и другие устройства, например одну или несколько установок для удаления твердых продуктов, которые (установки) могут быть дополнительно установлены между биореактором и дегазационной установкой или после дегазационной установки либо в обоих этих местах.

Термин "биореактор" в настоящем описании относится к аппарату или пространству, в котором происходит биокаталитическая конверсия. Термин "биореактор" охватывает любые аппараты, в которых обеспечивается контакт с биокатализатором подлежащего биокаталитической конверсии раствора, и относится, например, к корпусному реактору с мешалкой, реактору с псевдооживленным слоем катализатора, реактору барабанного типа, реактору с поршневым потоком (или потоком вытеснения) или реактору с фильтром, в частности реактору с мембранным фильтром или реактору с керамическим фильтром. Возможно также использование в качестве биореактора одновременно двух

или нескольких реакторов указанных типов. Единичный аппарат с большим количеством различных каналов для прохождения жидкости, в котором происходит биокаталитическая конверсия, рассматривается как один биореактор независимо от количества таких каналов или ступеней биокаталитической конверсии. Примером такого аппарата с большим количеством каналов для прохождения жидкости может служить реактор колонного типа, содержащий керамическую вставку или ряд керамических вставок, образующих отдельные каналы, по которым в основном или полностью проходит поток жидкости.

Биореакторы, о которых идет речь в настоящем изобретении, обычно имеют, по крайней мере, один вход и, по крайней мере, один выход. Подлежащий биокаталитической конверсии водный раствор подается в биореактор через по крайней мере один вход, а биокаталитически конвертированный продукт выводится из реактора через по крайней мере один выход. Биореактор может иметь несколько входов и несколько выходов. Для подачи жидкости в реактор можно использовать различные входы, расположенные в разных местах реактора и позволяющие унифицировать конструкцию реактора или подавать в него различные питательные вещества в разных местах. Биореактор может также иметь несколько выходов, позволяющих выводить из него продукты с разной степенью биоконверсии.

Принятая в настоящем изобретении в качестве базового варианта ступень конверсии/дегазации содержит только один биореактор, имеющий, по крайней мере, один вход и, по крайней мере, один выход. Однако возможно также использование в одной ступени конверсии/дегазации двух или нескольких биореакторов. В случае применения двух или нескольких биореакторов они могут быть соединены между собой последовательно или параллельно.

Термин "последовательное соединение" в описании настоящего изобретения относится к линии, которая состоит из двух или нескольких аппаратов, в данном случае биореакторов, установленных один за другим, и в которой выходящий из первого аппарата поток жидкости подается во второй аппарат. Поток жидкости, отбираемой из второго аппарата, можно подавать на вход третьего аппарата и т.д. вплоть до последнего аппарата в линии.

Термин "параллельное соединение" в описании настоящего изобретения относится к двум или нескольким аппаратам, работающим параллельно и имеющим общий подводящий трубопровод и общий отводящий трубопровод или общий выход.

Последовательно между собой обычно соединяют два или несколько биореакторов, каждый из которых предназначен для выполнения разных функций. Если два или несколько био-

реакторов соединяют последовательно, то не во всех биореакторах происходит образование газа. В некоторых случаях предпочтительно получать определенные продукты в первом биореакторе до получения второго продукта во втором реакторе. Так, например, при производстве алкогольных напитков первый биореактор можно использовать для придания напитку требуемых вкусовых качеств, а второй - для получения спирта. Если вкусовые или спиртовые компоненты напитка необходимо или предпочтительно получать в два или несколько этапов, то количество биореакторов соответственно увеличивают.

В предпочтительном варианте изобретения максимальное количество последовательно соединенных биореакторов достигает 50 и зависит от их размеров и производительности.

Установка с параллельно соединенными биореакторами также является объектом настоящего изобретения. При параллельном соединении входы каждого биореактора соединены с общим подводным трубопроводом, питающим каждый биореактор одним и тем же водным раствором, содержащим биокаталитически конвертируемое вещество, или с двумя или несколькими подводными трубопроводами в том случае, когда каждый биореактор имеет несколько различных входов, через которые в него подаются различные исходные продукты.

Параллельное соединение биореакторов может быть использовано, например, для повышения производительности установки, когда размеры имеющихся в ней реакторов ограничены, например, по техническим или экономическим соображениям. Если два или несколько биореакторов соединить параллельно, то предпочтительно, чтобы все они работали одинаково. При производстве алкогольных напитков параллельно соединенные биореакторы могут быть использованы для получения вкусовых компонентов напитков или содержащегося в них спирта.

Количество соединенных параллельно биореакторов может быть очень большим и зависит от размера биореактора и производительности технологической линии. По экономическим соображениям максимальное количество параллельно соединенных биореакторов не должно превышать 10000. Обычно при параллельном соединении используют не больше 1000 или 500, в частности около 100 или 50 или даже еще меньше биореакторов.

К настоящему изобретению относится и вариант, в котором два или несколько биореакторов, соединенных между собой последовательно, образуют одну технологическую линию, а вся установка состоит из нескольких таких линий, соединенных между собой параллельно. Так, например, для производства алкогольных напитков можно использовать технологическую линию, в первом биореакторе которой получают

определенный вкусовой компонент, а во втором биореакторе - спирт. При этом две или несколько таких линий соединяют между собой параллельно и на каждый вход первых биореакторов линии подают жидкость из общего подводного трубопровода, а выходы вторых биореакторов линии соединяют с общим трубопроводом, по которому из них отбирают полученные продукты. Такая система может, как очевидно, содержать большое число последовательно соединенных в одну технологическую линию биореакторов при большом количестве таких линий, соединенных между собой параллельно.

Кроме того, один биореактор или два или несколько биореакторов в каждой ступени конверсии/дегазации могут содержать устройства для реверсирования направления потока жидкости в биореакторе без изменения направления потока во всей ступени конверсии/дегазации. Это может оказаться особенно целесообразным в реакторе с потоком вытеснения, где реверсирование направления потока приводит к результатам, которые обычно можно получить в реакторе с псевдооживленным слоем катализатора.

Таким образом, степень конверсии/дегазации может содержать один или несколько биореакторов, причем два или несколько биореакторов могут быть соединены между собой последовательно или параллельно. К настоящему изобретению относятся и другие схемы соединений двух или нескольких биореакторов, позволяющие, например, получить более однородный поток, уменьшить падение давления в системе и т.п.

Степень конверсии/дегазации, выполненная по настоящему изобретению, содержит также, по крайней мере, одну дегазационную установку.

Термин "дегазационная установка" в настоящем описании относится к любому устройству для удаления газов из жидкостей, например любому отпарному аппарату, установке с газопроницаемой мембраной, гидроциклону или аппарату мгновенного испарения, в котором газ удаляют из содержащей его жидкости за счет увеличения поверхности жидкости. Дегазационная установка, предлагаемая в изобретении, содержит, по крайней мере, один вход для продукта, который должен быть дегазирован, и, по крайней мере, один выход для дегазированного продукта. В предпочтительном варианте изобретения дегазационная установка содержит также, по крайней мере, один выход для удаляемого из продукта газа. "Дегазационная установка", о которой идет речь в изобретении, может работать при любом давлении, большем, равном или меньшем наружного давления (приблизительно 1 бар) и позволяющем частично или полностью удалить газ или смесь газов из жидкости.

В предлагаемом в настоящем изобретении способе используется одна дегазационная уста-

новка или используются две или несколько дегазационных установок, соединенные с биореактором или с двумя или несколькими биореакторами таким образом, что поток (поток продукта), отбираемый с выхода биореактора или выходов двух или нескольких биореакторов, поступает на вход дегазационной установки или двух или нескольких дегазационных установок. В одной ступени конверсии/дегазации, по крайней мере, один выход единственного биореактора или, по крайней мере, один выход каждого из двух или нескольких биореакторов соединен со входом одной дегазационной установки или со входами двух или нескольких дегазационных установок.

При наличии двух или нескольких дегазационных установок их можно соединить между собой последовательно или параллельно. В предпочтительном варианте изобретения используются две или несколько дегазационных установок, соединенных между собой параллельно.

Дегазационные установки могут иметь устройства, обеспечивающие их работу при пониженном давлении. Обычно для создания в установке для дегазации пониженного давления используют систему вакуумирования, включающую один или несколько вакуум-насосов, соединенных с одним или несколькими выходами установки над уровнем находящейся в ней жидкости. Давление в дегазационной установке может меняться от приблизительно 0,01 бар до давления, несколько более низкого, чем давление в биореакторах, например от 0,1 до 10 бар или от 0,2 до 4 бар, и должно быть равно давлению, позволяющему удалить из жидкости хотя бы часть содержащегося в ней газа.

Как уже было отмечено выше, дегазационные установки могут иметь устройства, ограничивающие или полностью предотвращающие образование в них пены. Для этой цели можно использовать различные механические устройства типа излучателей ультразвука или разбрызгивателей воды или же устройства, позволяющие дополнительно вводить в жидкость химические антивспениватели типа известных антивспенивателей на основе силикона.

Таким образом, ступень конверсии/дегазации может содержать одну или несколько дегазационных установок, две или несколько из которых могут быть соединены между собой последовательно или параллельно. К настоящему изобретению относятся также технологические линии и с другими схемами соединений двух или нескольких дегазационных установок.

Помимо перечисленных выше устройств, предлагаемая в настоящем изобретении ступень конверсии/дегазации может содержать дополнительные устройства, повышающие ее работоспособность в целом и эффективность предлагаемого в изобретении способа. К таким допол-

нительным устройствам (выполняющим отдельные технологические операции) относятся теплообменники, устройства для удаления твердых продуктов, клапаны, устройства управления клапанами, устройства для впуска газа, например впуска воздуха, устройства для добавления биокатализаторов, устройства для отвода жидкости или для добавления жидкости и т.п.

Дополнительные устройства могут быть расположены в разных местах предлагаемой ступени конверсии/дегазации, например либо между двумя или несколькими биореакторами, либо между двумя или несколькими дегазационными установками, либо между биореактором или двумя или несколькими биореакторами и дегазационной установкой или двумя или несколькими дегазационными установками.

К настоящему изобретению относится также вариант, в котором дополнительное устройство или два или несколько упомянутых дополнительных устройств расположены таким образом, что либо в двух или нескольких биореакторах, либо в двух или нескольких дегазационных установках, либо в двух или нескольких ступенях конверсии/дегазации используется только одно такое дополнительное устройство.

Все вышеупомянутые дополнительные устройства, применяемые во всех биореакторах, в дегазационных установках или в ступенях конверсии/дегазации, могут работать непрерывно или периодически, например в течение определенных промежутков времени или при определенных условиях процесса. Если дополнительное устройство используется для двух или нескольких биореакторов, для двух или нескольких дегазационных установок или для двух или нескольких ступеней конверсии/дегазации, то оно может работать непрерывно или последовательно в соответствии с циклом работы биореакторов, дегазационных установок или ступеней конверсии/дегазации, в которых оно используется, или может работать периодически, будучи связанным со всеми биореакторами, дегазационными установками или ступенями конверсии/дегазации, в которых оно используется, или может даже работать и последовательно, и периодически. Так, например, когда при медленном накоплении в потоке жидкости твердых продуктов нет необходимости в постоянном их удалении из нее. В этом случае для нескольких ступеней конверсии/дегазации можно использовать всего одно устройство для периодического удаления твердых продуктов из каждой ступени поочередно.

В зависимости от количества твердых продуктов, которые должны быть удалены из жидкости, может оказаться целесообразным оснастить устройством для удаления твердых продуктов каждый биореактор, каждую дегазационную установку или каждую ступень конверсии/дегазации. Настоящее изобретение, однако, предполагает возможность использования толь-

ко одного устройства для удаления твердых продуктов из всех (или нескольких) биореакторов, дегазационных установок или ступеней конверсии/дегазации.

В одном из вариантов настоящего изобретения два или несколько биореакторов, две или несколько дегазационных установок или две или несколько ступеней конверсии/дегазации содержат одно общее устройство для удаления твердых продуктов. Если количество биореакторов, дегазационных установок или ступеней конверсии/дегазации достаточно велико, то одно общее устройство для удаления твердых продуктов может быть использовано для определенной группы этих аппаратов или ступеней, например для двух или нескольких.

Кроме того, устройство для удаления твердых продуктов можно установить по ходу потока перед биореактором или двумя или несколькими биореакторами, например перед первым биореактором линии или ряда первых биореакторов. В предлагаемом в изобретении способе можно использовать только одно такое устройство для удаления твердых продуктов, которое расположено перед биореактором или двумя или несколькими биореакторами и которое, однако, как уже было сказано выше, можно объединить также с двумя или несколькими такими же устройствами.

В другом варианте изобретения ступень конверсии/дегазации содержит, по крайней мере, одно устройство для удаления твердых продуктов. Если ступень конверсии/дегазации содержит только одно такое устройство, то его предпочтительно установить между биореактором и дегазационной установкой либо двумя или несколькими дегазационными установками или же, если ступень конверсии/дегазации содержит два или несколько биореакторов, между последним биореактором в линии или последними биореакторами при параллельном соединении двух или нескольких биореакторов и дегазационной установкой или двумя или несколькими дегазационными установками. Если установка имеет два или несколько устройств для удаления твердых продуктов, по крайней мере, одно из них устанавливается описанным выше образом, а остальные устанавливаются предпочтительно по ходу потока за биореакторами, предпочтительно, по крайней мере, на выходе или рядом с выходом биореакторов. Еще в одном варианте изобретения, в котором используются два или несколько биореакторов, соединенных последовательно, устройство для удаления твердых продуктов располагают между биореакторами линии. В качестве используемого в изобретении устройства для удаления твердых продуктов можно использовать любое устройство, пригодное для удаления твердых продуктов из потока жидкости.

Примерами таких устройств для удаления из жидкости твердых продуктов являются ста-

тические и динамические фильтры или центрифуги, например дисковая пакетная центрифуга. Возможны также другие способы механического сепарирования жидкости.

Ступень конверсии/дегазации может также содержать один или несколько теплообменников, предназначенных для нагревания или охлаждения потока жидкости. Под "теплообменником" в настоящем описании понимается аппарат, который может нагревать или охлаждать проходящие через него жидкость или газ. Теплообменник можно установить в ступени конверсии/дегазации в любом месте, где необходимо нагревать или охлаждать газ или жидкость, например до входа в дегазационную установку или входа в две или несколько дегазационных установок для нагревания подаваемой в них жидкости с целью более эффективного удаления из нее или из них газа. Кроме того, теплообменники можно установить и за одной или несколькими дегазационными установками для охлаждения выходящей из них жидкости.

Как уже было отмечено выше, биореактор или биореакторы, о которых идет речь в изобретении, загружают биокатализатором или двумя или несколькими биокатализаторами. При загрузке в один биореактор двух или нескольких биокатализаторов их можно использовать в виде смеси или по отдельности, например расположив их в реакторе последовательно, если это допускает конструкция биореактора и характеристики биокатализаторов. Биокатализатор или два или несколько биокатализаторов могут использоваться либо в виде неподвижного слоя, либо в псевдооживленном слое в диспергированном в подлежащей биокаталитической конверсии жидкости виде. Биокатализатор может использоваться в свободной форме или в химически или механически связанном с материалом-носителем виде.

В предпочтительном варианте изобретения используют биокатализатор или два или несколько биокатализаторов, которые химически или механически связаны с материалом-носителем. В качестве материала-носителя может быть использован любой твердый материал, обладающий способностью к химической или механической иммобилизации биокатализаторов описанного выше типа. В качестве примера материалов-носителей можно назвать стеклянные шарики, альгинатные шарики, гранулированную ДЭАЭ-целлюлозу или лигноцеллюлозу в виде древесной стружки или скорлупы орехов, например кокосовых орехов. Материалы-носители наполняют биокатализаторами обычными хорошо известными специалистам способами. В качестве носителя для механически иммобилизованных биокатализаторов наиболее пригодна древесная стружка. При необходимости поверхность носителя можно подвергнуть химической обработке, направленной на повышение способности носителя химически связы-

вать биокатализатор. В результате такой химической обработки поверхность материала-носителя приобретает способность к обмену анионами или катионами, прежде всего анионами. Обработку поверхности материала-носителя можно выполнять любым соответствующим способом. Для этой цели предпочтительно использовать способ, описанный в заявке DE 19848623.5, которая в части, в которой идет речь о материалах-носителях, их получении и наполнении биокатализаторами, включена в настоящее описание в качестве ссылки.

Различные способы использования в качестве материала-носителя стеклянных шариков описаны в DE 4111879 и DE 4137474. Такие стеклянные шарики, например шарики марки SIRAN®, выпускаются фирмой Schott Glaswerke, Майнц, Германия.

В предпочтительном варианте изобретения в качестве носителей используются гранулированная ДЭАЭ-целлюлоза, древесная стружка или скорлупа кокосовых орехов. Соответствующие типы ДЭАЭ-целлюлозы, способы их получения и заполнения биокатализаторами (иммобилизации) описаны, например в US 5001063, DE-C 3130178, US 4355117, DE-C 2815908, US 4110164 или US 5079011, которые включены в настоящее описание в качестве ссылок.

Предлагаемая в изобретении установка может содержать только одну ступень конверсии/дегазации либо две или несколько ступеней конверсии/дегазации. При наличии двух или нескольких ступеней конверсии/дегазации их можно соединить между собой последовательно или параллельно, либо, если количество ступеней конверсии/дегазации допускает такую возможность, и последовательно, и параллельно. Таким же образом можно соединить между собой и биореакторы, и дегазационные установки. При последовательном соединении двух или нескольких ступеней конверсии/дегазации максимальное количество соединенных между собой последовательно ступеней ограничено площадью, занимаемой всем комплексом оборудования и техническими или экономическими соображениями, при этом теоретическое количество соединенных между собой последовательно ступеней конверсии/дегазации может быть очень большим. Реально вся установка состоит не более чем из 100 ступеней конверсии/дегазации и содержит, например, 50, 20, 10 или 5 ступеней конверсии/дегазации. Количество ступеней конверсии/дегазации зависит также от требуемой производительности установки.

При параллельном соединении ступеней конверсии/дегазации их количество теоретически не ограничено. При определении максимально возможного числа параллельно соединенных ступеней обычно руководствуются теми же приведенными выше практическими сооб-

ражениями, что и при выборе числа параллельно соединенных биореакторов.

Таким образом, предлагаемая в изобретении установка содержит, по крайней мере, одну ступень конверсии/дегазации, состоящую, по крайней мере, из одного биореактора и, по крайней мере, одной дегазационной установки, расположенной по ходу потока за биореактором или биореакторами. В основном варианте предлагаемая в изобретении установка, предназначенная для осуществления способа по изобретению, содержит, по крайней мере, одно устройство для перекачки жидкости по замкнутому контуру, например насос, биореактор, загруженный, по крайней мере, одним биокатализатором, дегазационную установку, кольцевой трубопровод, вход которого соединен, по крайней мере, с одним выходом, по крайней мере, одной дегазационной установки, а, по крайней мере, один выход соединен, по крайней мере с одним входом, по крайней мере, одного биореактора через устройство для перекачки по замкнутому контуру водного раствора, по крайней мере, один подающий трубопровод, соединенный с кольцевым трубопроводом в точке, расположенной по ходу потока за устройством для перекачки водного раствора, и, по крайней мере, один трубопровод для отвода продукта, соединенный с кольцевым трубопроводом в точке, расположенной по ходу потока перед устройством для перекачки водного раствора по замкнутому контуру.

Установка, предлагаемая в настоящем изобретении, содержит, по крайней мере, один подводящий трубопровод, подающий на установку исходное сырье, т.е. свежий водный раствор, содержащий вещество, подлежащее биокаталитической конверсии. Количество подводящих трубопроводов может быть и больше одного, при этом по разным трубопроводам на обработку можно подавать разное или одно и то же сырье. Если по разным трубопроводам на обработку подаются разные виды сырья, то перед входом на установку или перед входом, по крайней мере, в первый биореактор или биореакторы их можно смешать друг с другом, получив в итоге однородный раствор, как это более подробно рассмотрено ниже. Один или несколько подводящих трубопроводов можно использовать для очистки оборудования, при этом, например, один подводящий трубопровод можно соединить с резервуаром с очищающим раствором, используемым для очистки оборудования после определенного периода эксплуатации.

При нормальном режиме работы предлагаемой в изобретении установки поток жидкости направлен таким образом, что свежий водный раствор попадает сначала в биореактор или в два или несколько биореакторов (при их параллельном соединении). Этот биореактор или эти два или несколько биореакторов в описании названы "первым биореактором" или "первыми

биореакторами". Ступени конверсии/дегазации, в которые входят этот биореактор или эти биореакторы, названы в описании "первой ступенью конверсии/дегазации" или "первыми ступенями конверсии/дегазации" при наличии на предлагаемой в изобретении установке двух или нескольких ступеней конверсии/дегазации, соединенных последовательно.

Дегазационная установка или две или несколько соединенных параллельно дегазационных установок, из которых водный раствор выходит перед тем, как, по крайней мере, часть конвертированного и, по крайней мере, часть дегазированного раствора смешивают со свежим водным раствором, попадающим на обработку из подводящего трубопровода, названы в описании "последней дегазационной установкой" или "последними дегазационными установками". Ступени конверсии/дегазации, в которые входят эта дегазационная установка или эти дегазационные установки, названы в описании "последней ступенью конверсии/дегазации" или "последними ступенями конверсии/дегазации" при наличии на предлагаемой в изобретении установке двух или нескольких ступеней конверсии/дегазации, соединенных последовательно.

Последняя дегазационная установка или последние дегазационные установки соединены с первым биореактором или с первыми биореакторами кольцевым трубопроводом, образующим замкнутый реакционный контур.

В состав установки по изобретению входит, по крайней мере, одно устройство для перекачки по замкнутому контуру водного раствора, в частности насос. Этот насос можно установить в любом месте замкнутого реакционного контура, например в ступени конверсии/дегазации или на кольцевом трубопроводе. В предпочтительном варианте изобретения такой насос устанавливается на кольцевом трубопроводе. При наличии на установке двух или нескольких насосов их можно установить в любой точке на кольцевом трубопроводе или в одной или нескольких ступенях конверсии/дегазации.

Установка, предлагаемая в изобретении, имеет, по крайней мере, один выход, предназначенный для отвода полученного продукта или продуктов. Установка может иметь и дополнительные выходы (отводящие трубопроводы), расположенные, например, в одной или нескольких ступенях конверсии/дегазации, в частности за биореактором или за дегазационной установкой и позволяющие отбирать из реакционного контура пробы на различных этапах технологического процесса или даже конечные продукты, отличающиеся от получаемых после последнего этапа дегазации.

В состав установки по изобретению могут также входить один или несколько буферных резервуаров, расположенных предпочтительно

после последней ступени конверсии/дегазации или последних ступеней конверсии/дегазации. Буферный резервуар предназначен для поддержания постоянного уровня жидкостей в реакционном контуре.

В состав установки по изобретению могут также входить один или несколько резервуаров для хранения водного раствора, используемых, например, при ремонте или очистке реактора, который для этого требуется частично или полностью опорожнить.

В состав установки по изобретению могут также входить такие устройства, как клапаны, устройства или входы для добавления газа, например кислорода или двух или нескольких газов, в один или несколько аппаратов реакционного контура, устройства для контроля таких параметров продукта, как плотность, вес, pH, содержание газа, содержание этанола, давление, температура и т.п.

При осуществлении способа, предлагаемого в изобретении, водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество, подают в реакционный контур, содержащий одну или несколько ступеней конверсии/дегазации, соединенных параллельно или последовательно.

На первом этапе всего технологического цикла водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество, непрерывным потоком подают на вход загруженных, по крайней мере, одним биокатализатором первого биореактора или первых биореакторов, где он контактирует, по крайней мере, с одним биокатализатором с образованием биокаталитически конвертированного раствора, содержащего, по крайней мере, один газ и, по крайней мере, один продукт. В зависимости от состава оборудования, применяемого для осуществления предлагаемого в изобретении способа, конвертированный раствор с выхода первого биореактора или первых биореакторов подают во второй биореактор или вторые биореакторы и возможно в следующие последовательно соединенные друг с другом биореакторы в зависимости от конструкции установки.

В предпочтительном варианте настоящего изобретения, по крайней мере, один биореактор загружают биокатализатором, иммобилизованным на носителе.

На втором этапе биокаталитически конвертированный раствор перекачивают с выхода последнего биореактора или последних биореакторов на вход дегазационной установки или - в зависимости от состава установки - дегазационных установок, в которых в режиме непрерывного потока происходит его, по крайней мере, частичная дегазация с получением конвертированного и дегазированного раствора.

Как уже было указано выше, в зависимости от состава оборудования, используемого для конверсии по предлагаемому в изобретении

способу, конвертированный и дегазированный раствор можно направлять во вторую и последующие ступени конверсии/дегазации.

В другом варианте изобретения конвертированный раствор, выходящий из биореактора или двух или нескольких биореакторов, подвергают обработке с целью удаления из него нерастворимых твердых продуктов.

Такая обработка может оказаться особенно целесообразной при использовании биокатализатора, не иммобилизованного на носителе, или в случае, когда в биореакторе в результате увеличения иммобилизованной живой популяции биокатализатора, например клеток дрожжей, образуются клетки биокатализатора, которые не связаны с носителем. Такие биокатализаторы могут попасть из биореактора во внешний контур и загрязнять и закупоривать расположенные за ним устройства. При осуществлении конверсии предлагаемым в изобретении способом с использованием двух или нескольких ступеней конверсии/дегазации твердые продукты из конвертированного раствора можно удалять из всех, из нескольких или только из одной ступени конверсии/дегазации.

Биокаталитически конвертированный и очищенный от твердых продуктов раствор из биореактора или двух или нескольких биореакторов направляют в дегазационную установку или в две или несколько дегазационных установок, с которых из раствора удаляют газ, образовавшийся при его прохождении через биореактор или биореакторы. Газ можно удалять из раствора при любом давлении, обеспечивающем удаление из раствора необходимого количества газа. При удалении газа давление в дегазационной установке может быть меньше или равно внешнему давлению (около 1 бар). Удалять из раствора газ в дегазационной установке можно и при пониженном давлении, т.е. при давлении, меньшем 1 бар и равным, например, 0,5 бар или еще меньше.

Прошедший через дегазационную установку продукт выводят из ступени конверсии/дегазации, если только дегазированный продукт не подвергают дальнейшей обработке, прокачивая его через теплообменники, пастеризатор или фильтры.

При необходимости дегазированный продукт подают затем в следующую ступень конверсии/дегазации, последовательно соединенную с выходом предыдущей ступени конверсии/дегазации. После прохождения последней ступени конверсии/дегазации часть биокаталитически конвертированного и дегазированного продукта, которая представляет собой конечный продукт, отбирают из всего потока продукта. Оставшийся продукт перекачивают обратно в первую ступень конверсии/дегазации или в общий трубопровод, по которому он подается в ряд параллельно соединенных ступеней конверсии/дегазации, в которых он поступает по коль-

цевому трубопроводу на вход первого биореактора или первых биореакторов вместе со свежим сырьем, как это описано выше.

В другом варианте изобретения оставшийся продукт, который перекачивают обратно в первую ступень конверсии/дегазации технологической линии или в общий трубопровод, по которому он подается в ряд параллельно соединенных ступеней конверсии/дегазации и по кольцевому трубопроводу поступает в первый биореактор или первые биореакторы вместе со свежим сырьем, подвергают при необходимости дополнительной обработке с целью удаления из него твердых частиц до или после его смешения со свежим сырьем, но до подачи в первый биореактор или первые биореакторы. Если накопление твердых частиц при осуществлении предлагаемого в изобретении способа происходит медленно, то такая обработка продукта с целью удаления из него твердых частиц может быть единственной технологической операцией такого рода.

Во время или после обработки раствора в каждой ступени конверсии/дегазации или в последовательно или параллельно соединенных ступенях конверсии/дегазации полученный продукт при необходимости прокачивают через теплообменник, который позволяет поддерживать его температуру на постоянном уровне. Прокачка раствора через теплообменник обеспечивает не только возможность регулирования температуры раствора, но и создания оптимальных условий для метаболизма биокатализатора. Обычно раствор прокачивают через теплообменник для отбора из него тепла, выделяющегося в процессе реакции, протекающей в биореакторе.

При осуществлении предлагаемого в изобретении способа раствор через соответствующие аппараты прокачивают непрерывно, хотя в принципе можно работать и при непостоянном расходе раствора, например в импульсном режиме. Под "непрерывным потоком" в настоящем описании понимается поток с постоянным расходом в течение определенного времени, например в течение часа, суток, недели или даже в течение большего промежутка времени. При осуществлении предлагаемого в изобретении способа поток необязательно должен быть "непрерывным", а его скорость или расход могут периодически меняться в зависимости от конкретных условий всего технологического процесса.

В предпочтительном варианте изобретения предлагаемый в нем способ был использован для получения этанола, в частности при производстве алкогольных напитков, таких как пиво, вино, сидр или ликеры, главным образом пива.

Расход водного субстрата в замкнутом реакционном контуре является очень важным фактором, от которого зависит количество получаемого продукта, в частности этанола. Было

также установлено, что при использовании биокатализаторов, иммобилизованных на носителе, расход водного субстрата влияет и на количество клеток биокатализатора, остающихся связанными с носителем. Количество получаемого продукта зависит не только от производительности системы, но и от количества биокатализатора в иммобилизованной системе, а с увеличением расхода увеличивается и количество вымываемого биокатализатора. При слишком большом расходе количество получаемого продукта будет недостаточным и/или не отвечающим заданным требованиям. Регулируя расход, можно получать продукт нужной концентрации. Так, например, при получении этанола объемная концентрация этанола в растворе обычно должна составлять от 0,05 до 20% от общего объема водного субстрата (раствора). Добиться получения в реакционном контуре такой концентрации этанола можно за счет регулирования расхода. Нижний предел расхода зависит от скорости удаления газа или от объема свежего исходного продукта, подаваемого в реакционный контур в единицу времени при определенном расходе циркулирующего в замкнутом контуре водного раствора.

Биореактор может работать при повышенном давлении. Обычно рабочее давление в реакторе составляет от 1 до 10 бар. В общем случае рабочее давление выбирают таким образом, чтобы диоксид углерода, образовавшийся в нем в течение одного прохода, оставался при этом давлении в растворе и не выделялся из него в биореакторе. В предпочтительном варианте изобретения давление в реакторе ограничено пределами от 1,1 до 4 бар и обычно колеблется от 1,5 до 3,5 бар.

Температура процесса обычно лежит в диапазоне от самой низкой, при которой биокатализатор только начинает проявлять слабую метаболическую активность, до самой высокой, при которой биокатализатор почти денатурирован, но все еще остается активным. Нижний предел температуры обычно составляет около 0°C, а верхний предел - около 40°C. В предпочтительном варианте изобретения температура процесса составляет от 10 до 25°C.

При получении этанола, сопровождающемся образованием диоксида углерода, скорость раствора в контуре циркуляции должна быть такой, чтобы диоксид углерода, выделяющийся за один проход, оставался при рабочем давлении растворенным в растворе.

Еще в одном предпочтительном варианте изобретения направление потока в одном или нескольких биореакторах каждой ступени конверсии/дегазации предлагается периодически кратковременно менять на противоположное, например на 5 мин или на более длительное время, например на 5 ч. Такая процедура особенно целесообразна для биореакторов с потоком вытеснения. Реверсирование потока в био-

реакторах может производиться короткими циклами, например каждый час или чаще, или длительными циклами, например каждые 12 ч, каждый день, каждую неделю и даже более длительными циклами, например каждый месяц или каждые два месяца. Реверсирование потока, которое позволяет предотвратить образование каналов в слое носителя биокатализатора и исключить повышение давления в реакторе, заметно улучшает работу всей установки, на которой осуществляется предлагаемый в изобретении способ.

Предлагаемый в изобретении способ может включать операцию очистки, во время которой оборудование, на котором осуществляется этот способ, подвергают очистке обычными методами.

Предлагаемый в изобретении способ может также включать дополнительные операции, улучшающие работу всей установки или позволяющие довести качество получаемого продукта до определенного уровня и поддерживать его на этом уровне. Так, в частности, при производстве алкогольных напитков очень важно, чтобы сырье, поступающее в реакционный контур, проходило предварительную обработку, например фильтрацию, нагрев, охлаждение, пастеризацию, или предварительную химическую либо биокаталитическую конверсию некоторых или всех содержащихся в нем компонентов.

Еще в одном предпочтительном варианте изобретения предлагается периодически или непрерывно измерять химические и/или физические параметры жидкости, которую подают в реакционный контур, а также продукта, который отбирают из реакционного контура. По этим измерениям управляют работой реакционного контура, регулируют скорость подаваемого в контур сырья и соответственно расход в контуре циркуляции. Непрерывные измерения позволяют поддерживать постоянную концентрацию биокаталитически конвертируемого вещества в реакционном контуре и обеспечивают стабильное качество получаемого продукта.

Загрузку реакционного контура обычно производят по обычной для биореакторов процедуре. При производстве алкогольных напитков с использованием иммобилизованных дрожжевых клеток биореактор или биореакторы загружают соответствующим носителем или соответствующими носителями, а весь реакционный контур очищают соответствующей жидкостью, например, раствором гидроксида натрия. Используемую для очистки контура жидкость прокачивают через него в течение 1-100 ч. После очистки реакционный контур обычно промывают водой, а затем его содержимое нейтрализуют или окисляют раствором кислоты до уровня pH от 1 до 8.

Внесение и выращивание в биореакторах дрожжей проводится по обычной технологии,

например по описанной в приведенных ниже примерах.

На прилагаемых к описанию чертежах (фиг. 1-6) представлены упрощенные технологические схемы способа, при осуществлении которого используется установка по изобретению.

На фиг. 1 показана схема установки (реакционный контур) с одной ступенью (11) конверсии/дегазации. Свежее сырье в виде водного раствора биокаталитически конвертируемого вещества по подводющему трубопроводу (6) подается в кольцевой трубопровод (12), по которому прокачивается поток биокаталитически конвертированного и дегазированного продукта. Смесь свежего сырья и биокаталитически конвертированного и дегазированного продукта попадает в заполненный, по крайней мере, одним биокатализатором биореактор (1), в котором смесь, по крайней мере, частично биокаталитически конвертируется, по крайней мере, в один газ и в один продукт. Биокаталитически конвертированный продукт попадает в дегазационную установку (3), имеющую выход (10) для вывода газа, через который газ или газы, содержащиеся в биокаталитически конвертированном продукте, по крайней мере частично, удаляют из замкнутого реакционного контура. После прохождения биокаталитически конвертированного и дегазированного продукта через дегазационную установку он попадает в кольцевой трубопровод (12) ступени (11) конверсии/дегазации. Часть биокаталитически конвертированного и дегазированного продукта отбирают из ступени конверсии/дегазации через выход (9), расположенный за дегазационной установкой. Оставшийся биокаталитически конвертированный и дегазированный продукт подают с помощью установленного на кольцевом трубопроводе (12) устройства (4), предназначенного для перекачки раствора по замкнутому контуру, обратно в ступень конверсии/дегазации (11), где он смешивается со свежим сырьем, подаваемым на обработку по подводющему трубопроводу (6), и вновь попадает в биореактор (1) этой ступени (11) конверсии/дегазации.

На фиг. 2 показана схема установки (реакционный контур) по фиг. 1 с установленным между биореактором (1) и дегазационной установкой (3) устройством (2), предназначенным для отделения от жидкости твердых частиц.

Устройство (2) для отделения твердых частиц имеет выход (8), через который из него удаляют выделенные из раствора твердые частицы.

На фиг. 3 показана схема установки (реакционный контур) по фиг. 2 с расположенным между устройством (4) для перекачки раствора по замкнутому контуру и биореактором (1) теплообменником (5).

На фиг. 4 показана схема установки (реакционный контур) по фиг. 3 с дополнительным подводющим трубопроводом (6а) и двумя до-

полнительными выходами (отводящими трубопроводами) (9а, 9б) для отбора из замкнутого реакционного контура водного раствора на разных стадиях технологического процесса.

На фиг. 5 показана схема установки (реакционный контур), в которой ступень (11) конверсии/дегазации состоит из трех параллельно соединенных биореакторов (1), устройства (2) для удаления из раствора твердых частиц и дегазационной установки (3) с выходом (10) для вывода из замкнутого контура газа.

На фиг. 6 показана схема установки (реакционный контур) с тремя параллельно соединенными ступенями конверсии/дегазации (11), причем каждая ступень конверсии/дегазации (11) имеет биореактор (1) и дегазационную установку (3) с выходом (10) для вывода из замкнутого контура газа.

Используя эти схемы и принимая во внимание приведенные выше соображения, можно, как очевидно, в рамках настоящего изобретения создавать и другие установки (реакционные контуры), работающие по предлагаемому в изобретении способу.

В предпочтительном варианте изобретения ступень конверсии/дегазации установки по изобретению имеет устройство (2) для удаления из раствора твердых частиц с выходом (8), через который выделенные из жидкости твердые частицы выводят из замкнутого контура. Такое устройство для удаления из замкнутого контура твердых частиц может быть расположено, как об этом уже было сказано выше, например, до биореактора, между биореактором и дегазационной установкой или за дегазационной установкой. В другом предпочтительном варианте изобретения устройство для удаления из замкнутого контура твердых частиц расположено перед первым биореактором технологической линии или перед группой первых биореакторов. Еще в одном предпочтительном варианте изобретения в состав предлагаемой в нем установки входит теплообменник (5). Такая установка может содержать одну или несколько последовательно или параллельно соединенных ступеней конверсии/дегазации. В предпочтительном варианте изобретения установка состоит из 1 или 2 ступеней конверсии/дегазации.

Другим объектом изобретения является способ непрерывной биокаталитической конверсии водного раствора, содержащего биокаталитически конвертируемое вещество, отличающийся тем, что для его осуществления используют описанную выше установку.

Еще одним объектом изобретения является использование описанной выше установки для биологической конверсии водного раствора, содержащего биокаталитически конвертируемое вещество, с образованием, по крайней мере, одного газа и одного продукта.

Помимо перечисленных выше устройств и аппаратов в состав установки могут входить

различные дополнительные устройства и аппараты, необходимые для практического осуществления предлагаемого в изобретении способа, например буферные и накопительные резервуары, фильтр суслу, пастеризатор, резервуар для приготовления жидкости, используемой для очистки системы, и резервуар для хранения пива во время очистки реактора.

В простейшем варианте предлагаемая в изобретении установка содержит только один реактор, соединенный с дегазационной установкой. Однако в других вариантах такая установка может содержать несколько соединенных между собой последовательно или параллельно реакторов, из которых только определенная часть входит в замкнутый реакционный контур. Тем самым обеспечивается определенная универсальность установки и возможность ее использования для осуществления процессов с отличающимися реакционными фазами. Так, например, процесс ферментации напитков может проходить в аэробной и анаэробной фазах. Ферментация в аэробной фазе осуществляется при этом вне замкнутого реакционного контура в отдельном реакторе, в который подается газированное сырье. Полученный при этом продукт, из которого удален кислород, затем поступает в контур конверсии анаэробной фазы, в котором происходит биокаталитическая конверсия этанола.

В соответствии с изобретением предполагается возможность использования двух или нескольких описанных выше установок (комплексов оборудования) с использованием на этих установках одного или несколько общих для них устройств, упомянутых выше, так, например, при работе на двух или нескольких предлагаемых в изобретении установках можно использовать одно устройство для удаления из них твердых частиц описанным выше способом.

Практическое осуществление предлагаемого в настоящем изобретении способа проиллюстрировано на приведенных ниже примерах, которые, однако, не ограничивают объем изобретения и не исключают возможность его использования для осуществления других технологических процессов. Существенным отличительным признаком изобретения является циркуляция раствора по замкнутому контуру, при которой образующийся газ остается в реакторе растворенным в жидкости и удаляется из нее на выходе из реактора. Эта особенность изобретения позволяет применять его для любого процесса биокаталитической конверсии или для любого процесса, сопровождающегося образованием в обрабатываемом растворе диоксида углерода или других газообразных компонентов.

Пример 1. Загрузка и очистка реактора.

Сорок кг гранулированной ДЭАЭ-целлюлозы, полученной промышленным способом в соответствии с US 4355117, загружали в реактор колонного типа с внутренним диамет-

ром 40 см и высотой 120 см с образованием в нем слоя выпавшего в осадок носителя общим объемом около 100 л. В емкости объемом 150 л готовили 120 л 4%-ного раствора гидроксида натрия. Раствор в емкости нагревали до 85°C и перекачивали его по замкнутому контуру, состоящему из емкости и расположенного над ней реактора, с расходом 200 л/ч. После 18 ч циркуляции емкость опорожняли, промывали и заполняли горячей технологической водой (температуру воды не контролировали). Выходящий из реактора поток сливали в канализацию, а затем через него прокачивали горячую воду с расходом 400 л/ч до тех пор, пока величина pH в выходящей из реактора жидкости не снизилась ниже 10. Затем в емкости готовили раствор из 1 кг лимонной кислоты и 120 л холодной технологической воды (температуру при этом не контролировали). Этот раствор прокачивали по замкнутому контуру через соединенный с емкостью реактор с расходом 400 л/ч в течение 2 ч. Затем емкость опорожняли, промывали и заполняли холодной водой. Жидкость из реактора сливали в канализацию и в течение 2 ч через него прокачивали холодную воду из емкости.

Пример 2. Инокуляция реактора.

После слива из емкости воды ее заполняли приготовленным в пивоваренном цехе сушлом с исходной плотностью 14,5°P (градусы по шкале Плато). Жидкость из реактора сливали в канализацию и через него восходящим потоком из емкости прокачивали сушло с расходом 200 л/ч, поддерживая объем сусла в емкости на уровне 100 л. Прокачку через реактор проводили до тех пор, пока из реактора не начало выходить вместо воды чистое сушло. Для карбонизирования (сатурирования) сусла через емкость продували кислород. Затем в емкость добавляли 20 л дрожжей, выращенных в цехе продуктов брожения, получая 120 л суспензии, содержащей около 4x10¹⁰ клеток/мл. С целью предотвратить загрязнение суспензии и контролировать процесс пенообразования емкость закрывали крышкой. Выходящую из реактора жидкость перекачивали обратно в емкость и дрожжевую суспензию непрерывно подавали в реактор восходящим потоком с расходом 200 л/ч.

Пример 3. Образование колонии дрожжей и предварительная ферментация сусла в контуре циркуляции.

Давление в реакторе увеличивали до 2,0 бар, при этом циркуляция происходила при температуре жидкости 20°C. Жидкость поступала в реактор по замкнутому контуру восходящим потоком, и в нее периодическим добавляли кислород. Образовавшийся при ферментации диоксид углерода выпускали из реактора в емкость. Образующаяся при этом пена оседала в виде слоя жидкости на дне емкости, обеспечивая возможность непрерывной перекачки суспензии. После двух дней предварительной ферментации процесс перекачки суспензии по

замкнутому контуру прекращали. Затем емкость опорожняли и промывали водой. В емкости готовили 120 л 2%-ного раствора гидроксида натрия. Температуру в емкости повышали до 85°C и содержащийся в ней раствор перекачивали по трубам в обход реактора. Через 2 ч прокачку раствора прекращали. Раствор из емкости сливали, емкость промывали и заполняли холодной водой, которую перекачивали по трубам в течение 1 ч.

Пример 4. Непрерывная ферментация свежим сырьем.

После опорожнения емкости ее заполняли готовым ферментированным зеленым пивом, полученным из цеха продуктов брожения. После этого содержимое емкости начинали прокачивать по замкнутому контуру нисходящим потоком через реактор с расходом 200 л/ч. Давление в реакторе при этом постоянно поддерживали на уровне 2,0 бар, а температуру - на уровне 20°C. Циркулирующий в замкнутом контуре поток пропускали через дисковую пакетную центрифугу, удаляя из него просочившиеся из реактора дрожжи, и через предназначенный для пастеризации теплообменник. Свежее сусло с исходной плотностью 14,5°P добавляли в контур циркуляции с постоянным расходом, равным 6,0 л/ч. Для отбора продукта использовали насос, поддерживающий постоянный уровень жидкости в емкости. После десяти дней непрерывной прокачки по замкнутому контуру плотность исходного сусла была увеличена до 18°P, а его расход уменьшен до 5,0 л/ч. Содержание остаточного ферментируемого сахара в вышедшем зеленом пиве составило около 0,75°P. Пиво ежедневно подвергали анализам на содержание в нем летучих ароматических компонентов. Результаты анализов, проведенных в течение одной недели, приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Концентрация вкусовых компонентов в циркулирующем пиве до и после реактора (частей на миллион)

	День			
	8-й	15-й	22-й	29-й
Ацетальдегид	6	7	7	7
Ацетон	1,0	0,6	1,0	1,0
Этилацетат	26	23	32	35
Изобутилацетат	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Этилбутират	0,15	0,15	<0,05	0,10
Пропанол	37	15	30	29
Изобутанол	21	13	22	20
Изоамилацетат	0,9	0,9	0,8	1,2
2-Метилбутанол	11	8	13	12
3-Метилбутанол	64	36	62	51
Диацетил	0,18	0,35	0,32	0,32
2,3-Пентандион	0,02	0,03	0,05	0,05

После трех недель непрерывной циркуляции по замкнутому контуру давление в реакторе начало возрастать, что указывало на увеличение количества находящихся в нем дрожжей. В течение следующих двух недель давление выросло с 2,2 до 3,9 бар, и после 37 дней работы циркуляцию прекратили.

Пример 5. Восстановление дрожжевой загрузки и последующая непрерывная ферментация.

После опорожнения емкости ее заполняли свежим суслом, которое было насыщено кислородом. Режим циркуляции изменяли на восходящий при расходе в 200 л/ч. Количество дрожжей в реакторе уменьшили до содержания в циркулирующем пиве 10⁸ клеток/мл. Через 18 ч прокачку жидкости через реактор прекращали, емкость опорожняли, очищали (см. пример 3) и заполняли готовым ферментированным зеленым пивом. Затем циркуляцию продолжали в режиме нисходящего потока с расходом 200 л/ч с добавлением в замкнутый контур свежего сусла с плотностью 15,0°P в количестве 6,0 л/ч. Давление в реакторе возрастало до 2,0 бар и оставалось таким же следующие две недели, после чего прокачку через него жидкости прекращали.

Пример 6. Непрерывная ферментация в промышленном масштабе.

На основании результатов экспериментов, полученных в примерах 1-5, был смонтирован увеличенный в 10 раз (по сравнению с описанным выше) комплекс оборудования для ферментации пива. В состав этого комплекса входили две питающих емкости для сусла с трубопроводом, соединенным с пивоваренным цехом, пастеризатор сусла, фильтр сусла, реактор колонного типа, дисковая пакетная центрифуга, емкость быстрого испарения, предназначенная для удаления CO₂, буферная емкость, необходимая для регулирования объема жидкости в замкнутом контуре, теплообменник, емкость для приготовления и перекачки жидкостей, используемых для очистки оборудования, дрожжерастительный аппарат и необходимые насосы. Все имеющееся на установке оборудование было связано между собой трубами и оснащено измерительными приборами, необходимыми для выполнения в автоматическом режиме операций очистки, выращивания дрожжей, добавления закваски и проведения циклов ферментации. Замкнутый контур получения готового продукта содержал реактор, сепаратор, емкость быстрого испарения, буферную емкость и теплообменник, смонтированные в указанном порядке.

В реактор загружали 400 кг гранулированной ДЭАЭ-целлюлозы, образовавшей в нем слой носителя катализатора объемом 1000 л. Реактор и другое оборудование очищали по технологии, описанной в примере 1. Из цеха продуктов брожения в дрожжерастительный аппарат для окончательного выращивания перекачивали 50 л выращенных до этого дрожжей. В реактор вводили готовую закваску в объеме 400 л, которая содержала 10⁸ клеток/мл и которую перекачивали через него по замкнутому контуру восходящим потоком в течение двух часов. Затем контур заполняли насыщенным кислородом суслом с исходной плотностью 18°P, которое перекачивали через него по замкнутому контуру

в режиме нисходящего потока с расходом 2000 л/ч. После двух дней ферментации плотность суслу упала почти до уровня полного истощения, после чего в реактор стали подавать свежее сусло, отбирая из него готовый продукт в количестве 50 л/ч. Давление на выходе в реактор поддерживали на уровне 2,0 бар, а температуру - на уровне 24°C. Продукт из центрифуги направляли в емкость быстрого испарения через расположенное в ее центре сопло, образуя в ней завесу из мелких брызг, которые ударялись в стенки резервуара. Стекающую вниз тонким слоем жидкость собирали со дна емкости без заметного образования пены.

В течение первых двенадцати дней давление в реакторе постепенно повышалось с 2,2 до 3,6 бар, после чего подачу суслу в реактор и отбор из него продукта прекращали, а направление циркуляции изменяли на восходящее.

Густую суспензию дрожжей, поднявшихся из слоя носителя, сбрасывали в канализацию. Затем направление циркуляции вновь изменяли на нисходящее и находящееся в контуре пиво в течение часа непрерывной циркуляции насыщали кислородом, после чего возобновляли нормальный режим работы с подачей в реактор свежего суслу. При этом давление на входе в реактор снова опустилось до уровня 2,5 бар.

За 20 ч непрерывной работы системы плотность продукта снизилась до 14°P. Прокачиваемый по замкнутому контуру продукт до и после реактора ежедневно подвергали анализу на содержание в нем летучих ароматических компонентов. Результаты анализов пива на входе и выходе, выполненных последовательно в течение трех дней, приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2. Концентрация вкусовых компонентов в пиве (частей на миллион)

	8-й день		9-й день		10-й день	
	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход
Ацетальдегид	6,4	6,2	6,4	6,7	7,3	7,1
Ацетон	0,9	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5
Этилацетат	26,3	27,9	26,5	27,4	27,9	28,5
Изобутилацетат	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
Этилбутират	0,20	0,25	0,15	0,20	0,15	0,20
Пропанол	31,2	31,8	29,3	30,7	30,3	31,2
Изобутанол	28,0	29,0	28,5	29,7	29,7	31,3
Изоамилацетат	0,37	0,38	0,39	0,41	0,25	0,25
2-Метилбутанол	15,7	16,2	15,4	16,2	15,5	16,1
3-Метилбутанол	57,8	60,4	56,0	59,2	55,8	58,4
Диацетил	0,39	0,40	0,39	0,42	0,30	0,33
2,3-Пентандион	0,059	0,061	0,061	0,068	0,048	0,054

При проведении анализов брали также пробы на оценку вкусовых качеств продукта. Поскольку продуктом являлось незрелое зеленое пиво, пробы готовили для оценки вкусовых качеств по стандартной лабораторной методике.

Вкусовые качества продукта, которые оценивала квалифицированная комиссия, были признаны хорошими и типичными для этого вида продукта. В то же время вкус был признан более фруктовым и мягким по сравнению со

вкусом продукта, полученного методом обычной ферментации.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ непрерывной биокаталитической конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество, в реакторе, имеющем одну или несколько ступеней конверсии/дегазации, которые соединены между собой параллельно или последовательно и каждая из которых содержит последовательно соединенные один, два или несколько биореакторов и одну, две или несколько дегазационных установок, при осуществлении которого на первой технологической операции, выполняемой в каждой ступени конверсии/дегазации, водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество, подают на вход биореактора, в котором этот раствор контактирует с биокатализатором и из него образуется биологически конвертированный раствор, содержащий, по крайней мере, один газ и, по крайней мере, один продукт, а на второй технологической операции биокаталитически конвертированный раствор перекачивают с выхода биореактора или из общего выходного трубопровода двух или нескольких биореакторов на вход дегазационной установки или на общий входной трубопровод двух или нескольких дегазационных установок, в которых происходит, по крайней мере, частичная дегазация раствора и образование дегазированного раствора, по крайней мере, часть которого, отбираемую с выхода последней дегазационной установки или общего выходного трубопровода двух или нескольких последних дегазационных установок технологической линии, подают непрерывным потоком на вход первого биореактора технологической линии или в общий входной трубопровод двух или нескольких первых биореакторов.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что биореактор представляет собой реактор с мешалкой, реактор колонного типа, реактор с псевдооживленным слоем, реактор барабанного типа, реактор с потоком вытеснения, реактор с мембранным фильтром или комбинацию из двух или нескольких подобных реакторов.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что дегазационная установка представляет собой аппарат с газопроницаемой мембраной, гидроциклон, емкость быстрого испарения или комбинацию из двух или нескольких подобных аппаратов.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что давление в первом реакторе технологической линии составляет от 1,1 до 10 бар.

5. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что ступени конверсии/дегазации соединены друг с другом параллельно.

6. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что для его осуществления используют от 1 до 10 ступеней конверсии/дегазации.

7. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что биокаталитически конвертированный раствор до его попадания в дегазационную установку обрабатывают с целью удаления из него нерастворимых твердых частиц.

8. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что после одного или нескольких этапов дегазации температуру раствора регулируют, прокачивая его через теплообменник.

9. Способ по любому из пп.1-8, отличающийся тем, что биокатализатор иммобилизуют на носителе.

10. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что в качестве катализатора используют дрожжи.

11. Способ по любому из пп.1-10, отличающийся тем, что водный раствор, содержащий биокаталитически конвертируемое вещество, представляет собой сусло.

12. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что раствор представляет собой зеленое пиво.

13. Установка для непрерывной биокаталитической конверсии водных растворов, содержащих биокаталитически конвертируемое вещество, имеющая

биореактор или два или несколько биореакторов, в которые загружен, по крайней мере, один биокатализатор, причем каждый биореактор имеет, по крайней мере, один вход и, по крайней мере, один выход,

кольцевой трубопровод, имеющий вход, соединенный, по крайней мере, с одним выходом, по крайней мере, одного биореактора через, по крайней мере, одну дегазационную установку, предназначенную для дегазации водного раствора, и, по крайней мере, один выход, соединенный, по крайней мере, с одним входом, по крайней мере, одного биореактора через устройство для перекачки по замкнутому контуру водного раствора,

по крайней мере один подводный трубопровод, соединенный с кольцевым трубопроводом за устройством для перекачки водного раствора, и

по крайней мере, один выход (отводящий трубопровод), соединенный с кольцевым трубопроводом до устройства (4) для перекачки водного раствора.

14. Установка по п.13, содержащая, по крайней мере, два биореактора (1), соединенные между собой последовательно.

15. Установка по п.13, содержащая, по крайней мере, два биореактора (1), соединенные между собой параллельно.

16. Установка по любому из пп.13-15, отличающаяся наличием двух или нескольких секций конверсии/дегазации.

17. Установка по любому из пп.13-16, отличающаяся тем, что, по крайней мере, один биореактор (1) представляет собой реактор с мешалкой, реактор колонного типа, реактор с псевдоожиженным слоем, реактор барабанного типа, реактор с потоком вытеснения или реактор с мембранным фильтром.

18. Установка по любому из пп.13-17, отличающаяся тем, что, по крайней мере, одна дегазационная установка (3) представляет собой аппарат с газопроницаемой мембраной, гидроциклон или емкость быстрого испарения.

19. Установка по любому из пп.13-18, отличающаяся наличием, по крайней мере, одного расположенного в кольцевом трубопроводе до биореактора (1) или за ним устройства (2), которое предназначено для отделения твердых частиц и имеет выход (8) для удаления твердых частиц.

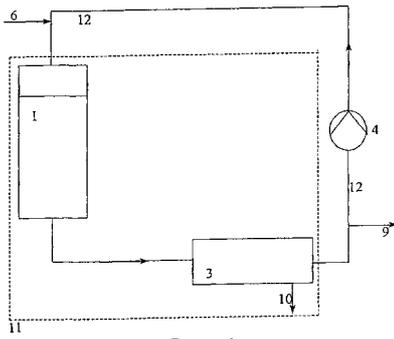
20. Установка по п.19, отличающаяся тем, что, по крайней мере, одно устройство (2) для удаления из раствора твердых частиц представляет собой, по крайней мере, одну центрифугу или фильтр.

21. Установка по п.20, отличающаяся тем, что устройство (2) для удаления из раствора твердых частиц представляет собой дисковую пакетную центрифугу.

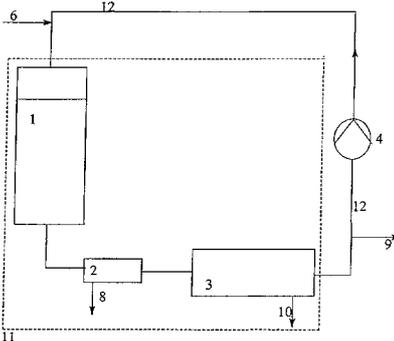
22. Установка по любому из пп.13-21, отличающаяся наличием, по крайней мере, одного теплообменника (5).

23. Установка по п.22, отличающаяся тем, что, по крайней мере, один теплообменник (5) расположен за дегазационной установкой (3).

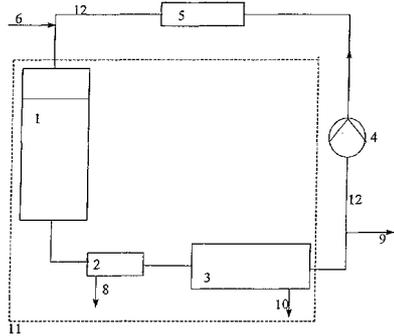
24. Установка по п.22, отличающаяся тем, что, по крайней мере, один теплообменник (5) расположен между устройством (4) для перекачки раствора по замкнутому контуру и подводным трубопроводом (6).



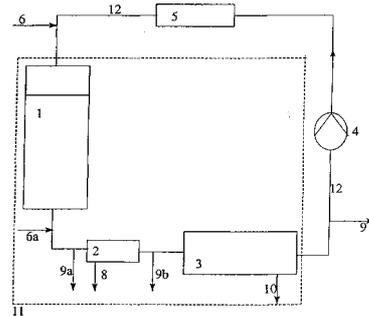
Фиг. 1



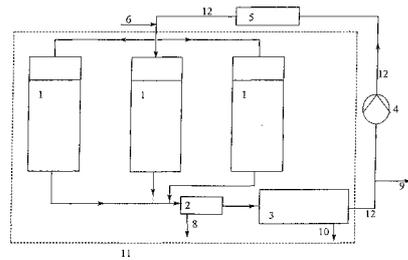
Фиг. 2



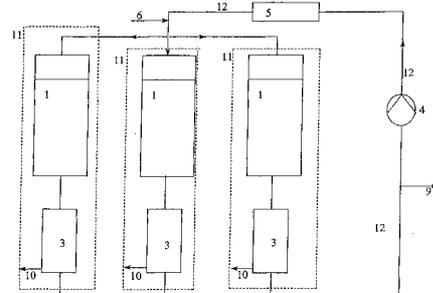
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

