

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037138**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.02.10

(21) Номер заявки
201991566

(22) Дата подачи заявки
2018.02.12

(51) Int. Cl. **B01J 19/00** (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)
B01J 8/00 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО И СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ КОНТАКТА ФАЗ И ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ**

(31) **102017000015144**

(32) **2017.02.10**

(33) **IT**

(43) **2020.01.31**

(86) **PCT/IB2018/050850**

(87) **WO 2018/146647 2018.08.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
БОБ СЕРВИС СРЛ (IT)

(72) Изобретатель:
Кавалья' Джулиано (IT)

(74) Представитель:
Рыбина Н.А., Рыбин В.Н. (RU)

(56) WO-A1-2005039745
WO-A1-2013191713
WO-A1-2016001476
US-A1-2011151524
US-A1-2014363855

(57) Устройство (11) для усиления контакта фаз и химических реакций, содержащее по меньшей мере одну первую высокотурбулентную смесительную ступень (13) и по меньшей мере одну вторую высокосдвиговую и высококавитационную ступень (15), причем указанные ступени (13, 15) выполнены с возможностью вызывать повышение относительной скорости скольжения фаз, присутствующих в многофазном потоке, проходящем через указанные ступени (13, 15).

037138

B1

037138
B1

Область техники изобретения

Изобретение относится к устройству и способу для усиления контакта фаз и химических реакций. Конкретнее, данное изобретение относится к устройству и способу для усиления контакта фаз и, следовательно, переноса вещества и теплоты, и для усиления кинетики химических реакций. Устройство и способ в соответствии с изобретением могут иметь отношение к разным видам фаз, в частности к фазам твердое тело - жидкость, газ - жидкость, газ - жидкость - твердое тело и жидкость - жидкость.

Предшествующий уровень техники

При операциях, включающих контакт фаз, процессы переноса свойств, например вещества и теплоты, главным образом, описываются уравнениями типа:

$$F_p = A \times K \times \Delta C,$$

где F_p - поток свойств (например, вещества, теплоты);

A - межфазная область;

K - коэффициент обмена свойств;

ΔC - сила тяги.

Вышеприведенное отношение ясно показывает, что для того, чтобы усилить перенос свойств для заданной силы тяги ΔC , необходимо максимизировать A , т.е. межфазную область, и K , т.е. коэффициент обмена свойств. Известными явлениями, позволяющими увеличить межфазную область и коэффициент обмена свойств, являются, главным образом, турбулентность, напряжение сдвига и кавитация. Такие явления по сути приводят к значительному повышению относительной скорости скольжения разных присутствующих фаз.

В настоящее время наиболее эффективным устройством для усиления контакта газ - жидкость является струйный контактор типа газ - жидкость. Используя такое устройство для создания контакта потока газообразного O_3 (озона) с водой, получают значения объемного коэффициента переноса вещества (kLa) в диапазоне от 0,025 до 0,062 c^{-1} .

Также известно, что в многофазных системах химические реакции наиболее эффективно проходят при наиболее эффективном смешивании реагирующих фаз и наибольшей межфазной области. Кроме того, следует учитывать, что скорость химических реакций, главным образом, описывается уравнением Аррениуса

$$K = k_0 \text{Exp}[-E_a/RT],$$

где K - скорость реакции;

k_0 - предэкспоненциальный множитель (определяемый экспериментально);

E_a - энергия активации (определяемая экспериментально);

R - универсальная газовая постоянная;

T - абсолютная температура.

В свою очередь, в основе уравнения Аррениуса лежит уравнение Максвелла-Больцмана, описывающее распределение $F(E)$ молекулярной энергии E в равновесных системах

$$F(E) = 2(E/\pi)^{1/2} (1/kT)^{3/2} \text{Exp}[-E/kT],$$

где k - константа Больцмана.

Уравнение Больцмана ясно показывает, что при заданной температуре, вне зависимости от того, насколько низкой она является, существуют молекулы, чья молекулярная энергия превышает энергию активации, т.е. $E > E_a$, в результате чего в случае столкновения происходит химическая реакция. Так как уравнение Аррениуса получают, интегрируя уравнение Максвелла-Больцмана, скорость реакции K экспоненциально зависит от энергии активации E_a и от температуры T .

Таким образом, следующие рассуждения являются следствием вышесказанного:

уравнение Максвелла-Больцмана подразумевает, что в случае каждой реакции существует некоторое число молекул, способных к реакции даже при низкой температуре, даже если это число является пренебрежимо малым; и

экспоненциальный характер уравнения Аррениуса подразумевает, что скорость реакции увеличивается в два раза (три раза, четыре раза ...) при повышении температуры на каждые $10^\circ C$.

Из этих рассуждений вытекает факт, что в традиционной практике способ достижения приемлемой скорости химической реакции состоит в повышении T до тех пор, пока не будет превышен уровень, соответствующий энергии активации E_a необходимой химической реакции. По этой причине в основе большинства устройств, в которых в настоящее время проводят химические реакции, лежат повышение температуры и случайные столкновения между молекулами, которые, в свою очередь, находятся в состоянии возбуждения, определяемом случайными перемещениями в пространстве.

Примеры устройств, способных усиливать контакт фаз и химических реакции, описаны в WO 2005039745 A1, WO 2013191713 A1, WO 2016001476 A1, US 20110151524 A1 и US 20140363855 A1.

При этом результаты, достигаемые с помощью традиционных систем, являются неудовлетворительными для многих применений и, следовательно, остро чувствуется необходимость в устройствах и способах, позволяющих достигать лучших результатов и большей производительности.

Таким образом, первой целью настоящего изобретения является предоставление устройства и спо-

соба для усиления контакта фаз и усиления химических реакций, которые бы преодолевали недостатки и ограничения предшествующего уровня техники и позволяли достигать большей производительности.

Другой целью этого изобретения является предоставление устройства и способа вышеуказанного типа, которые подходят для множества применений и соответствуют растущим требованиям во многих промышленных областях и применениях.

Дополнительной, но не последней, целью этого изобретения является предоставление устройства и способа для усиления контакта фаз и усиления химических реакций, которые можно было бы производить и осуществлять в промышленных масштабах при ограниченных затратах.

Вышеприведенные и другие цели достигаются с помощью устройства и способа, заявленных в прилагаемой формуле изобретения, которая является неотъемлемой частью технических принципов, предложенных в настоящем описании, в соответствии с изобретением.

Описание изобретения

Устройство для усиления контакта фаз и химических реакций в соответствии с данным изобретением, главным образом, содержит по меньшей мере одну первую высокотурбулентную смесительную ступень и по меньшей мере одну вторую высокосдвиговую и высококавитационную ступень. Преимущественно указанные ступени выполнены с возможностью вызывать повышение относительной скорости скольжения фаз, присутствующих в многофазном потоке, проходящем через указанные ступени. В соответствии с изобретением многофазный поток может быть сформирован в режиме однонаправленного потока или противотока.

Преимущественно в соответствии с изобретением каждая высокотурбулентная смесительная ступень и каждая высокосдвиговая и высококавитационная ступень содержат ротор и соответствующий статор, окружающий ротор. Предпочтительно роторы смесительных ступеней содержат вращающийся вал, расположенный в центре камеры, определяемой соответствующим статором, и по меньшей мере один радиальный элемент, например радиальный штифт или стержень, расположенный с возможностью вызывать турбулентное движение в веществе, присутствующем в камере, определяемой статором и окружающей ротор. Кроме того, предпочтительно высокосдвиговые и высококавитационные ступени содержат роторы, имеющие зубчатые периферические поверхности, и соответствующие статоры, также имеющие зубчатые периферические поверхности, обращенные к зубцам соответствующих роторов.

Предпочтительно в соответствии с изобретением каждый ротор высокотурбулентных смесительных ступеней и высокосдвиговых и высококавитационных ступеней соединен с одним роторным валом, проходящим через центральную часть всех ступеней устройства.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения первая и последняя ступень из некоторого количества ступеней, принадлежащих устройству, имеют по меньшей мере одно соответствующее отверстие для впуска и выпуска, соответственно, обрабатываемого вещества.

В соответствии с конкретным вариантом осуществления изобретения, в котором устройство работает в противоточном режиме, устройство содержит первую высокотурбулентную смесительную ступень, имеющую первое отверстие для впуска первого вещества, находящегося в первом физическом состоянии, и второе отверстие для выпуска второго вещества, находящегося во втором физическом состоянии, и вторую высокотурбулентную смесительную ступень, имеющую первое отверстие для впуска вещества, находящегося в указанном втором физическом состоянии, и второе отверстие для выпуска вещества, находящегося в указанном первом физическом состоянии.

В соответствии с другим конкретным вариантом осуществления изобретения, в котором устройство работает в режиме однонаправленного потока, устройство содержит первую высокотурбулентную смесительную ступень, имеющую первое отверстие для впуска первого вещества, находящегося в первом физическом состоянии, и второе отверстие для впуска второго вещества, находящегося во втором физическом состоянии, и вторую высокотурбулентную смесительную ступень, имеющую первое отверстие для выпуска вещества, находящегося в указанном втором физическом состоянии, и второе отверстие для выпуска вещества, находящегося в указанном первом физическом состоянии.

Также в соответствии с изобретением указанные первое и второе физические состояния предпочтительно отличаются друг от друга и могут включать жидкое состояние, твердое состояние и газообразное состояние.

Предпочтительно указанные две высокотурбулентные смесительные ступени, имеющие указанные отверстия, расположены на противоположных концах последовательности из высокотурбулентных смесительных ступеней и высокосдвиговых и высококавитационных ступеней.

Кроме того, предпочтительно указанные две высокотурбулентные смесительные ступени, имеющие указанные отверстия, являются первой и последней ступенями, через которые проходят обрабатываемые в устройстве вещества. Следовательно, предпочтительно, чтобы, когда устройство работает в режиме однонаправленного потока, указанные две высокотурбулентные смесительные ступени, имеющие указанные отверстия, являлись первой и последней ступенями, через которые проходит первое из указанных веществ, и последней и первой ступенями, через которые проходит второе из указанных веществ, обрабатываемых в устройстве, соответственно, тогда как, когда устройство работает в противоточном режиме, указанные две высокотурбулентные смесительные ступени, имеющие указанные отверстия, являлись

первой и последней ступенями, через которые проходят оба вещества, обрабатываемые в устройстве.

В способе усиления контакта фаз и химических реакций в соответствии с изобретением предпочтительно используется вышеуказанное устройство, и он включает обработку многофазного потока в режиме однонаправленного потока или противотока по меньшей мере в одной первой высокотурбулентной смесительной ступени и по меньшей мере в одной второй высокосдвиговой и высококавитационной ступени, вызывая, таким образом, к повышению относительной скорости скольжения фаз, присутствующих в указанном многофазном потоке, проходящем через ступени.

Первое преимущество изобретения является результатом объединенного действия трех явлений, обуславливающих процессы переноса свойств в многофазном потоке. По сути устройство в соответствии с изобретением обеспечивает обработку многофазного потока по меньшей мере в одной первой высокотурбулентной смесительной ступени и по меньшей мере в одной второй высокосдвиговой и контролируемой высококавитационной ступени.

Всегда благодаря последовательному действию ступеней устройства на многофазный поток многоступенчатое устройство в соответствии с изобретением является исключительно эффективным для создания межфазной области и усиления смешения фаз.

В качестве примера, приводя поток газообразного O_3 (озона) в контакт с водой, получают значения объемного коэффициента переноса вещества (kLa) в диапазоне от 0,45 до 0,95 c^{-1} и, следовательно, происходит перенос 99 мас. % подаваемого озона в жидкую фазу.

В соответствии с конкретным вариантом осуществления изобретения в случае, когда предпочтительным является контакт противоточной фазы, например, как при операциях зачистки, экстракции, выщелачивания и т.д., фазы можно подавать в противоточном режиме, обеспечивая, таким образом, формирование числа равновесных ступеней, намного большего, чем число реальных ступеней.

Например, в случае устройства, выполненного в соответствии с изобретением и содержащего две турбулентные смесительные ступени, чередующиеся с двумя высокосдвиговыми и контролируруемыми высококавитационными ступенями, при подаче твердого растительного вещества в одном направлении и экстрагирующей жидкой фазы в противоточном режиме достигается производительность экстракции, равная производительности, достигаемой с помощью ряда из более чем 15 теоретических равновесных ступеней.

В соответствии с изобретением экстрагирующую жидкую фазу также можно подавать через боковые сопла, проходящие через стенки статора в высокотурбулентных смесительных ступенях, если предпочтительной является работа устройства в соответствии с изобретением в режиме поперечного потока.

Также в соответствии с изобретением газообразную фазу также можно подавать через боковые сопла, ведущие в смесительные камеры высокотурбулентных смесительных ступеней, если такая фаза является предпочтительной для достижения наилучших результатов, как это происходит, например, в случае "газовой экстракции", "газового смешивания твердого и жидкого вещества", "опосредованной газом работы", "газовой кавитации" и т.д.

Всегда в соответствии с изобретением газообразную или жидкую фазу, предназначенную для того, чтобы служить реагентом, подаваемым по мере необходимости в непрерывный поток, аксиально проходящий через устройство, также можно подавать через боковые сопла в случае применения в качестве реактора газ - жидкость или в качестве реактора газ - жидкость - твердое вещество.

Всегда в соответствии с изобретением газообразную или жидкую фазу для термического кондиционирования также можно подавать через боковые сопла, что обеспечивает преимущество при проведении однократной операции.

Устройство в соответствии с изобретением преимущественно обеспечивает возможность проведения химических реакций в реакционном объеме, характеризуемом

кластерами пузырьков с размерами пузырьков, могущими находиться в диапазоне от 0,05 до 5 мкм, находящихся в процессе непрерывного выделения (среднее время жизни пузырька в диапазоне от 0,1 до 2,5 мкс), при этом температура пузырьков во время схлопывания возрастает до 1000-2000°K без повышения средней температуры жидкости внутри реакционного объема, а давление пузырьков возрастает до 1000-2000 бар без повышения среднего давления внутри реакционного объема;

областями с однонаправленным потоком с очень высокой скоростью (узкая секция в результате нахождения параболических зубцов статора на параболические зубцы ротора), определяющей скорость столкновения для жидкости, содержащейся в полостях с контролируемой кавитацией ротора-статора, прилегающих к узким секциям, порядка от 100 до 750 м/с.

В данном изобретении предусмотрена возможность наличия зубцов статора и ротора с параболическим профилем с параболическим уравнением, как можно более близким к кривизне, которой характеризуются линии потока при достижении места сужения секции.

Преимущественно зубцы с параболическим профилем как можно больше приближаются к искривленному профилю, характерному для линий потока жидкости вблизи места сужения секции так, чтобы минимизировать диссипацию энергии (т.е. падение давления), связанную с "областью раздела" и "местным сужением потока".

Диссипация, связанная с образованием "области раздела" и с "местным сужением потока", являет-

ся диссипацией, которая практически не полезна в целях генерации поверхности и для повышения относительной скорости скольжения, и, следовательно, коэффициентов переноса вещества и теплоты. Наоборот, эта диссипация имеет отрицательное влияние, так как учитывается (нежелательное) повышение температуры обрабатываемой жидкости и, следовательно, общее потребление энергии при работе.

Параболический профиль должен иметь горизонтальную касательную в точке минимального зазора в месте перекрытия зубца статора и зубца ротора так, чтобы поток жидкости попадал в следующую камеру осаждения при очень высокой скорости в одном направлении, ортогональном радиальной плоскости той же камеры осаждения. Таким образом предотвращается распространение струйной силы в направлении вентилятора, обеспечивая преимущество однонаправленности, что увеличивает вероятность появления в случаях, зависящих от столкновений молекул, таких как химические реакции и перенос свойств (т.е. вещества и теплоты).

На практике в каждой камере осаждения, следующей за местом смыкания зубца статора и зубца ротора, наблюдается явление кавитации вследствие снижения давления из-за резкого уширения. Кавитация приводит к непрерывному созданию кластеров пузырьков, живущих около нескольких микросекунд и затем схлопывающихся с генерацией высоких температур/высокого давления (внутри отдельных пузырьков) и струй с очень высокими скоростями. Непрерывно создаваемые кавитационные струи непрерывно сталкиваются с набегающими струями, возникающими в областях с высоким напряжением сдвига, где перекрываются зубцы статора/ротора с параболическим профилем. Кавитация, напряжение сдвига и столкновение кавитационных струй и струй, возникающих вследствие смыкания зубцов, приводят к усилению контакта фаз и химических реакций.

Преимущественно, таким образом, устройство в соответствии с изобретением позволяет проводить химические реакции даже при низких температурах, при которых в традиционных системах никакой реакции бы не происходило. Кроме того, всегда благодаря устройству в соответствии с изобретением возможно повышать скорость реакции на один или два порядка за счет работы при температурах, при которых в случае традиционных систем только начинается прохождение химических реакций.

Основными факторами, позволяющими достигать такой результат, являются повышение температуры и давления внутри отдельных пузырьков в кластерах, создаваемых кавитацией в кавитационных областях внутри высокосдвиговых и контролируемых высококавитационных ступеней, и высокая скорость столкновения молекул вследствие столкновения жидкости, сильно ускоренной в узких секциях между зубцами статора/ротора в высокосдвиговой и контролируемой высококавитационной ступени, и микроструями с очень высокой скоростью, возникающими в результате схлопывания кавитационных пузырьков. Кроме того, однонаправленность областей с высокой скоростью потока является дополнительным фактором, приводящим к достижению вышеуказанных результатов.

Повышение скорости реакции зависит от того факта, что молекулы, сталкивающиеся с очень высокой скоростью (как правило, в диапазоне от около 100 до 750 м/с) в результате совместного действия микроструй, возникающих вследствие схлопывания кавитационных пузырьков, и ускорения однонаправленного потока в узких секциях с высоким напряжением сдвига между зубцами статора и ротора, имеют общую молекулярную энергию, получаемую добавлением кинетической компоненты $E(v)$ и термической компоненты $E(T)$, превышающую энергию активации E_a .

Это означает, что имеет место следующее отношение:

$$E(v) + E(T) \geq E_a$$

Представив две соударяющиеся молекулы с массами M_1 и M_2 , соответственно, можно определить, что

$$E(v) = M_1 v^2/2 + M_2 v^2/2.$$

Затем, предположив, что $M_1 = M_2 = M$ (что происходит, например, в реакциях растрескивания и диссоциации), получаем

$$M v^2 + E(T) \geq E_a,$$

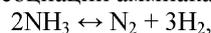
и, следовательно

$$v = [(E_a - E(T))/M]^{1/2}.$$

При работе при низких температурах $E(T)$ становится пренебрежимо малой и, следовательно

$$v = [E_a/M]^{1/2}.$$

Рассматривая, например, реакцию диссоциации аммиака:



которая является эндотермической реакцией, для которой требуется 46,4 кДж/моль, и характеризуется энергией активации $E_a = 190$ кДж/моль, можно увидеть, что для того, чтобы реакция происходила, достаточно заставить молекулы NH_3 ($M = 17,031$ кг/моль) сталкиваться со скоростью

$$V = [190,000/17,031]^{1/2} \approx 110 \text{ м/с}.$$

Совместное действие высоких значений сдвигового напряжения и кавитации с получаемыми в результате пиками T и P внутри пузырьков во время фазы схлопывания дополнительно делает устройство в соответствии с изобретением очень эффективным для операций микробной дезинфекции в жидкой фазе и для операций выделения ферментов и белков в конце биологических процессов.

Кавитационное число можно выразить как

$$\sigma = (p_r - p_v) / (1/2 \rho v^2),$$

где σ - кавитационное число;
 p_r - стандартное давление (Па);
 p_v - давление паров жидкости (Па);
 ρ - плотность жидкости (кг/м³);
 v - скорость жидкости (м/с).

Кавитация происходит, когда кавитационное число σ меньше или равно 1.

В соответствии с изобретением при работе при кавитационных числах в диапазоне от около 0,2 до 0,3 можно достигать выделения ферментов и белков более чем на 90%.

В целом, применение устройства в соответствии с изобретением к многофазной системе позволяет получать следующие основные преимущества:

(а) перенос массы или перенос теплоты с кинетикой, превышающей на два порядка кинетику традиционных систем благодаря большим межфазным областям и большим коэффициентам обмена;

(б) химические реакции с кинетикой, на один-два порядка большей по сравнению с традиционными системами, и при значительно меньших температурах по сравнению с традиционными системами благодаря большим межфазным областям и тому факту, что в соответствии с изобретением кинетическая энергия обеспечивает значительный вклад в реакционную энергию активации за счет отбрасывания роли абсолютного протагониста термической компоненте.

Описание фигур

Некоторые предпочтительные варианты осуществления изобретения будут поданы посредством неограничивающего примера со ссылкой на прилагающиеся фигуры, на которых

на фиг. 1 представлен частичный перспективный вид в разрезе предпочтительного варианта осуществления устройства в соответствии с изобретением;

на фиг. 2А - вид в разрезе ступеней устройства, проиллюстрированного на фиг. 1;

на фиг. 2В - вид в поперечном разрезе ступеней устройства, проиллюстрированного на фиг. 1, в котором присутствуют сопла;

на фиг. 3А - схематический вид зубцов ротора и статора высокосдвиговой и высококавитационной ступени устройства, проиллюстрированного на фиг. 1;

на фиг. 3В - схематический вид сверху ротора;

на фиг. 3С - увеличенное изображение зубцов, проиллюстрированных на фиг. 3В;

на фиг. 4А - частичный перспективный вид в разрезе сзади устройства в соответствии с изобретением с тремя высокосдвиговыми и высококавитационными ступенями;

на фиг. 4В - частичный вид в разрезе, спереди и сверху, устройства, проиллюстрированного на фиг. 4А;

на фиг. 4С - частичный перспективный вид в разрезе спереди устройства, проиллюстрированного на фиг. 4А.

На всех фигурах одинаковые позиционные номера используются для обозначения одинаковых или функционально эквивалентных компонентов.

Описание некоторых предпочтительных вариантов осуществления изобретения

На фиг. 1-3 устройство в соответствии с изобретением было в целом обозначено позиционным номером 11. Проиллюстрированное устройство 11 выполнено в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения и содержит, главным образом, некоторое количество последовательно расположенных ступеней для усиления контакта фаз и химических реакций. Конкретнее, устройство 11 содержит высокотурбулентные смесительные ступени 13, чередующиеся с высокосдвиговыми и высококавитационными ступенями 15. Как станет более очевидно из следующего описания, ступени 13, 15 устройства 11 выполнены с возможностью воздействия на многофазный поток, проходящий через указанные ступени 13, 15, с повышением относительной скорости скольжения присутствующих фаз.

В проиллюстрированном варианте осуществления три высокотурбулентные смесительные ступени 13 предоставлены в целом, и две высокосдвиговые и высококавитационные ступени предоставлены в целом. Возможны другие варианты осуществления, включающие по меньшей мере одну высокотурбулентную смесительную ступень 13 и по меньшей мере одну высокосдвиговую и высококавитационную ступень 15.

Всегда со ссылкой на проиллюстрированный вариант осуществления ступени 13 содержат ротор 17 с возможностью вращения в смесительной камере 19, окруженной статором 21. Кроме того, в соответствии с изобретением ротор 17 содержит по меньшей мере один радиальный штифт 23, составляющий одно целое с указанным ротором 17, вращающимся в смесительной камере 19. Указанные штифты 23 радиально расходятся от оси вращения вала 39 ротора 17, предпочтительно на такую длину, чтобы диаметр внешней окружности, описываемой штифтом 23, находился в диапазоне от $0,3 \times D$ до $0,9 \times D$, где D - диаметр смесительной камеры 19. В проиллюстрированном варианте осуществления в каждой смесительной ступени 13 присутствуют четыре штифта 23, но можно рассматривать варианты осуществления с любым числом штифтов. Кроме того, штифты 23, принадлежащие одной смесительной ступени 13, могут быть

расположены в одной плоскости, перпендикулярной оси вращения ротора 17, или в параллельных плоскостях, как в проиллюстрированном варианте осуществления. Кроме того, в проиллюстрированном варианте осуществления смесительные ступени 13 являются, по существу, идентичными и имеют одинаковое число штифтов 23. Однако в соответствии с изобретением можно рассматривать варианты осуществления со смесительными ступенями 13, отличными друг от друга, в которых, к тому же число штифтов 23 отличается для разных ступеней. В проиллюстрированном варианте осуществления штифты 23 имеют круглое поперечное сечение, по существу, постоянное вдоль продольной оси штифта, но возможны штифты с формой поперечного сечения, отличной от круглой, т.е. овальной или другой формы, или штифты с переменным поперечным сечением вдоль продольной оси. Предпочтительно, в соответствии с изобретением смесительная ступень 13 выполнена с возможностью воздействия на многофазный поток режима высокой турбулентности с числом Рейнольдса (Re) > 500000.

Ступени 15 содержат ротор 25, имеющий радиальные зубцы 27 и находящийся в кавитационной камере 29, окруженной статором 31, имеющим радиальные зубцы 33. Предпочтительно число радиальных зубцов 27 в роторе 25 и радиальных зубцов 33 в статоре 31 является одинаковым. Кроме того, в соответствии с изобретением обращенные друг к другу поверхности 35, 37 зубцов 27, 33 ротора 25 и статора 31, соответственно, имеют параболический профиль в направлении по окружности.

Как более понятно из фиг. 3В и 3С, зубцы 27 ротора имеют параболический профиль 27а в направлении по окружности. В соответствии с изобретением профиль 27а зубца 27 лежит вдоль изгиба параболы P_r , вершина которой V_r расположена на задней кромке 27b зубца 27, по отношению к направлению вращения ротора 25 (стрелка F1), и вдоль радиуса R_r , соединяющего указанную кромку 27b с центром C_r ротора 25. Фокус параболы P_r также лежит на указанном радиусе R_r .

Соответственно, как, в частности, понятно из фиг. 3В и 3С, зубцы 33 статора имеют параболический профиль 33а, который предпочтительно является идентичным профилю зубцов 27 и зеркально отображает его. Точнее, в соответствии с изобретением профиль 33а зубца 33 лежит вдоль изгиба параболы P_s , вершина которой V_s расположена на задней кромке 33b зубца 33 статора, по отношению к направлению вращения ротора 25, вдоль радиуса R_s , соединяющего указанную кромку 33b с центром C_s статора, совпадающим с центром C_r ротора 25. Фокус параболы P_s также лежит на указанном радиусе R_s .

В предпочтительном варианте осуществления изобретения уравнение параболы профиля зубцов ротора и/или статора является таким: $Y = 0,0062974 X^2$.

Зазор 51 между зубцами 27 ротора и зубцами 33 статора является минимальным на кромках 27b, 33b зубцов 27, 33, когда указанные кромки, по существу, выровнены вдоль соответствующих радиусов R_r , R_s ротора и статора.

В соответствии с изобретением ротор 17 и ротор 25 являются одним целым с общим вращающимся валом 39. Предпочтительно вал 39 выполнен с возможностью вращения электрическим двигателем 41, стабильно установленным на опорной раме 43.

В проиллюстрированном варианте осуществления смесительные ступени 13 имеют впускное отверстие 45а и выпускное отверстие 45b, которые оба открываются в соответствующую смесительную камеру 19. Отверстия 45а и 45b связаны с патрубками 47а, 47b для переноса вещества или смеси веществ в камеру 19 или из нее.

Кроме того, смесительные ступени 13 могут быть оборудованы впрыскивающими соплами 49а, 49b, выполненными с возможностью впрыскивания вещества или смеси веществ в смесительную камеру 19. Каждая смесительная ступень 13 может быть оборудована по меньшей мере одним впрыскивающим соплом 49а, 49b и, кроме того, в одной или более смесительных ступенях 13 могут отсутствовать сопла. В проиллюстрированном примере предполагается, что две последовательные ступени 13 оборудованы соответствующими соплами 49а, 49b.

Неограничивающий типовой вариант осуществления устройства 11 в соответствии с изобретением имеет

диаметр зубчатых роторов 25 в диапазоне от около 50 до 500 мм и предпочтительно от около 100 до 300 мм;

минимальный зазор между зубцами 27 ротора и зубцами 33 статора в диапазоне от около 0,2 до 5,0 мм и предпочтительно от около 0,5 до 2,5 мм;

осевую длину зубчатых роторов 25 в диапазоне, составляющем от около 0,05 до 2,5 диаметра ротора 25, и предпочтительно в диапазоне, составляющем от около 0,1 до 1,0 диаметра ротора 25;

внутренний диаметр смесительных камер 19 и кавитационных камер 29 в диапазоне от около 50 до 500 мм и предпочтительно в диапазоне от около 100 до 300 мм;

осевую длину высокотурбулентных смесительных ступеней 13 в диапазоне, составляющем от около 0,1 до 2,5 внутреннего диаметра соответствующей смесительной камеры 19, и предпочтительно в диапазоне, составляющем от около 0,25 до 1,5 внутреннего диаметра камеры 19;

скорость вращения в диапазоне от 500 до 5000 об/мин, предпочтительно от 1000 до 3000 об/мин.

На фиг. 4А, 4В и 4С проиллюстрировано устройство 111 в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, содержащее четыре смесительные ступени 13, чередующиеся с тремя высокосдвиговыми и высококавитационными ступенями 15. В проиллюстрированном варианте осуществ-

вления устройство 111 выполнено для работы в противоточном режиме. Стрелкой F2 на фиг. 4С обозначено преобладающее направление потока жидкой фазы в ступенях 13, 15, а стрелкой F3 обозначено преобладающее направление потока твердой фазы.

Устройство 111 оборудовано приемным бункером 161 для свежего твердого вещества. Проиллюстрированная конфигурация включает наличие, ниже бункера 161, приводимого в действие двигателем отжимного устройства 163, выполненного с возможностью переноса материала твердого вещества, внесенного в бункер 161, в первую смесительную ступень 13, расположенную проксимально относительно двигателя 41. Отжимное устройство 163 может содержать, например, конический винт или конический шнек, приводимый в действие электрическим двигателем 163а. Отжимное устройство 163 сообщается с проксимальной первой смесительной ступенью 13, через отверстие 165, имеющееся в статоре 21. Кроме того, в проксимальной первой смесительной ступени 13 имеется второе отверстие 167 для выпуска жидкой фазы из проксимальной смесительной ступени 13. Указанное второе отверстие 167 предпочтительно оборудовано решеткой 167а для предотвращения выведения твердой фазы вместе с жидкой фазой из проксимальной смесительной ступени 13 через отверстие 167. Отверстие 167 сообщается с патрубком 169 для выведения жидкой фазы, сообщаемым, например, со сборным баком, расположенным ниже указанного патрубка 169.

В проиллюстрированном предпочтительном, но не исключительном варианте осуществления впускное отверстие 165 для впуска твердой фазы и выпускное отверстие 167 для выпуска жидкой фазы расположены диаметрально противоположно и в верхней и нижней части устройства 111, соответственно, когда последнее находится в рабочей конфигурации.

Всегда со ссылкой на проиллюстрированный вариант осуществления проксимальная смесительная ступень 13 дополнительно содержит вращаемую лопасть 171, жестко соединенную с ротором 17 посредством пары параллельных планок 171а, 171b, радиально расходящихся от ротора 17. Задачей лопасти 171 является предотвращение закупорки решетки 167а, разделяющей ступень 13 и выводящий патрубок 169, вследствие накопления твердого материала, что предотвращало бы выведение жидкой фазы через патрубок 169. Лопасть 171 помогает сохранять указанную решетку 167а свободной, главным образом благодаря круговому вихревому движению, сообщаемому смешанному жидкому-твердому веществу, присутствующему в проксимальной ступени 13.

В соответствии с изобретением в проиллюстрированном варианте осуществления, в котором устройство 111 выполнено с возможностью работы в противоточном режиме, количество вещества в жидкой фазе, выводимое из проксимальной смесительной ступени 13, преобладает в сравнении с количеством вещества в твердой фазе, выводимым через решетку, разделяющую выводящий патрубок от той же проксимальной смесительной ступени 13.

В проиллюстрированной конфигурации смесительная ступень 13, дистальная относительно электрического двигателя 41, содержит первое отверстие 173 для впуска жидкой фазы и второе отверстие 175 для выведения твердой фазы. В проиллюстрированном варианте осуществления отверстия 173 и 175 расположены диаметрально противоположно и в верхней и нижней части устройства 111, соответственно, когда последнее находится в рабочей конфигурации.

Патрубок 177 для подачи жидкой фазы, например воды, находится выше отверстия 173. Например, патрубок 177 может быть соединен, выше отверстия 173, с контуром, доставляющим жидкое вещество, поступающее из подходящего бака. Всегда со ссылкой на проиллюстрированный предпочтительный, но не исключительный вариант осуществления винтовой пресс 179, выполненный с возможностью разделения твердой и жидкой фаз, содержащихся в веществе, выводимом из дистальной смесительной ступени 13, находится ниже отверстия 175. Винтовой пресс 179 имеет первое отверстие 179а для выведения отработанной твердой фазы или твердого вещества и второе отверстие 179b для выпуска жидкой фазы. В соответствии с изобретением в проиллюстрированном варианте осуществления, в котором устройство 111 выполнено с возможностью работы в противоточном режиме, количество вещества в твердой фазе, выводимое из дистальной смесительной ступени 13, преобладает в сравнении с количеством вещества в жидкой фазе, выводимым из той же дистальной смесительной ступени 13.

Предпочтительно устройство 111 оборудовано рециркуляционным насосом 181 для восстановления жидкой фазы, выводимой из винтового пресса 179 через отверстие 179b. Указанный насос 181 соединен с верхней стороны с винтовым прессом 179 посредством первого патрубка 183а для переноса жидкой фазы из винтового пресса 179 в насос 181, и, с нижней стороны, посредством трубного тройника 177а, с подающим патрубком 177 посредством второго патрубка 183b для переноса жидкой фазы в направлении дистальной смесительной ступени 13.

Далее будут приведены некоторые примеры применения устройства 11, выполненного в соответствии с изобретением.

Пример 1.

Устройство в соответствии с изобретением использовали для предварительной обработки соломы в способе получения сахаров из остаточной биомассы при низких затратах.

В последнее десятилетие наблюдался значительный интерес к процессам преобразования лигноцеллюлозной биомассы в биотопливе и промежуточных продуктах переработки с целью идентификации

практической альтернативы для замещения горючему топливу. Концепция биотоплива второго поколения и биопереработки второго поколения предусматривает старт с исходного вещества, принадлежащего к остаточной биомассе, и получение из него потока сахаров (C_5 и C_6 , т.е. с 5 или 6 атомами углерода). Однако структурная сложность клеточных стенок растений делает ту же биомассу очень стойкой к химическому или биологическому воздействию. Существуют разные процессы предварительной обработки (с разными химическим подходами, при разных температурах и уровнях давления) для снижения устойчивости растений к химическому или биологическому воздействию. Среди таких процессов в настоящее время предварительная обработка в разбавленном кислом растворе признана наиболее эффективным процессом для получения биомассы, доступной для ферментативного воздействия ферментами типа целлюлазы. В этом контексте для заданной жесткости рабочих условий тип реактора или устройства, в котором проводится предварительная обработка, имеет значительное влияние на свойства предварительно обрабатываемого материала и, следовательно, на производительность последующего ферментативного гидролиза. Это связано с особенностями реактора или устройства в терминах способности создания межфазной области и повышения общего размера и общего объема пор и, следовательно, в терминах способности разрушения клеточных стенок в биомассе.

"Паровой взрыв" является известным типом гидротермической обработки, делающей разделение трех фракций, образующих обычные растительные субстраты (гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина), более легким и менее зависящим от окружающей среды. Этот способ состоит в применении насыщенного пара под высоким давлением для быстрого нагрева биомассы в непериодическом или периодическом реакторе. Материал выдерживают при необходимой температуре (180-230°C) в течение короткого периода (1-10 мин), во время которого происходит гидролиз гемицеллюлозы и она становится растворимой. В конце этого периода давление быстро приводят обратно к атмосферному давлению, получая, таким образом, взрывную декомпрессию, дополнительно растирая биомассу.

Результаты, достигаемые с помощью устройства в соответствии с изобретением и устройства для "парового взрыва", сравнивали в случае предварительной обработки в разбавленном кислом растворе пшеничной соломы, имеющей следующие характеристики, мас.%):

Влагосодержание	10%
Целлюлоза	38,2%
Гемицеллюлоза	24,1%
Лигнин	7,3%
Белки	3,4%
Зольные вещества	7%

Следующие рабочие условия были приняты для устройства согласно предшествующему уровню техники: отношение Ж/Т = 10; температура = 150°C; время = 6 мин; концентрация кислоты = 2 мас.% H_2SO_4 , Ж/Т - отношение скорости потока жидкой фазы к скорости потока твердой фазы.

Те же рабочие условия были приняты для устройства в соответствии с изобретением, за исключением того, что температура составляла 30°C. Применяемое устройство дополнительно имело следующие характеристики:

число турбулентных смесительных камер: 2;

число ступеней ротор-статор: 2 (элементы ротора и статора имеют зубцы с параболическим профилем);

внутренний диаметр статоров: 195 мм;

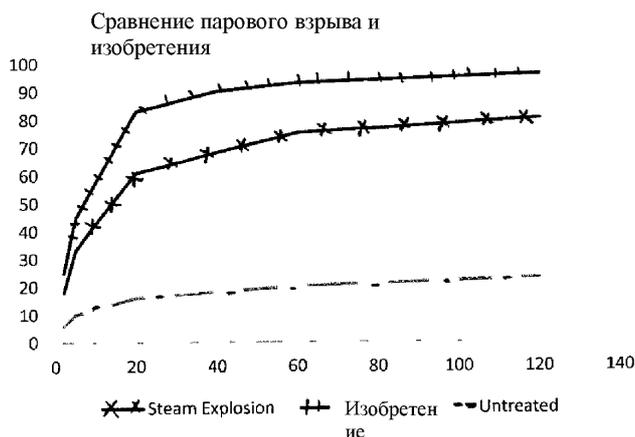
зазор ротор-статор: 1 мм (1-я ступень) и 0,75 мм (2-я ступень);

скорость вращения: 2100 об/мин.

После этого образцы предварительно обработанной биомассы подвергали способу ферментативного расщепления с применением комплекса ферментов типа целлюлазы (в концентрации 18 мг фермента GC 220, производимого Genenco/Danisco, на грамм глюканцеллюлозы, при pH 5 и в контейнере с перемешиванием при 120 об/с) и строили диаграмму преобразования целлюлозного субстрата в зависимости от времени.

Преобразование целлюлозы (мас.%)

Время инкубации	Паровой взрыв	Изобретение	Необработанный
2	18	25	6
5	33	45	10
10	43	58	12
20	61	83	16
40	68	90	18
60	75	93	20
120	80	96	23



Пример 2.

Во втором примере применения устройство в соответствии с изобретением использовали для обработки, состоящей в бактериальной инактивации сырого молока с высокой степенью заражения. Применяемое устройство имело следующие характеристики (нумерация смесительных камер сделана в направлении перемещения подлежащей обработке фазы):

число турбулентных смесительных камер: 2;

число ступеней ротор-статор: 2 (элементы ротора и статора имеют зубцы с параболическим профилем);

диаметр смесительных камер: 206 мм (D);

осевая длина смесительных камер: 70 мм (т.е. $0,29 \times D$);

штифты первой смесительной камеры: 4 штифта, расположенных в параллельных плоскостях так, чтобы образовывать спираль с прямой тягой при вращении вала. Штифты с радиальным размером 59,75 мм, т.е. таким размером, чтобы окружность, описываемая штифтами во время вращения, составляла $0,58 \times D$;

штифты второй смесительной камеры: 6 штифтов, расположенных в параллельных плоскостях так, чтобы образовывать спираль с прямой тягой при вращении вала. Штифты с радиальным размером 59,75 мм, т.е. таким размером, чтобы окружность, описываемая штифтами во время вращения, составляла $0,58 \times D$;

Внутренний диаметр статоров: 195 мм;

зазор ротор-статор (т.е. минимальный промежуток ротор-статор): 1 мм (1-я ступень) и 0,75 мм (2-я ступень);

осевая длина роторов и статоров: 40 мм;

скорость вращения: 1500 об/мин;

двигательный привод: трехфазный электрический двигатель с потребляемой мощностью 15 кВт.

Образец сырого коровьего молока с высокой степенью бактериального заражения имел следующие характеристики:

Жиры	6,6% об./об.
Белки	4,0% масс./масс.
Лактоза	3,7% масс./масс.
Общее содержание	17,25% масс./масс.
pH	6,36
Зольные вещества	0,83% масс./масс.

и следующее содержание микроорганизмов:

Общее число мезофильных аэробных бактерий (ОЧ)	6,35 log КОЕ/мл
Бактериальные эндоспores (БЭ)	2,62 log КОЕ/мл
Lactobacilli (LAB)	5,04 log КОЕ/мл
Coliforms (CF)	3,36 log КОЕ/мл
Escherichia Coli (EC)	1,89 log КОЕ/мл
Staphylococcus Aureus (SA)	2,34 log КОЕ/мл

Установочный или стартовый этап способа, перед устройством, включал бак для подлежащей обработке жидкой фазы (в данном конкретном случае - зараженного молока с вышеуказанными характеристиками), центрифужный насос для подачи молока в устройство, на подающей линии которого был подсоединен клапан для корректировки скорости потока, и измеритель скорости потока или поплавковый расходомер (типа Asametro®). Выпускная линия для обработанного молока находилась за устройством и была оборудована клапаном для отбора проб, за которым находился трехходовой клапан для направления обработанного молока в бак для сбора молока или в линию рециркуляции (в случае, если обработка

включала несколько проходов через устройство). Пластинчатый теплообменник (в который подавалась охлажденная вода в противоточном режиме, поскольку учитывается охлаждающая жидкость: впускная температура 2°C и выпускная температура 7°C) был расположен на линии рециркуляции и был выполнен с возможностью возвращения молока в конце каждого прохода до температуры 10°C, установленной для точки подачи в устройство. Осуществляли три типа обработки:

(а) один проход через устройство (время нахождения в устройстве: 15 с; начальная температура обработки: 10°C; конечная температура обработки: 15°C);

(б) пять проходов через устройство с промежуточным охлаждением между последовательными проходами (время нахождения в устройстве: 15 с/проход, 75 с всего; начальная температура обработки: 10°C; конечная температура обработки: 15°C);

(с) один проход через устройство с впрыскиванием CO₂ в первую смесительную камеру (время нахождения в устройстве: 15 с; начальная температура обработки: 10°C; конечная температура обработки: 15°C; доза CO₂: 20 г/л).

Во всех описанных типах обработки скорость потока жидкой фазы (т.е. зараженного молока), подаваемой в устройство, составляла 15 л/мин.

Определяли бактериальное содержание в конце обработки (значения выражены в log КОЕ/мл):

	исходное	После (а)	После (б)	После (с)
Общее число мезофильных аэробных	6,35	3,12	1,91	2,21
Бактериальные эндоспores (БЭ)	2,62	1,95	0,79	1,17
Lactobacilli (LAB)	5,04	2,47	1,02	1,56
Coliforms (CF)	3,36	1,23	0,51	0,65
Escherichia Coli (EC)	1,89	0,32	≈ 0	0,25
Staphylococcus Aureus (SA)	2,34	2,32	1,44	0,66

Таким образом, была подтверждена эффективность устройства (с и без помощи впрыскивания CO₂) при обработке, состоящей в бактериальной инактивации.

Пример 3.

В этом примере устройство согласно изобретению применяли в качестве экстрактора.

Применяемое устройство имело следующие характеристики:

число турбулентных смесительных камер: 3;

число ступеней ротор-статор: 2 (элементы ротора и статора имеют зубцы с параболическим профилем);

турбулентные смесительные камеры чередовались с высокосдвиговыми и высококавитационными ступенями;

внутренний диаметр статоров: 195 мм;

зазор ротор-статор 1 мм (1-я ступень) и 0,75 мм (2-я ступень);

скорость вращения: 2000 об/мин.

Проводили экстракцию каротенов (главным образом, ликопена) из кожуры томатов с помощью оливкового масла первого отжима.

Применяемое оливковое масло первого отжима (ОМПО) имело следующие характеристики:

Плотность (20°C)	910 кг/м ³
Вязкость (20°C)	82 сП
Содержание мононенасыщенных	71,7% масс./масс.
Содержание полиненасыщенных	15,5% масс./масс.
Содержание свободных кислот	0,221%
Пероксидное число	3,905 мэкв O ₂ /кг
Общее содержание каротенов	3 мг/кг (из них ликопена — 0 мг/кг)

Обрабатываемая кожура томатов имела следующие характеристики:

Морфология	хлопья
Размер	1–3 мм
Содержание влаги	10% масс./масс.
Содержание	1140 мг/кг

Осуществляли два типа обработки:

(а) один проход через устройство (время нахождения в устройстве: 5 с; начальная температура обработки: 25°C; конечная температура обработки: 28°C) с однонаправленной подачей кожуры томатов и ОМПО в соотношении 1:5 мас./мас.;

(б) один проход через устройство (время нахождения в устройстве: 5 с; начальная температура обработки: 25°C; конечная температура обработки: 28°C) с противоточной подачей кожуры томатов и ОМПО в соотношении 1:5 мас./мас.

Общее содержание каротенов и ликопенов определяли в обогащенном ОМПО, полученном в конце

экстракционной обработки, а значения выражали в \log (мг/кг):

	исходное	После (а)	После (b)
Общее содержание	3	94	173
Ликопены	0	73	148

Была подтверждена эффективность устройства в соответствии с изобретением в качестве экстрактора и, в первую очередь, возможность получения производительности многоступенчатого экстрактора, если твердая фаза и экстрагирующая жидкая фаза подаются в противоточном режиме.

Пример 4.

В этом примере устройство согласно изобретению применяли в качестве экстрактора.

Применяемое устройство имело следующие характеристики:

число турбулентных смесительных камер: 4;

число ступеней ротор-статор: 3 (элементы ротора и статора имеют зубцы с параболическим профилем);

турбулентные смесительные камеры чередовались с высокосдвиговыми и высококавитационными ступенями;

диаметр смесительных камер: 206 мм;

осевая длина смесительных камер: 70 мм;

штифты 1-й смесительной камеры: 6 штифтов, расположенных в параллельных плоскостях так, чтобы образовывать спираль с прямой тягой при вращении вала. Штифты с радиальным размером 75 мм, т.е. таким размером, чтобы окружность, описываемая штифтами во время вращения, составляла $0,73 \times D$, где D - диаметр смесительных камер;

штифты 2-й смесительной камеры: 6 штифтов, расположенных в параллельных плоскостях так, чтобы образовывать спираль с прямой тягой при вращении вала. Штифты с радиальным размером 75 мм, т.е. таким размером, чтобы окружность, описываемая штифтами во время вращения, составляла $0,73 \times D$;

штифты 3-й смесительной камеры: 6 штифтов, расположенных в параллельных плоскостях так, чтобы образовывать спираль с прямой тягой при вращении вала. Штифты с радиальным размером 75 мм, т.е. таким размером, чтобы окружность, описываемая штифтами во время вращения, составляла $0,73 \times D$;

штифты 4-й смесительной камеры: 4 штифта, расположенных в параллельных плоскостях так, чтобы образовывать спираль с прямой тягой при вращении вала. Штифты с радиальным размером 59,75 мм, т.е. таким размером, чтобы окружность, описываемая штифтами во время вращения, составляла $0,58 \times D$;

внутренний диаметр статоров: 195 мм;

минимальный зазор ротор-статор: 2,5 мм (1-я ступень), 1,25 мм (2-я ступень) и 0,75 мм (3-я ступень);

осевая длина роторов и статоров: 35 мм;

скорость вращения: 2250 об/мин;

двигательный привод: трехфазный электрический двигатель с потребляемой мощностью 22 кВт.

Устройство работало в режиме однонаправленного потока и в противоточном режиме.

Режим однонаправленного потока: подача твердой фазы в 1-ю смесительную камеру с помощью шнекового раздатчика и также подача жидкой фазы в 1-ю смесительную камеру с помощью перистальтического поршневого насоса с постоянной во времени скоростью потока; экстракция конечной суспензии из последней смесительной камеры (т.е. 4-й смесительной камеры) и затем ее разделение на жидкую и твердую фазы посредством сцеживания с последующим финальным прессованием. После этого для жидкой фазы проводили центрифугирование на дисковой центрифуге и фильтрацию через мешочный фильтр из полиэстера со степенью абсолютного удержания 50 мкм, а затем проводили дегидратацию экстрагированной жидкой фазы с помощью вакуумного испарителя "роторного" типа с последующим применением вакуумной сушильной камеры, посредством чего получали сухой экстракт в порошковой форме.

Противоточный режим: подача твердой фазы в 1-ю смесительную камеру с помощью шнекового раздатчика и подача экстрагирующей жидкой фазы в 4-ю смесительную камеру с помощью перистальтического поршневого насоса с постоянной во времени скоростью потока; экстракция отработанной твердой фазы из 4-й смесительной камеры с помощью шнекового экстрактора-отжимного устройства с рециркуляцией жидкой фазы, отжатой в 4-й смесительной камере, и экстракция жидкой фазы, экстрагированной из 1-й смесительной камеры через трубку с установленной сетчатой решеткой с размером ячейки $0,5 \times 0,5$ мм, выполненной с возможностью позволять проходить жидкой фазе и удерживать твердую фазу, при этом указанную решетку поддерживали чистой посредством турбулентного потока жидкой фазы, приводимого в движение лопастью, встроенной в машинный вал, причем окружность, описываемая лопастью, имела диаметр $0,9 \times D$. Экстрагированную жидкую фазу центрифугировали на дисковой центрифуге, фильтровали через мешочный фильтр из полиэстера со степенью абсолютного удержания 50 мкм и затем подвергали дегидратации с помощью вакуумного испарителя "роторного" типа с последующим применением вакуумной сушильной камеры, посредством чего получали сухой экстракт в порошковой форме.

Проводили экстракцию полифенолов (главным образом, олеуропеина) из листьев оливкового дерева (твердая фаза), используя воду в качестве экстрагирующей жидкой фазы.

Вода, подаваемая в экстрактор TURBEX, имела следующие характеристики:

pH	7,7
Твердый остаток при 180°C	143 мг/л
Жесткость	21 °F
Проводимость	362 микросименса/см при
Температура	25°C

Листья оливкового дерева, подаваемые в качестве твердой фазы, имели следующие характеристики:

Морфология	хлопья
Размер	1–2 мм
Содержание влаги	10% масс./масс.
Содержание олеуропеина	76 г/кг
Содержание экстрагируемых водой веществ, отличных от	512 г/кг
Температура	5°C

Рабочие условия для двух типов обработки были следующими.

Режим однонаправленного потока: один проход через устройство (время нахождения в устройстве: 36 с; начальная температура обработки: 25°C; конечная температура обработки: 30°C), с однонаправленной подачей листьев оливкового дерева и воды в соотношении 1:7 мас./мас. [скорость потока жидкой фазы (воды) 700 кг/ч - скорость потока твердой фазы (листьев оливкового дерева) 100 кг/ч].

Противоточный режим: один проход через устройство (время нахождения в устройстве: 36 с; начальная температура обработки: 25°C; конечная температура обработки: 30°C), с противоточной подачей листьев оливкового дерева и воды в соотношении 1:7 мас./мас. [скорость потока жидкой фазы (воды) 700 кг/ч - скорость потока твердой фазы (листьев оливкового дерева) 100 кг/ч].

Полученный твердый экстракт взвешивали, содержание олеуропеина в твердом экстракте анализировали методом ВЭЖХ (высокоэффективной жидкостной хроматографии) и рассчитывали выход экстракции олеуропеина.

Результаты обработки в режиме однонаправленного потока: общее количество полученного твердого экстракта: 305 г/кг, из которого

содержание олеуропеина: 16,7% мас./мас. (соответствует 50,9 г);

содержание других подлежащих экстракции веществ: 83,3% мас./мас. (соответствует 254,1 г);

выход экстракции олеуропеина: $50,9/76 = 67\%$ мас./мас.;

выход экстракции других подлежащих экстракции веществ: $254,1/512 = 49,6\%$ мас./мас.

Результаты обработки в противоточном режиме: общее количество полученного твердого экстракта: 375 г/кг, из которого

содержание олеуропеина: 20,05% мас./мас. (соответствует 75,2 г);

содержание других подлежащих экстракции веществ: 79,95% мас./мас. (соответствует 299,8 г);

выход экстракции олеуропеина: $75,2/76 = 98,9\%$ мас./мас.;

выход экстракции других подлежащих экстракции веществ: $299,8/512 = 58,6\%$ мас./мас.

Полученные с описанным устройством результаты в этом четвертом типовом варианте осуществления изобретения подтверждают эффективность устройства в качестве экстрактора и, в первую очередь, возможность получения производительности многоступенчатого экстрактора, если твердая фаза и экстрагирующая жидкая фаза подаются в противоточном режиме.

Промышленная применимость

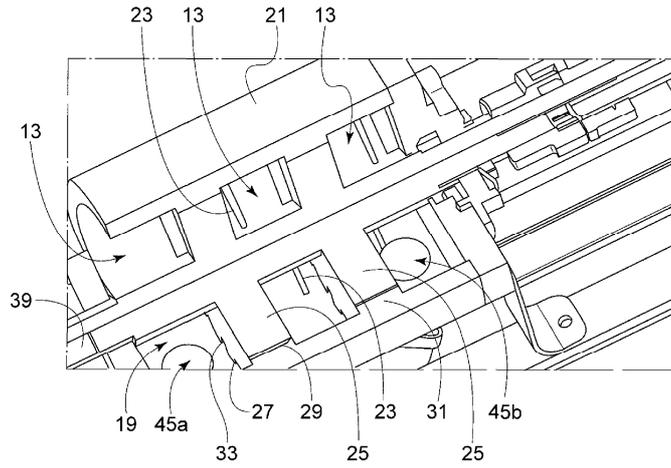
Устройство в соответствии с изобретением имеет обеспечивающие некоторые преимущества применения в нескольких промышленных областях, например в качестве экстрактора, смесителя, гомогенизатора, реактора, устройства для предварительной обработки биомассы для биопереработки и биотопливных установок и т.д.

Это устройство можно использовать, например, в качестве устройства для зачистки и реактора в области обработки первичных и вторичных вод с целью очистки по NH_3 и повышения производительности передовых методик окисления для очистки по ХПК. Кроме того, устройство в соответствии с изобретением можно использовать в качестве реактора для окисления параксилена до терефталевой кислоты и в качестве реактора для полимеризации полиэстера, делая возможным достижение реакционной энергии активации, главным образом или исключительно, за счет кинетической компоненты, и, соответственно, проведение реакций при меньших температурах, чем в традиционной практике, помимо достижения сильного снижения времени реакций благодаря повышению генерации межфазной области и коэффициентов переноса свойств с соответствующей экономией инвестиционных и рабочих затрат.

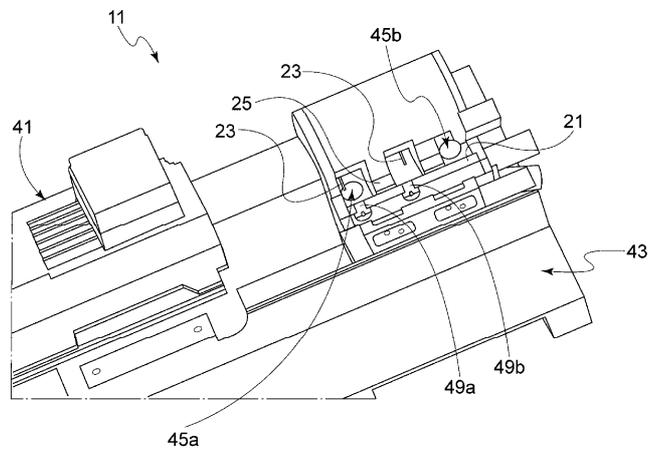
К описанному и проиллюстрированному изобретению можно применить несколько альтернативных вариаций и модификаций, имеющих такие же принципы, что и изобретение.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

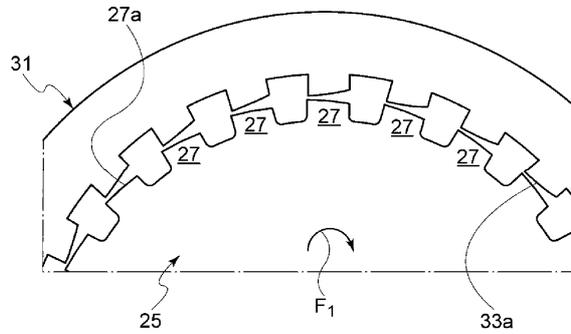
1. Устройство (11) для усиления контакта фаз и химических реакций, содержащее по меньшей мере одну первую высокотурбулентную смесительную ступень (13); по меньшей мере одну вторую высокосдвиговую и высококавитационную ступень (15); указанные ступени (13, 15) выполнены с возможностью вызывать повышение относительной скорости скольжения фаз, присутствующих в многофазном потоке, проходящем через указанные ступени (13, 15), причем указанная первая высокотурбулентная смесительная ступень (13) содержит ротор (17) с возможностью вращения в смесительной камере (19), окруженной статором (21), и при этом ротор (17) содержит по меньшей мере один радиальный штифт (23), являющийся одним целым с указанным ротором (17), причем указанный по меньшей мере один радиальный штифт (23) радиально проходит от оси вращения вала (39) ротора (17) на такую длину, чтобы диаметр внешней окружности, описываемой штифтом (23), находился в диапазоне от $0,3 \times D$ до $0,9 \times D$, где D - диаметр смесительной камеры (19), причем указанная по меньшей мере одна первая смесительная ступень (13) выполнена с возможностью подвергать многофазный поток воздействию высокотурбулентного режима с $Re > 500000$, а указанная по меньшей мере одна вторая высокосдвиговая и высококавитационная ступень (15) выполнена с возможностью подвергать многофазный поток воздействию кавитационного режима, характеризуемого кавитационным числом $\sigma < 1$, причем указанная по меньшей мере одна вторая ступень (15) содержит ротор (25), имеющий радиальные зубцы (27) и находящийся в кавитационной камере (29), окруженной статором (31), имеющим радиальные зубцы (33), причем обращенные друг к другу поверхности (35, 37) зубцов (27, 33) ротора (25) и статора (31) имеют параболический профиль, причем зубцы (27, 33) ротора (25) и статора (31) имеют параболический профиль (27а, 33а) в направлении по окружности, и при этом параболический профиль указанных зубцов (27, 33) лежит вдоль изгиба параболы (Pr, Ps), вершина которой (Vr, Vs) расположена на задней кромке (27b, 33b) зубца (27, 33), по отношению к направлению вращения (F1) ротора (25), и вдоль радиуса (Rr), соединяющего указанную кромку (27b, 33b) с центром (Cr) ротора (25) или статора (27), соответственно, а фокус параболы (Pr, Ps) также расположен на указанном радиусе (Rr).
2. Устройство по п.1, содержащее некоторое количество указанных высокотурбулентных смесительных ступеней (13) и некоторое количество указанных высокосдвиговых и высококавитационных ступеней (15), указанные ступени (13, 15) расположены последовательно и чередуются друг с другом так, чтобы многофазный поток проходил через каждую из указанных ступеней (13, 15), причем каждая первая ступень (13) и каждая вторая ступень (15) имеют общий вращающийся вал (39), с которым соединены штифты (23) и ротор (25), имеющий радиальные зубцы (27), причем указанное первое и указанное второе физические состояния включают жидкое состояние, твердое состояние и газообразное состояние и причем указанное первое и указанное второе физические состояния являются разными или одинаковыми друг с другом.
3. Устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что смесительные ступени (13) содержат впрыскивающие сопла (49а, 49b), выполненные с возможностью впрыскивать поток вещества или смеси веществ в смесительную камеру (19).
4. Устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что зубцы (33) статора имеют параболический профиль (33а), идентичный и являющийся зеркальным отображением профиля зубцов (27) ротора, и при этом профиль (33а) зубца статора лежит вдоль изгиба параболы (Ps), вершина которой (Vs) расположена на задней кромке (33b) зубца (33) статора, по отношению к направлению вращения ротора (25), вдоль радиуса (Rs), соединяющего указанную кромку (33b) с центром (Cs), совпадающим с центром (Cr) ротора (25), а фокус параболы (Pr, Ps) также расположен на указанном радиусе (Rs).
5. Устройство по п.4, отличающееся тем, что уравнение параболы профиля зубцов (27) ротора и/или зубцов (33) статора является таким: $Y = 0,0062974 X^2$.
6. Устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что между зубцами (27) ротора и зубцами (33) статора имеется зазор (51), который является минимальным в области задних кромок (27b, 33b) зубцов (27, 33) ротора и статора, когда указанные кромки, по существу, выровнены вдоль соответствующих радиусов (Cr, Cs) ротора (25) и статора (31).
7. Устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что зубчатые роторы (25) имеют диаметр в диапазоне от 50 до 500 мм и осевую длину в диапазоне, составляющем от около 0,05 до 2,5 диаметра соответствующего зубчатого ротора (25), и тем, что минимальный зазор между зубцами (27) ротора и зубцами (33) статора находится в диапазоне от около 0,2 до 5,0 мм.
8. Устройство по п.7, отличающееся тем, что зубчатые роторы (25) имеют диаметр в диапазоне от 100 до 300 мм.
9. Устройство по п.7, отличающееся тем, что осевая длина зубчатых роторов (25) находится в диапазоне, составляющем от 0,1 до 1,0 диаметра ротора.
10. Устройство по п.7, отличающееся тем, что минимальный зазор между зубцами (27) ротора и



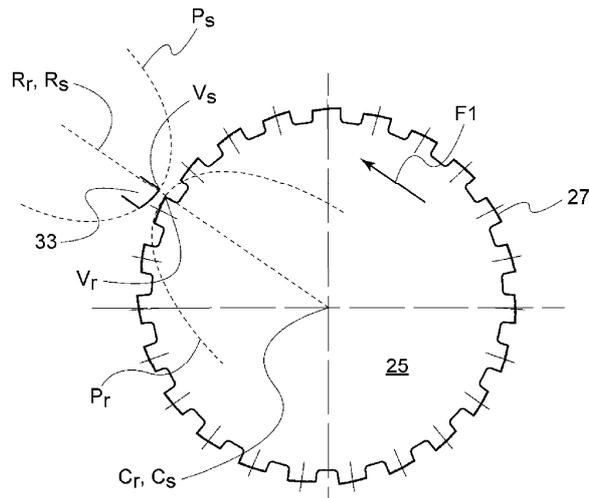
Фиг. 2А



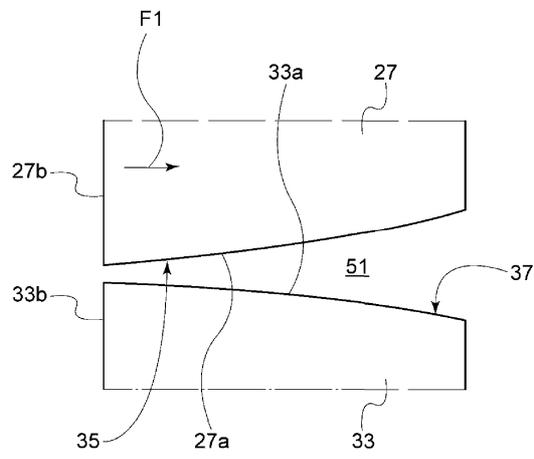
Фиг. 2В



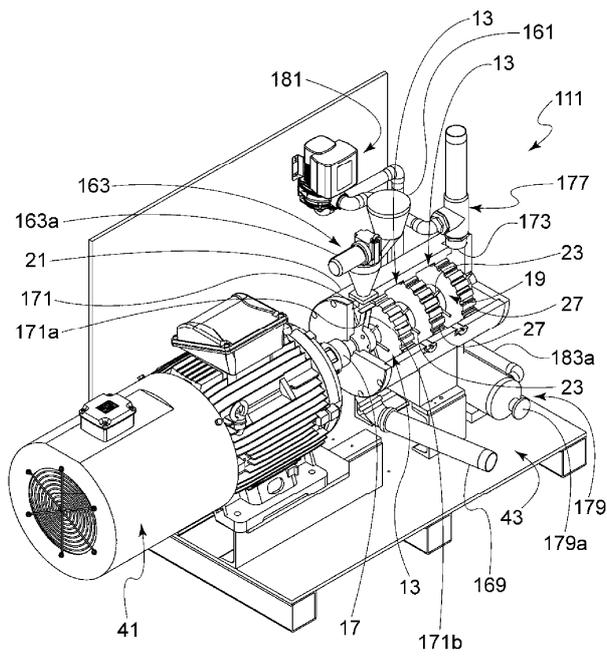
Фиг. 3А



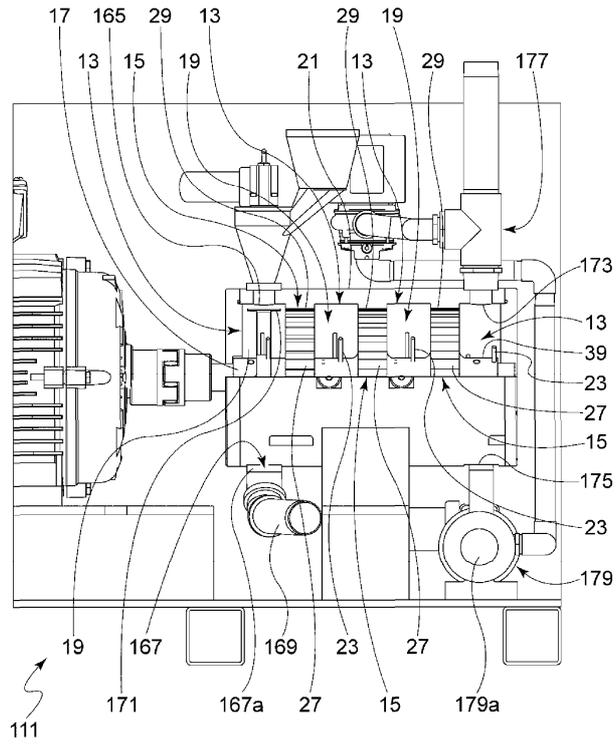
Фиг. 3В



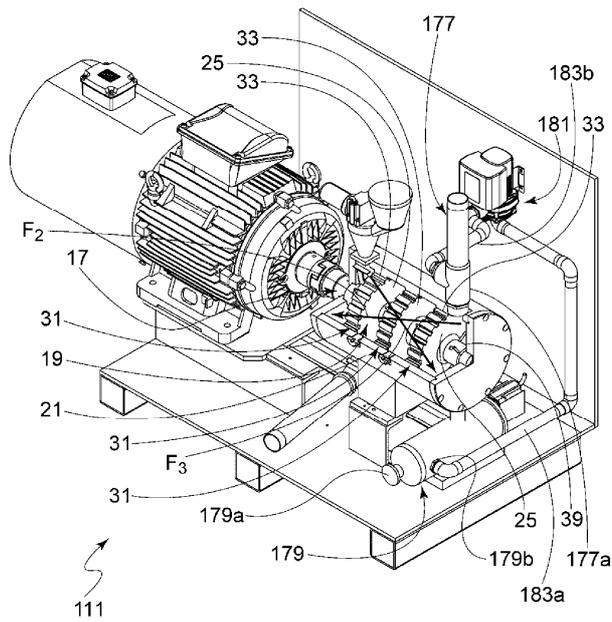
Фиг. 3С



Фиг. 4А



Фиг. 4В



Фиг. 4С

