

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046100**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.02.06**

(21) Номер заявки  
**202190990**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.10.10**

(51) Int. Cl. **B01J 19/18** (2006.01)  
**C01G 3/00** (2006.01)  
**B01F 11/00** (2006.01)

---

(54) **РОТАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ**

---

(31) **62/743,707**

(32) **2018.10.10**

(33) **US**

(43) **2021.09.07**

(86) **PCT/FI2019/050723**

(87) **WO 2020/074780 2020.04.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**КУЛБРУК ОЙ (FI)**

(72) Изобретатель:  
**Сюй Липин, Росик Будимир (GB)**

(74) Представитель:  
**Хмара М.В., Пантелеев А.С., Осипов  
К.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2016001476  
US-A-4265732**

(57) Предложено устройство 100 для проведения химических реакций в технологической текучей среде, содержащее центральный вал 1 с установленными на нем одним или несколькими осерадиальными роторами 3, множество неподвижных лопаток 2 выше по потоку от ротора и смесительную камеру 4 ниже по потоку от ротора, причем смесительная камера выполнена с возможностью преобразования механической энергии, сообщаемой технологической текучей среде ротором, во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды и создания условий для прохождения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде. Также предложены соответствующая система, способ и применение устройства.

**046100**

**B1**

**046100**  
**B1**

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

Настоящее изобретение относится к области ротационных турбомашин. В частности, изобретение относится к ротационному устройству для проведения химических реакций, соответствующей системе, способу и применениям.

### **Уровень техники**

Химические реакции, в частности, разнообразные термические и термохимические процессы, например, пиролиз или крекинг, традиционно используют на нефтеперерабатывающих и нефтегазохимических предприятиях. Рост спроса на энергию во всем мире на фоне неустойчивых цен и ограничительных требований природоохранной политики ставит перед нефтегазовой промышленностью ряд сложных задач, например, по разработке производственных технологий, сочетающих в себе повышение энергоэффективности и уменьшение воздействия на окружающую среду. Также необходимо решить ряд проблем для развития одного из основных нефтегазохимических процессов - крупномасштабного производства низших (низкомолекулярных) олефинов.

Низкомолекулярные олефины, например этилен, пропилен и бутилены, являются первичными компонентами в нефтегазохимической промышленности, на основе которых производят пластмассы, полимеры, эластомеры, каучуки, пены, растворители и химические полуфабрикаты, а также волокна, в том числе углеродные, и покрытия. Известные технологии производства низших олефинов, включающие в себя пиролиз среднемолекулярных углеводородов, например лигроина или газойля, и легких углеводородов, например пентанов, бутанов, пропана и этана, до легких по существу ненасыщенных полимеризуемых компонентов, обычно осуществляют в трубчатых печах. Это накладывает жесткие ограничения для процессов пиролиза: из-за того, что в основе операции лежит теплопередача, поддержание удовлетворительного распределения температур внутри трубок реактора остается сложной задачей.

В целом, крекинг углеводородов обычно оптимизируют путем регулирования по меньшей мере температуры процесса, длительности (длительностей) пребывания и парциального давления углеводородов. В традиционных крекинг-печах возможность управления вышеуказанными кинетическими параметрами ограничена конструктивными решениями известных реакторов.

Например, в традиционных трубчатых реакторах тепловая энергия поступает в реакционное пространство через стенки реактора, причем реакционное устройство работает как теплообменник. Так как теплопередача от стенок трубок технологической текучей среде имеет физические пределы, в некоторых случаях повышение температуры, например, для получения желаемого результата реакции, невозможно. Кроме того, изменение/регулирование давления в реакционном пространстве в традиционных трубчатых (аксиальных) реакторах представляет собой сложную задачу.

Так, из-за недостаточной скорости нагрева сырья в трубчатых печах возрастает длительность процесса пиролиза, в результате чего возникает ситуация, в которой длительность пребывания образовавшихся на начальных этапах олефинов в печи реактора является достаточно длительной для их вступления во вторичные реакции, что значительно сокращает выход целевого продукта. Одним из побочных продуктов является кокс, затрудняющий теплопередачу в трубках и загрязняющий оборудование ниже по потоку.

Кроме того, в известных решениях реакторов очень велики градиенты температуры. Так, температура вдоль стенок реактора обычно очень высока по сравнению с температурой в его центре (если рассматривать реакционную камеру в целом). Поскольку скорость потока текучей среды в центре выше, чем в зонах вблизи стенок реактора, большой градиент температуры является причиной серьезных проблем, связанных с образованием кокса.

Кроме того, в известных решениях реакторов длительности пребывания (длительности пребывания содержащей сырье технологической текучей среды в реакционном пространстве) не входят в сферу оптимизации.

Традиционная технология не предлагает адекватных решений для вышеуказанных проблем, так как на данный момент традиционные печи пиролиза уже достигли своих технических пределов в части изменения скоростей теплопередачи и/или регулирования параметров температуры и, соответственно, результата реакции.

Поэтому возникла серьезная проблема для традиционного процесса производства низкомолекулярных углеводородов путем термического разложения - отсутствие возможности управления процессом в целом, из которой вытекает ряд производных проблем:

- 1) низкий КПД реакторов - трубчатых печей;
- 2) потеря ценного сырьевого вещества;
- 3) большие длительности реакции;
- 4) высокие скорости вторичных реакций;
- 5) высокое энергопотребление;
- 6) неоптимальные (меньше возможных) выход продукта и селективность.

### **Раскрытие сущности изобретения**

Цель настоящего изобретения состоит в решении или по меньшей мере смягчении каждой из проблем, возникающих из-за ограничений и недостатков известного уровня техники. Указанная цель дости-

гается за счет различных вариантов осуществления устройства для проведения химических реакций в технологической текучей среде, соответствующей системы, способа и применений. С учетом вышесказанного, в одном аспекте изобретения предложено устройство для проведения химических реакций в технологической текучей среде, которое определено в независимом пункте 1 формулы.

В одном варианте осуществления указанное устройство содержит центральный вал с одним или несколькими установленными на нем осерадиальными роторами (рабочими колесами), при этом каждый указанный ротор содержит множество осерадиальных роторных лопастей, расположенных по окружности установленного на центральном валу диска, множество неподвижных лопаток, расположенных выше по потоку от ротора, и смесительную камеру, представляющую собой безлопаточную или лопаточную смесительную камеру, расположенную ниже по потоку от ротора, причем смесительная камера выполнена с возможностью преобразования механической энергии, сообщаемой технологической текучей среде ротором, во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды и создания условий для прохождения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде.

В одном варианте осуществления указанное устройство содержит по меньшей мере два ротора (рабочих колеса), установленных один за другим на центральном валу.

Множество неподвижных лопаток, множество осерадиальных роторных лопастей и смесительная камера образуют, в некоторых вариантах осуществления, технологическую ступень с возможностью реализации полного цикла преобразования энергии.

В одном варианте осуществления указанного устройства неподвижные лопатки предпочтительно представляют собой входные направляющие лопатки, выполненные с возможностью направления потока технологической текучей среды в ротор в предварительно заданном направлении для управления удельной производительностью ротора по подводу энергии. Указанные неподвижные лопатки предпочтительно также выполнены с возможностью направления потока технологической текучей среды, с предварительной закруткой, в ротор в направлении по существу вдоль меридиональной осесимметричной плоскости X-г.

В одном варианте осуществления указанного устройства роторные лопасти выполнены с возможностью, при вращении ротора, приема по существу осевого потока технологической текучей среды от неподвижных лопаток и дальнейшего поворота указанного потока, с закруткой, по существу в радиальное направление, сообщая таким образом механическую энергию технологической текучей среде путем повышения ее тангенциальной скорости.

В одном варианте осуществления указанного устройства ротор также выполнен, в части профилей и размеров роторных лопастей, а также их расположения на диске, с возможностью управления подводом механической энергии к технологической текучей среде.

В одном варианте осуществления указанный по меньшей мере один ротор в устройстве содержит бандаж, выполненный с возможностью покрытия множества роторных лопастей.

В одном варианте осуществления указанного устройства смесительная камера предпочтительно выполнена с возможностью преобразования кинетической или механической энергии технологической текучей среды во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды. Указанная смесительная камера предпочтительно образована трубопроводом, содержащим по меньшей мере изогнутую секцию и следующую за ней секцию канала возврата. В одном варианте осуществления смесительная камера в каждой ступени выполнена с возможностью регулирования ее геометрических и/или размерных параметров. В указанной смесительной камере, любая из изогнутой секции и секции канала возврата предпочтительно выполнена с возможностью регулирования по меньшей мере формы, длины, поперечного сечения и пространственного расположения в устройстве.

В некоторых вариантах осуществления смесительная камера также содержит по меньшей мере один дополнительный компонент, представляющий собой, но неограниченный им, неподвижную лопатку или лопатки, турбулизатор, дроссельное устройство, сетку, устройство направления потока, щели и вставные и/или съемные компоненты и т.п. Смесительная камера может также содержать диффузор, который может быть лопаточным или безлопаточным.

В одном варианте осуществления неподвижные лопатки и/или роторные лопасти в указанном устройстве предпочтительно выполнены с возможностью изменения в каждой ступени по меньшей мере их размеров, относительного расположения и пространственного расположения относительно предварительно заданных или заводских. В одном варианте осуществления указанные неподвижные лопатки и/или роторные лопасти выполнены с возможностью индивидуального регулирования в каждой ступени по меньшей мере их размеров, относительного расположения и пространственного расположения, в ходе эксплуатации устройства.

В одном варианте осуществления устройство также содержит корпус, выполненный с возможностью вмещения центрального вала и указанной по меньшей мере одной ступени.

В одном варианте осуществления устройство выполнено в виде модульной конструкции, причем корпус образован несколькими расположенными один за другим модулями. Устройство также выполнено с возможностью содержания по меньшей мере одного невыпускного модуля и выпускного модуля.

В одном варианте осуществления выпускной модуль содержит по меньшей мере одну выходную

линию для выпуска технологической текучей среды, расположенную в направлении по окружности относительно горизонтальной оси устройства, заданной центральным валом, причем смесительная камера выпускного модуля представляет собой выпускную смесительную камеру, образованную внутри выходной линии. Указанный выпускной модуль может также содержать по меньшей мере один дополнительный компонент, представляющий собой, но неограниченный им, окно впрыска, патрубок, коллектор и т.п.

В некоторых вариантах осуществления ступень в вышеуказанной модульной конструкции образована указанным по меньшей мере одним модулем.

В одном варианте осуществления устройство также выполнено с возможностью содержания выпускного модуля, расположенного выше всех по потоку текучей среды и выполненного с возможностью приема содержащей сырье технологической текучей среды через по меньшей мере одну приемную линию, расположенную в направлении по окружности относительно горизонтальной оси устройства, заданной центральным валом.

В одном варианте осуществления ступень образована впускным модулем и выпускным модулем.

В одном варианте осуществления количество модулей в модульной конструкции можно регулировать путем добавления, замены и/или удаления указанного по меньшей мере одного невыпускного модуля, установленного между впускным модулем и выпускным модулем.

В одном варианте осуществления корпус устройства выполнен с возможностью примыкания вплотную к неподвижным лопаткам, осерадиальным роторным лопастям и смесительной камере.

В еще одном варианте осуществления корпус также содержит верхнюю часть и нижнюю часть относительно горизонтального поперечного сечения устройства, причем указанная верхняя часть выполнена с возможностью охватывания по меньшей мере изогнутой секции канала, образующего смесительную камеру в каждом модуле.

В одном варианте осуществления указанная верхняя часть также выполнена с возможностью охватывания по меньшей мере части секции канала возврата.

В одном варианте осуществления указанная верхняя часть корпуса в каждом отдельном модуле выполнена с возможностью отсоединения и замены.

В одном варианте осуществления указанного устройства корпус также может быть выполнен со стенками толщиной не более 30 мм, предпочтительно в пределах 5-20 мм.

В одном варианте осуществления устройство выполнено с одной или несколькими каталитическими поверхностями.

В одном варианте осуществления указанного устройства каждая технологическая ступень и/или каждый модуль выполнены, в части конструкции и/или возможности управления их работой, независимыми от других ступеней и/или модулей.

В одном варианте осуществления устройство также содержит дополнительную установку, например, перегонную и/или теплообменную установку, выполненную с возможностью соединения с указанным по меньшей мере одним невыпускным модулем, расположенным между впускным модулем и выпускным модулем.

Согласно другому аспекту предложено применение указанного устройства для термического или термохимического крекинга углеводородсодержащего сырья, которое определено в независимом п.35.

Согласно еще одному аспекту предложена система, содержащая по меньшей мере два устройства по какому-либо из предыдущих аспектов, которая определена в независимом п.37.

Согласно еще одному дополнительному аспекту предложен способ проведения химических реакций в технологической текучей среде, который определен в независимом п.39.

Полезность настоящего изобретения обусловлена несколькими причинами в зависимости от каждого из частных вариантов его осуществления. Модульная конструкция реактора согласно настоящему раскрытию позволяет создавать индивидуальные решения в зависимости от конкретных потребностей заказчика. Раскрытое в настоящем документе решение позволяет добавлять и удалять, опционально с заменой, отдельные модули в реакторе и тем самым изменять число технологических ступеней в нем. Например, изначально одноступенчатое реакционное устройство можно легко расширить с образованием конструкции, содержащей две или более ступеней, если одноступенчатая конструкция окажется неспособна к передаче нужного количества энергии за одну ступень.

Предложенное решение является не только модульным, но и в полной мере обеспечивает возможность изменения масштаба; поэтому раскрытый в настоящем документе реактор может быть выполнен с возможностью использования в очистных установках по существу любого размера и производительности. Под изменением масштаба мы подразумеваем изменение размера отдельно взятого реакционного устройства (и, соответственно, его производительности). Реактор выполнен с возможностью изменения масштаба в гораздо большей степени, чем известные установки; изменение масштаба реактора обычно пропорционально его энергозатратам и/или частоте вращения вала/ротора.

Модульное решение реакционного устройства также позволяет получить ряд преимуществ в части улучшения его технологических функциональных возможностей. В частности, раскрытая в настоящем документе конструкция позволяет управлять длительностью пребывания (длительностью времени, кото-

рое содержащая сырье технологическая текучая среда проводит в реакционном пространстве) с высочайшей точностью. Это достигается точным регулированием параметров, относящихся к геометрии и/или пространственной конфигурации смесительной камеры (смесительных камер). Длительность пребывания влияет на соотношение основных и побочных продуктов при постоянной температуре. Так, при малых длительностях пребывания преобладают первичные реакции с образованием целевых продуктов (в данном случае легких олефинов); при больших длительностях пребывания происходит больше вторичных реакций и, как следствие, образование кокса.

Дополнительное управление длительностями пребывания можно обеспечить в каждом модуле или группе модулей путем замены предварительно заданных частей корпуса. Наличие заменяемых модулей и/или заменяемых частей в их составе облегчает техобслуживание реактора и обеспечивает эффективное решение проблемы загрязнения/образования кокса.

В известных трубчатых реакторах передача тепла происходит через стенку трубки в текучую среду (поэтому указанные реакторы в своей основе являются теплообменными устройствами). Согласно предлагаемому решению, реактор выполнен с возможностью подвода энергии внутрь участвующей в реакции текучей среды / технологической текучей среды (сред) и непосредственно в них за счет аэродинамических воздействий.

Как следствие, температура поверхности предлагаемого реакционного устройства ниже максимальной температуры в участвующих в реакции текучих средах. Это, с одной стороны, позволяет снизить максимальную температуру в реакторе и, с другой стороны, снизить вероятность образования и отложения кокса на твердых поверхностях реактора.

Предлагаемое решение позволяет существенно снизить температуру поверхности и перепад температуры в технологической текучей среде по сравнению с известными реакционными устройствами. Таким образом, предложенное реакционное устройство обеспечивает возможность управления температурой текучей среды и тем самым повышения однородности температуры и соответствующего снижения перепада температуры.

Также обеспечена возможность высокой управляемости подводом энергии в участвующие в реакции текучие среды.

В примерах конфигурации согласно настоящему раскрытию реактор предпочтительно представляет собой проточный реактор с высоким расходом и производительностью в диапазоне 1-100 кг/с. Как сказано выше, предложенное решение в полной мере обеспечивает возможность изменения масштаба; таким образом, производительность реактора в значительной степени зависит от его размера. В число примеров диапазонов входят 10-15, 25-50 или 75-100 кг/с. В действительности реактор может быть выполнен с возможностью достижения значения производительности свыше 100 кг/с; при этом возможность изменения масштаба устройства в сторону большего размера и/или объема в некоторых случаях может быть ограничена с учетом таких факторов, как энергозатраты, необходимая частота вращения и рентабельность.

Также можно выделить следующие преимущества предлагаемого решения по сравнению с известными установками, например осевыми и кольцевыми (тороидными) решениями:

повышенная производительность по подводу энергии (приблизительно на 400% по сравнению с известными решениями);

компактность (снижение себестоимости);

исключена возможность перемешивания потока между ступенями;

возможность управления длительностями пребывания, давлением и температурой, в совокупности влияющими на выход продукции, с высокой точностью на каждой ступени (ни одно из известных решений не позволяет управлять совместно всеми тремя вышеуказанными параметрами);

однородное распределение температуры по окружности, уменьшенный зазор;

уменьшение образования кокса.

Термины "пиролиз" и "крекинг" в настоящем раскрытии употребляются в значительной степени как синонимы применительно к процессу термического разложения соединений, содержащих более тяжелые углеводороды, на соединения, содержащие более легкие углеводороды.

Выражение "один или несколько" означает в настоящем документе любое положительное целое число, начиная с одного (1), например один, два или три. Выражение "множество" означает положительное целое число, начиная с двух (2), например два, три или четыре.

Слова "первый" и "второй" служат в настоящем документе исключительно для проведения различия между каким-либо элементом и другим элементом без указания какого-либо конкретного порядка следования или важности, если особо не оговорено иное.

Понятия "текучая среда" и "технологическая текучая среда" в контексте настоящего раскрытия означают, в большинстве случаев, газообразное вещество, например, поток газообразного сырья, направляемый через внутреннее пространство реакционного устройства, предпочтительно, в присутствии разбавителя.

Понятие "газифицированный" в настоящем документе служит для обозначения вещества, переведенного в газообразное состояние какими-либо возможными средствами.

Понятие "гидродинамический" в настоящем документе служит для обозначения динамики текучих сред, которыми в настоящем раскрытии в большинстве случаев являются газы. Поэтому в настоящем раскрытии указанное понятие употребляется как синоним понятия "аэродинамический".

Различные варианты осуществления настоящего изобретения станут понятны после ознакомления с разделом "Осуществление изобретения" и прилагаемыми чертежами.

#### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1А и 1В иллюстрируют устройство 100 согласно одному из вариантов осуществления.

Фиг. 2А и 2В иллюстрируют устройство 100А согласно другим вариантам осуществления.

Фиг. 3 представляет собой вид в поперечном разрезе выпускного модуля устройства согласно некоторым вариантам осуществления.

Фиг. 4 представляет собой вид через частичный поперечный разрез элементов, относящихся к статору и ротору, в устройстве согласно некоторым вариантам осуществления. Указаны направление вращения, угловая ( $\Omega$ ,  $\omega$ ) и тангенциальная скорости на входе ( $r_1\omega$ ) и выходе ( $r_2\omega$ ).

Фиг. 5 изображает вариант осуществления устройства, также содержащий дополнительную установку, например, систему охлаждения.

Фиг. 6А и 6В схематически иллюстрируют примеры конфигурации элементов, относящихся к статору и ротору.

Фиг. 6С схематически иллюстрирует пример технологической ступени устройства согласно некоторым вариантам осуществления.

#### **Осуществление изобретения**

Варианты осуществления настоящего изобретения детально раскрыты на примерах прилагаемых чертежей. Одни и те же номера позиций обозначают одни и те же элементы на всех чертежах.

Фиг. 1А и 2А иллюстрируют под номерами 100, 100А идею, лежащую в основе нескольких вариантов осуществления реакционного устройства для проведения химических реакций в технологической текучей среде, далее "реактор", согласно нескольким вариантам осуществления.

Реактор 100, 100А выполнен в виде радиальной турбомшины, конструктивно решенной в целом аналогично центробежным компрессорам или центробежным насосам. Понятие "центробежный" означает, что поток текучей среды в устройстве является радиальным; поэтому устройство может именоваться в настоящем раскрытии "радиально-поточное устройство" или "радиальное устройство".

Реактор 100, 100А выполнен с возможностью проведения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде. В некоторых примерах осуществления реактор выполнен с возможностью термического или термохимического преобразования углеводородсодержащего сырья, в частности, флюидизированного углеводородсодержащего сырья. В настоящем документе под "углеводородсодержащим сырьем" мы подразумеваем флюидизированное органическое сырьевое вещество, содержащее, в основном, углерод и водород. При этом в некоторых случаях реактор может быть выполнен с возможностью переработки кислородсодержащего сырьевого вещества, например, кислородсодержащих производных углеводородов, сырья на основе целлюлозы и/или сырья на основе растительных масел. Таким образом, возможности использования предложенного реактора выходят за пределы, ограниченные традиционным определением "углеводородное сырье".

Реактор 100, 100А выполнен с возможностью переработки газифицированного сырья, причем технологическая текучая среда находится в газообразном состоянии. В альтернативных конфигурациях не исключена возможность переработки по существу жидкого сырьевого вещества.

В реакциях пиролиза сырье обычно содержит разбавитель (разбавители) для улучшения показателей выхода продукта. Реактор 100, 100А предпочтительно выполнен с возможностью приема сырья, разбавленного по меньшей мере одним разбавителем, предпочтительно газообразным разбавителем, например (водяным) паром, азотом ( $N_2$ ) или аргоном. В некоторых случаях разбавитель представляет собой инертную газообразную среду (например, азот, аргон) по существу с нулевой химической активностью в отношении веществ, участвующих в реакции, и ее продуктов. Возможно использование любого другого подходящего разбавителя, предпочтительно, газообразного разбавителя. Таким образом, технологическая текучая среда, проходящая через устройство 100, 100А, содержит указанный по меньшей мере один разбавитель.

Реактор 100, 100А содержит центральный вал 1, расположенный по горизонтальной (продольной) оси (X-X'); поток технологической текучей среды по горизонтальной оси обозначен стрелкой), и один или несколько роторных блоков, далее "роторы", установленных на указанном валу 1. В некоторых конфигурациях реактор содержит по меньшей мере один ротор; в предпочтительных конфигурациях реактор содержит два или более роторов, установленных последовательно (один за другим) на центральном валу.

Реактор 100, 100А также содержит по меньшей мере один приводной блок (не показан), например, электромотор, паровую турбину или газовую турбину, выполненный с возможностью вращения вала и установленных на нем роторов.

При этом каждый указанный роторный блок содержит множество роторных лопастей 3, расположенных по окружности диска 3а, установленного на центральном валу 1. Указанное множество роторных лопастей, расположенных на диске, совместно образует узел роторных лопастей или решетку ротор-

ных лопастей. Указанные роторные лопасти 3 могут быть выполнены в виде осерадиальных роторных лопастей; в качестве альтернативы роторные лопасти могут быть выполнены в виде преимущественно радиальных роторных лопастей. Значение выражения "осерадиальные роторные лопасти" можно объяснить следующим образом. На фиг. 4 показано, что технологическая текучая среда поступает в ротор аксиально по существу в горизонтальном направлении X-X' (с тангенциальными закрутками или без них) и покидает ротор преимущественно в направлении, являющемся, в проекции на меридиональной плоскости, преимущественно радиальным (т.е. радиально наружу от горизонтальной оси X-X', заданной центральным валом устройства). Меридиональный вид (двумерный) представлен в виде горизонтального поперечного разреза через реактор 100, 100А. Преимущественно радиальная роторная лопасть проиллюстрирована на фиг. 6С. В целом роторные лопасти 3 представляют собой лопасти высоконагружаемого центробежного лопастного колеса для подвода энергии в ступени высокого давления. Ротор может быть выполнен с возможностью содержания разделительных лопастей, дополнительно повышающих производительность по подводу энергии. Роторы с разделительными лопастями раскрыты ниже на примере фиг. 6В.

Реактор 100, 100А также содержит множество неподвижных (статорных) лопаток 2, расположенных выше по потоку от ротора. Указанное множество неподвижных лопаток совместно образует решетку статорных лопаток (статор), выполненную в виде по существу кольцевого узла выше по потоку от ротора.

В предпочтительных конфигурациях реактор 100, 100А также содержит смесительную камеру 4, расположенную ниже по потоку от ротора.

В настоящем документе понятия "выше по потоку" и "ниже по потоку" относятся к пространственному и/или функциональному расположению конструктивных частей или компонентов относительно предварительно заданной части или компонента, в данном случае ротора, в направлении потока технологической текучей среды через реактор (по оси X-X', фиг. 1А, 2А).

Неподвижные лопатки 2 предпочтительно представляют собой лопатки (входного) направляющего аппарата (ВНА) (или входные направляющие лопатки), выполненные, в части профилей, размеров и расположения вокруг центрального вала, с возможностью направления потока технологической текучей среды в ротор в предварительно заданном направлении для управления и, в некоторых случаях, доведения до максимума удельной производительности ротора по подводу энергии. Будучи неподвижной конструкцией, статор 2 не сообщает дополнительную энергию технологической текучей среде. При этом статорные лопатки выполнены с возможностью создания необходимой/предусмотренной предварительной закрутки технологической текучей среды, что позволяет довести до максимума подвод ротором (механической) энергии в указанную технологическую текучую среду. Это достигается за счет выполнения статорных лопаток по размерам с возможностью принудительного ввода технологической текучей среды в ротор с предварительно заданными и требуемыми (например, технологическими параметрами) углом и скоростью. Угол, под которым текучая среда поступает в роторные лопасти (угол входа), является наиболее существенным параметром, так как от него зависит количество энергии, которое ротор 3 (расположенный ниже по потоку от статора 2) сообщит текучей среде.

Неподвижные лопатки 2 также выполнены с возможностью направления потока технологической текучей среды в ротор в направлении по существу вдоль меридиональной осесимметричной плоскости X-г (фиг. 1А, 4).

Таким образом, поток технологической текучей среды поступает в множество роторных лопастей 3 по существу в осевом направлении (указанном стрелкой по плоскости X-X', фиг. 1А, 2А). Осерадиальные роторные лопасти 3 также выполнены с возможностью приема, при вращении ротора, указанного по существу осевого потока технологической текучей среды от неподвижных лопаток 2 и дальнейшего поворота указанного потока по существу в радиальном направлении (фиг. 4), сообщая таким образом механическую энергию технологической текучей среде путем повышения ее тангенциальной скорости (окружной скорости). Результатом повышения тангенциальной скорости является соответствующее повышение кинетической энергии текучей среды.

Фиг. 4 изображает взаимное расположение статорных лопаток 2 и роторных лопастей 3. Направление вращения ротора вокруг горизонтальной оси (X) указано стрелкой. Угловая скорость ротора обозначена  $\Omega$  ( $\omega$ , омега); а тангенциальная скорость или окружная скорость роторной лопасти равна  $r \omega$ , где  $r$  - радиус ротора. Фиг. 4 изображает треугольники векторов для потока текучей среды, поступающего в ротор ( $\omega$ ,  $V_1$ ,  $W_1$ ), и для ее потока, выходящего из ротора ( $r_2 \omega$ ,  $V_2$ ,  $W_2$ ), где вектор  $W$  - относительная скорость (потока), вектор  $V$  - абсолютная скорость (потока), также указывающий направление потока, причем

$$V=W+(r \omega)$$

Из фиг. 4 можно видеть, что по существу осевой поток текучей среды ( $V_1$ ) выходит из статора 2 и поступает в ротор 3, где роторные лопасти далее направляют его, при вращении указанного ротора, радиально наружу от горизонтальной оси (X), заданной центральным валом устройства ( $V_2$ ; поток выходит из роторных лопастей). Понятие "радиальный" или "радиально" в настоящем раскрытии служит для указания направления (направлений), по существу ортогональных горизонтальной (продольной) оси (X) устройства 100, заданной центральным валом 1.

В некоторых случаях окружная скорость роторных лопастей может составлять по меньшей мере 150 м/с. В некоторых случаях указанная окружная скорость может быть отрегулирована до диапазона 150-350 м/с. Снижение окружной скорости ниже 150 м/с нежелательно, так как нагрузочная способность ротора будет слишком низкой.

В данном случае ротор выполнен в части профилей и размеров роторных лопастей, а также их расположения на диске с возможностью доведения до максимума подвода механической энергии к технологической текучей среде.

В некоторых случаях предпочтительно, чтобы указанный по меньшей мере один ротор также содержал бандаж 3b, выполненный с возможностью покрытия множества роторных лопастей 3. Безбандажные роторы (рабочие колеса) обычно менее эффективны из-за высоких потерь на перетекание (поток, "утекающего" поверх непокрытых роторных лопастей), в некоторых случаях - на обратное перетекание. Обшивка ротора, например бандаж 3b, эффективно предотвращает или по меньшей мере минимизирует это перетекание. Бандаж также предотвращает обратное течение текучей среды и пагубное перемешивание потока, которые в его отсутствие могли бы происходить между ступенями.

В некоторых случаях предпочтительно, чтобы одно и то же устройство 100, 100А содержало и бандажные, и безбандажные роторы. Безбандажные роторы позволяют эксплуатировать ротор с более высокой частотой вращения, при этом конфигурация с одним или несколькими безбандажными роторами, за которыми следуют один или несколько бандажных роторов, может обеспечивать преимущество в части регулирования условий реакции в "многороторных" конфигурациях (например, содержащих по меньшей мере пять роторов, расположенных последовательно на центральном валу).

Ротор выполнен с возможностью сообщения механической энергии технологической текучей среде, а смесительная камера 4, расположенная ниже по потоку от ротора, выполнена с возможностью преобразования механической энергии технологической текучей среды во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды. В смесительной камере 4 происходит диффузия высокоскоростного потока текучей среды, поступающего из ротора, со значительным возрастанием энтропии, в результате чего происходит рассеяние кинетической энергии с превращением ее во внутреннюю энергию участвующих в реакции (технологических) текучих сред и образованием тепловой энергии, необходимой для разрушения химических связей между длинными углерод-водородными (С-Н) цепями. В результате возрастания внутренней энергии текучей среды возрастает температура текучей среды. Как следствие, происходит эффективное уменьшение в размере высокомолекулярных соединений, присутствующих в технологической текучей среде.

В известных трубчатых реакторах происходит преобразование механической энергии в тепло и его передача через стенку трубки. В своей основе указанный известный трубчатый реактор является теплообменным устройством. При этом настоящее устройство 100, 100А выполнено с возможностью сообщения энергии непосредственно молекулам. Таким образом, рассеяние механической энергии вызвано аэродинамическими воздействиями.

В реакторе 100, 100А, множество неподвижных лопаток 2 (выше по потоку от ротора), множество осердиальных роторных лопастей 3 и смесительная камера 4 образуют технологическую ступень (далее "ступень") с возможностью реализации полного цикла преобразования энергии. В ходе цикла преобразования энергии происходит преобразование механической энергии текучей среды в кинетическую энергию и далее во внутреннюю энергию текучей среды, с последующим возрастанием температуры текучей среды и протеканием в ней химических реакций.

Смесительная камера на фиг. 1В и 2В образована трубопроводом, содержащим по меньшей мере изогнутую секцию 41 и следующую за ней секцию 42 канала возврата. В каждой ступени указанная смесительная камера 4 выполнена с возможностью регулирования ее геометрических и/или размерных параметров. Так, любая из изогнутой секции 41 и секции 42 канала возврата в смесительной камере 4 выполнена с возможностью регулирования по меньшей мере ее формы, длины, поперечного сечения и пространственного расположения в устройстве 100, 100А.

Изогнутая секция 41 предпочтительно выполнена в виде U-образного изгиба; при этом не исключена возможность других конфигураций, например S-образной.

Изменение вышеуказанных параметров смесительной камеры 4 позволяет с высокой точностью управлять длительностями пребывания (длительностями пребывания технологической текучей среды в каждой смесительной камере) и выходом реакции. Например, путем увеличения длины и/или диаметра изогнутой секции 41 и/или секции 42 канала возврата можно довести до максимума и/или ускорить возрастание энтропии технологической текучей среды, тем самым создав условия для быстрой передачи механической энергии ротора текучей среде. Таким образом, смесительная камера 4 образует реакционное пространство, где в основном протекает химическая реакция (химические реакции).

Смесительная камера 4 также содержит по меньшей мере один дополнительный компонент, представляющий собой, но неограниченный им, неподвижную лопатку или лопатки, для управления абсолютным направлением потока, устройство усиления турбулентности (турбулизатор), дроссельное устройство, сетку, устройство направления потока, щели и вставные и/или съемные компоненты и т.п. (не показаны). Дополнительные компоненты могут обеспечивать преимущества в части доведения до мак-



сумма возрастания энтропии технологической текучей среды. Указанные дополнительные компоненты также обеспечивают дополнительные возможности регулирования смесительных камер, в том числе в ходе эксплуатации реактора.

В некоторых конфигурациях устройство 100, 100А содержит диффузор 4b, проиллюстрированный на фиг. 2В, 6А и 6В. Диффузор предпочтительно расположен ниже по потоку от ротора 3, в смесительной камере 4, в изогнутой секции 41 и/или по меньшей мере в части секции 42 канала возврата. Диффузор могут быть выполнен в виде лопаточного диффузора, содержащего множество неподвижных лопаток 4b, также именуемых "выходные направляющие лопатки" (фиг. 6А, 6В), или в виде безлопаточного диффузора. Неподвижные лопатки в диффузоре могут быть расположены непосредственно на стенке, ограничивающей внутреннее пространство смесительной камеры, и/или соединены с ней вспомогательными средствами, например, кольцами, кронштейнами и т.п.

Фиг. 6А и 6В схематически иллюстрируют примеры конфигурации для роторных лопастей 3 и неподвижных лопаток 4b (лопаток диффузора), расположенных ниже по потоку от ротора, и их взаимного расположения. Примеры рабочих параметров для ротора (рабочего колеса) на фиг. 6А и 6В сведены в таблице ниже.

Примеры рабочих параметров для ротора 3 (фиг. 6А, 6В)

Диапазон радиальных скоростей на входе роторных лопастей*	<b>215 м/с - 265 м/с</b>
Диапазон скоростей на выходе роторных лопастей*	<b>300 м/с - 380 м/с</b>
Удельный на ступень радиальный подвод энергии (возрастание удельной энтальпии сырья за ступень)	<b>240 кДж/кг - 450 кДж/кг</b>
Выходной диаметр ротора для массового расхода протекающего потока	<b>180 - 250 тонн/час</b>
Наружный диаметр (НД)	приблизительно <b>1,0 м</b>
Диапазон отрицательной предварительной закрутки на входе роторных лопастей	от <b>40</b> до приблизительно <b>55</b> градусов
Геометрический угол или угол металла на входе роторных лопастей	приблизительно <b>62</b> градуса
Угол обратной стреловидности на выходе роторных лопастей	приблизительно <b>45</b> градусов

\* Причем вход (передняя кромка) и выход (задняя кромка) обозначены относительно направления потока текучей среды (приблизительные направления потока текучей среды указаны на фиг. 6А, 6В штриховыми стрелками; направление вращения ротора указано сплошной горизонтальной стрелкой).

Фиг. 6В изображает альтернативную конфигурацию для канала ротора, содержащего множество разделительных лопастей 31, чередующихся с основными роторными лопастями 3. Разделительные лопасти 31 выполнены с возможностью уменьшения нагрузки на роторную лопасть в задней части роторной лопасти и увеличения производительности по подводу энергии и расходу. В примерах конфигурации число роторных лопастей обычно составляет 64 (32 основные роторные лопасти+32 разделительные лопасти).

Роторные лопасти могут быть выполнены с возможностью создания режима запирания (глушения) потока во входе ротора, что позволяет точно управлять пропускной способностью. В большинстве режимов эксплуатации запираение также достигается во входе статорных лопаток (направляющего аппарата), что позволяет управлять абсолютной пропускной способностью статора путем повышения фактического давления торможения потока через ротор (с учетом потерь в безлопаточной смесительной камере 4). Режим запираения потока в данном случае представляет собой режим, связанный с ограниченной пропускной способностью на входе в лопастной венец, где скорость потока является сверхзвуковой.

Фиг. 6С схематически иллюстрирует меридиональный вид технологической ступени (входной завихритель потока не показан). Вход ступени и выход ступени обозначены стрелками. Фиг. 6С изображает ротор 3 и часть смесительной камеры 4, где расположены лопатки 4b диффузора (выходные направляющие лопатки). Безлопаточное пространство в смесительной камере 4 обеспечивает возможность смешивания. Номинальный расход конструкции ступени на фиг. 6С составляет 60 кг/с, что эквивалентно 216 тоннам сырья в час.

На фиг. 6С показано, что относительно большое безлопаточное пространство (4) образовано между задней кромкой роторной лопасти 3 и передней кромкой неподвижной выходной направляющей лопатки 4b для обеспечения возможности дополнительного перемешивания потока текучей среды и тем самым снижения давления торможения.

Неподвижные лопатки 2 (выше по потоку от ротора), роторные лопасти 3 и/или неподвижные ло-

патки 4b (ниже по потоку от ротора) предпочтительно выполнены с возможностью индивидуального регулирования их размеров, относительного расположения и пространственного расположения в каждой ступени на стадии проектирования (изготовления) или эксплуатации. Так, неподвижные лопатки и/или роторные лопасти выполнены с возможностью изменения в каждой ступени по меньшей мере их размеров, относительного расположения и пространственного расположения, относительно предварительно заданных (заданных до начала эксплуатации и/или в ходе нее) или заводских. Помимо возможности индивидуального изменения в зависимости от ступени, указанные неподвижные лопатки и/или роторные лопасти могут быть выполнены фиксированными (без возможности регулирования) и с возможностью индивидуального регулирования в ходе эксплуатации устройства.

Нагрев технологической текучей среды в реакторе 100, 100А до желаемой температуры, например, 900 или 1000°C, предпочтительно осуществляют на двух или трех начальных ступенях. Затем температуру поддерживают по существу постоянной до выхода (выпуска).

Устройство 100, 100А также содержит кожух или корпус 20 по меньшей мере с одним входом 11 и по меньшей мере одним выходом 12. Корпус 20 выполнен с возможностью вмещения центрального вала 1 и по меньшей мере одной ступени.

В конфигурации на фиг. 1А поперечное сечение корпуса 20 по существу постоянно по всей длине.

В некоторых дополнительных конфигурациях устройства по варианту 100 осуществления корпус выполнен по форме (усеченного) конуса (не показано).

В конфигурации на фиг. 2А корпус 20 представляет собой ограниченное пространство, которое охватывает (с примыканием вплотную) неподвижные лопатки, осерадиальные роторные лопасти и смешительную камеру, образующие по меньшей мере одну технологическую ступень. Указанный корпус внутри и, опционально, снаружи выполнен в форме, по существу повторяющей форму элементов, составляющих указанную технологическую ступень. Поэтому в некоторых случаях площади поперечного сечения корпуса 20 могут быть разными на протяжении его внутреннего пространства (фиг. 2А).

На фиг. 1В, 2А реактор 100, 100А изображен выполненным в виде модульной конструкции, в которой корпус 20 образован несколькими расположенными один за другим модулями 20А, 20В, 20С, 20D. Конфигурации на фиг. 1В, 2А являются примерами в части количества и системы модулей, поскольку последняя может быть разной в зависимости от частного случая реализации реактора 100, 100А.

Реактор 100, 100А также выполнен с возможностью содержания по меньшей мере одного невыпускного модуля и выпускного модуля. Под невыпускными модулями в настоящем документе мы понимаем элементы конструкции, позволяющие потоку технологической текучей среды циркулировать из области выше по потоку в область ниже по потоку. Выпускной модуль - это модуль, через который происходит выпуск содержащего продукт потока текучей среды из реактора 100, 100А.

Выпускной модуль 22 содержит по меньшей мере одну выходную линию 12, выполненную в виде трубки или трубы, например, для выхода содержащей продукт технологической текучей среды, при этом линия 12 расположена в направлении по окружности относительно горизонтальной оси (X-X'), задаваемой центральным валом. На фиг. 1А, 2А выходная линия 12 расположена по существу в вертикальном направлении относительно горизонтальной оси X-X'.

Выпускной модуль 22 вмещает ротор 3 и смешительную камеру, представляющую собой выпускную смешительную камеру 4а, образованную внутри выходной линии 12. Вид выпускного модуля 22 в поперечном разрезе представлен на фиг. 3. Указанный выпускной модуль 22 также содержит по меньшей мере один дополнительный компонент, выполненный с возможностью впрыска и/или отвода текучей среды, например, канал, патрубок, коллектор и т.п. (не показан).

Реактор 100, 100А также содержит выпускной модуль 21, расположенный выше всего по направлению потока технологической текучей среды. В большинстве случаев указанный выпускной модуль представляет собой первый модуль по порядку. Выпускной модуль 21 выполнен с возможностью приема содержащей сырье технологической текучей среды через по меньшей мере одну приемную линию 11 (вход), расположенную в направлении по окружности относительно горизонтальной оси X-X'.

Выпускной модуль может также содержать дополнительный выпускной канал 13, например, выпускную улитку, для создания сильно закрученного потока к ротору.

В некоторых случаях реактор 100, 100А представляет собой одноступенчатое устройство. В этом случае ступень образована выпускным модулем 21 и выпускным модулем 22.

При этом, если передача нужного количества энергии невозможна за одну ступень, то устройство должно быть многоступенчатым. В этом случае реактор 100, 100А представляет собой многоступенчатую модульную конструкцию, в которой указанный по меньшей мере один невыпускной модуль (20А, 20В, 20С, 20D и т.д.) образует ступень. Многоступенчатый реактор может быть образован по меньшей мере двумя ступенями. В некоторых случаях многоступенчатое устройство может содержать по меньшей мере одну ступень, образованную невыпускным модулем 20А (20В, 20С, 20D), выпускным модулем 21 и выходным (выпускным) модулем 22. Специалисту в данной области техники будет понятно, что реактор 100, 100А может быть реализован с одним или несколькими невыпускными модулями в количестве, превышающем количество на фиг. 1В, 2А.

Указанные (невыпускные) модули 20А, 20В, 20С, 20D, расположенные между выпускным модулем 21

и выпускным модулем 22 могут далее именоваться "центральные модули".

Реактор 100А, 100А согласно раскрытым выше вариантам осуществления выполнен с допуском на относительно широкий диапазон изменений расчетных параметров. В частности, многоступенчатое решение может содержать одну или несколько ступеней, каждая с разным объемным расходом / объемной пропускной способностью. Это позволяет регулировать потребности в подводе энергии и/или длительности пребывания по отдельности в каждой ступени.

Во всех конфигурациях 100, 100А массовый расход можно легко регулировать, опционально по отдельности в каждой ступени, путем изменения размера ротора (диаметра, увеличение в четыре раза) и/или высоты роторной лопасти (линейное увеличение). Возможность изменения высоты роторных лопастей можно обеспечить за счет регулирования осевого местоположения диска 3а ротора, что позволяет изменять объемные расходы на разных ступенях схожей конструкции. Изменение высоты (роторной) лопасти как указано выше позволяет увеличивать пропускную способность реактора по объему, так как будет происходить распределение напряжения диска в сторону конца процесса реакции (т.е. конца реакционного устройства), где потребности в температуре и подводе энергии являются наибольшими.

Так как увеличение высоты лопасти не оказывает значительного влияния на показатели работы ротора, реактор с радиальным потоком может быть конструктивно выполнен с блоком (блоками) ротора, содержащим множество основных лопастей с разделительными лопастями (например, решение 32+32), что позволяет увеличить возможность изменения масштаба.

Модули 20А, 20В, 20С, 20D, 21, 22 соединены друг с другом по меньшей мере одним подшипником 5, опционально скомбинированным с соответствующим уплотнением (уплотнениями) (не показаны). Модульная конструкция позволяет регулировать число модулей в ней путем добавления, замены и/или удаления указанного по меньшей мере одного невыпускного модуля, установленного между впускным модулем и выпускным модулем.

Центральный вал 1 также может быть выполнен по меньшей мере из двух частей, соединенных друг с другом посредством подходящей муфты, например, хиртового соединения (не показано). В частности, использование хиртового (плоскозубчатого) соединения (хиртовых соединений) обеспечивает преимущество благодаря способности данных соединений, в качестве соединительных элементов, самоцентрироваться при вращении (вала), обусловленной их формой и силой, прилагаемой механизмом.

В некоторых конфигурациях корпус 20 также содержит верхнюю часть и нижнюю часть относительно горизонтального поперечного сечения реактора (горизонтальный разъем). Фиг. 1В, 2В изображают, под номером позиции 20D, корпус, содержащий верхнюю часть 201 и нижнюю часть 202.

Указанная верхняя часть 201 выполнена с возможностью охватывания по меньшей мере изогнутой секции 41 канала, образующего смесительную камеру 4 в пределах каждой из соответствующих ступеней и/или модуля. В некоторых случаях верхняя часть 201 может быть выполнена, в свою очередь, с возможностью охватывания по меньшей мере части секции 42 канала возврата и роторного диска.

В некоторых конфигурациях указанная верхняя часть 201 корпуса, в каждом отдельном модуле, может быть выполнена с возможностью отсоединения и замены. Такая система обеспечивает возможность дополнительного регулирования параметров реакции; кроме того, она обеспечивает простое и экономичное решение для полного устранения проблемы образования кокса. Например, фиг. 1В, 2В (штриховой прямоугольник) изображают верхние части 201 примера модуля 20D, охватывающего изогнутую секцию 41 смесительной камеры 4. В пределах штрихового прямоугольника 201 самый нижний элемент охватывает только изогнутую часть 41 (например, U-образный изгиб) смесительной камеры. Это позволяет сократить длительность пребывания технологической текучей среды в модуле, содержащем вышеуказанную (верхнюю) часть 201.

Самый верхний элемент в пределах того же штрихового прямоугольника 201 (фиг. 1В, 2В) охватывает изогнутую секцию 41 (например, U-образный изгиб) и, дополнительно, часть секции 42 канала возврата смесительной камеры 4. Это позволяет увеличить длительность пребывания технологической текучей среды в пределах модуля, содержащего эту (верхнюю) часть 201.

Возможность замены верхних частей 201 по отдельности в каждом модуле позволяет с высокой точностью управлять длительностями пребывания. Кроме того, данная система позволяет облегчить техобслуживание реактора и/или обеспечивает решение проблемы загрязнения/образования кокса. Удаление отдельных модулей и/или их частей (например, демонтаж верхних частей 201 в пределах отдельных модулей), с последующей очисткой и/или заменой, является гораздо более простой, быстрой и экономичной альтернативой сервисному и техническому обслуживанию (многоступенчатого) устройства целиком.

Реактор 100, 100А также выполнен с возможностью содержания корпуса 20 со стенками толщиной не более 30 мм, предпочтительно в пределах 5-20 мм.

При наличии очень тонких стенок проще достигнуть или поддерживать их механическую целостность. Тонкостенный кожух проще предварительно нагревать. Кроме того, использование тонких листов металла позволяет значительно уменьшить термическое напряжение и, как следствие, сократить расходы на строительство и техобслуживание.

Идея реактора 100, 100А согласно настоящему раскрытию позволяет с высочайшей точностью управлять относящимися к процессу реакции параметрами (отслеживать и регулировать/изменять их) в

пределах каждой отдельной ступени и/или модуля реактора. Так, каждая технологическая ступень и/или каждый модуль в реакторе 100, 100А является, в части конструкции и/или возможности управления осуществляемой в нем операцией (осуществляемыми операциями), независимым от других ступеней и/или модулей.

Возможность регулирования конструкции / размеров неподвижных относящихся к статору и ротору компонентов в пределах каждой отдельной ступени, а также возможность регулирования размеров смесительной камеры в пределах каждой отдельной ступени и/или модуля, позволяют регулировать рабочие/функциональные характеристики процесса (реакции) применительно к каждой отдельной ступени и/или модулю. Как раскрыто выше, изменение вышеуказанных элементов конструкции в каждой ступени и/или модуле позволяет с высокой точностью управлять относящимися к потоку текучей среды параметрами (объемом, скоростью, длительностями пребывания и т.п.) по отдельности в каждой ступени и/или модуле.

При этом реактор 100, 100А может также содержать разнообразные средства для создания возможности управления распределением давления и температуры в каждой из ступеней и/или модулей. Так, реактор может содержать средства сброса давления (элементы снижения давления) в каждой отдельной ступени или в нескольких выбранных ступенях, предпочтительно расположенные в каждой смесительной камере 4 (предпочтительно, в секциях 42 канала возврата). Они позволяют эксплуатировать реактор 100, 100А под низким (атмосферным) давлением, равным 1,01325 бар (абсолютное давление, абс.), или в диапазоне вакуума от 1 до 0 бар абс.

Раскрытая выше смесительная камера (смесительные камеры) 4 может быть выполнена с возможностью поддержания давления на нужном уровне во всех ступенях. Это позволяет, например, достичь больших изменений давления на протяжении реактора 100, 100А по сравнению, например, с осевыми решениями.

Управление перепадом давления и температурой позволяет увеличить возможность управления выходом реакции.

В целом регулирование смесительных камер 4 в части различных параметров конструкции, в частности площади поперечного сечения / зоны смешивания и длины/объема, существенно увеличивает возможность управления длительностями пребывания, давлением и температурой. Вышеуказанные относящиеся к смесительным камерам параметры можно изменять по отдельности. Краткие длительности пребывания, низкое давление и высокая температура (при этом всеми этими параметрами можно управлять в каждой ступени) эффективно способствуют достижению глубокой переработки и высокого выхода и снижению образования кокса.

Кроме того, реактор 100, 100А может также содержать средства регулирования давления на роторе во всех ступенях или в выбранных ступенях соответственно (не показаны).

В некоторых конфигурациях реактор 100, 100А может также содержать средства повышения давления (не показаны) в конкретной технологической ступени (технологических ступенях). Например, повышение давления в последней технологической ступени (например, в невыпускном модуле, расположенном непосредственно выше по потоку от выпускного модуля, и/или в выпускном модуле) до предварительно заданного значения позволяет свести к минимуму длительности пребывания в указанной последней технологической ступени и тем самым соответственно увеличить выход. Создание высокого давления в указанной последней ступени приводит к значительному снижению объемного расхода, что позволяет соответственно уменьшить размеры оборудования ниже по потоку (например, охлаждающего оборудования). Достигнутая благодаря этому экономия средств может существенно отразиться на капиталовложениях.

В некоторых случаях повышение давления до 2-4 бар абс. является предпочтительным; при этом регулирование значения давления в значительной мере зависит от желаемого выхода. Давление предпочтительно повышают при по существу постоянной температуре.

С учетом термодинамики, реакции пиролиза для получения легких олефинов предпочтительно проводить под низким давлением, создающим неблагоприятные условия для нежелательных процессов конденсации. Поэтому известные трубчатые печи работают по существу с атмосферным давлением на выходе. При этом из-за отсутствия средств эффективного регулирования давления в известных печах крекинга углеводородов работа при таком низком (атмосферном) давлении на всем протяжении реакционного устройства до сих пор не была возможна. Предложенное решение позволяет, помимо прочего, повысить гибкость регулирования параметров давления на всем протяжении реакционного устройства.

Аналогичным образом возможность регулирования парциального давления углеводородов в отдельных ступенях можно обеспечить за счет создания средств впрыска разбавителя (окон, клапанов, вентиляционных отверстий и т.п.) в каждой ступени и/или модуле. По мере роста содержания разбавителя, соответственно падает парциальное давление углеводородов, что способствует повышению выхода целевого продукта (целевых продуктов), например легкого олефина (легких олефинов), и уменьшению отложений кокса. Например, подтвержденным и признанным является факт того, что снижение парциального давления (например, с 30 фунтов на квадратный дюйм абс. или приблизительно 207 кПа до 10 фунтов на квадратный дюйм абс. или приблизительно 69 кПа) позволяет существенно повысить максимальный вы-

ход углеводородного продукта с по существу высокими (приблизительно 80%) степенями конверсии.

Помимо разбавителей, можно реализовать впрыск сырьевых веществ и/или иных реагентов в каждой отдельной ступени и/или модуле для оптимизации выходов реакций.

Фиг. 5 изображает пример реакционного устройства 100, содержащего дополнительную перегонную и/или теплообменную установку 6. Следует понимать, что устройство в варианте осуществления 100А также может содержать такую же установку. Дополнительная установка 6 предпочтительно выполнена с возможностью соединения с указанным по меньшей мере одним (центральным) невыпускным модулем 20А, 20В, 20С, 20D, образованным между впускным модулем 21 и выпускным модулем 22 коллекторной/трубной обвязкой 7. Указанный коллектор содержит по меньшей мере одну линию, представляющую собой рукав 7а трубопровода, например, для отвода технологической текучей среды из реактора и для направления указанной технологической текучей среды в установку 6 и по меньшей мере одну линию 7b для направления технологической текучей среды обратно в реактор.

В некоторых вариантах осуществления дополнительная установка 6 выполнена как теплообменная установка с возможностью охлаждения технологической текучей среды, направленной в нее по указанному по меньшей мере одному трубопроводу 7а. В качестве примера установка 6 может быть сконструирована с возможностью охлаждения технологической текучей среды, нагретой до 900-1000°C, до приблизительно 700°C. Далее происходит направление охлажденной текучей среды в реактор по трубопроводу 7b. Охлаждение технологической текучей среды по существу в "серединой точке" реакции позволяет дополнительно оптимизировать выходы реакций.

В частности, вышеуказанные системы обеспечивают преимущество при проведении термического разложения производных от биомассы сырьевых веществ.

В некоторых других вариантах осуществления дополнительная установка 6 может быть выполнена в виде перегонной установки с возможностью экстракции и/или извлечения водорода, например. В этом случае поступающую технологическую текучую среду (т.е. технологическую текучую среду, извлеченную из устройства 100, 100А) подвергают дегидрогенизационной переработке или серии переработок с последующим направлением дегидрогенизированной текучей среды обратно в устройство по трубопроводу 7b. Эта система обеспечивает возможность дополнительного извлечения водорода (H<sub>2</sub>).

В некоторых вариантах осуществления установка 6 может быть выполнена с возможностью сочетания в себе теплообменника и установки извлечения водорода.

Система 6 по существу может дополнительно содержать любую другую установку извлечения и/или перегонную установку.

В некоторых случаях технологическую текучую среду извлекают и возвращают в тот же самый невыпускной модуль. В некоторых других случаях технологическую текучую среду возвращают в какой-либо невыпускной модуль, следующий за модулем извлечения. Предпочтительно, чтобы и модуль "извлечения", и модуль "возврата" были расположены между впускным модулем и выпускным модулем и/или до последней технологической ступени.

Предпочтительно, чтобы происходило направление всей технологической текучей среды в систему 6 охлаждения и тем самым по существу "опорожнение" реактора. При этом не исключена возможность частичного отвода вещества. В любом случае, в пределах реактора 100, 100А может быть расположена по меньшей мере одна перегородка для направления (всего или части) технологического потока в систему 6 охлаждения и/или предотвращения перемешивания охлажденной текучей среды с нагретой текучей средой.

Параллельно или последовательно соединенные по меньшей мере два реакционных устройства 100, 100А могут образовывать реакторный агрегат (не показан). Соединение между указанными устройствами может быть механическим и/или функциональным. Функциональное (например, химическое) соединение может быть создано путем создания связи между по меньшей мере двумя отдельными, физически объединенными или не объединенными, реакторами 100, 100А. В последнем случае соединение между указанными по меньшей мере двумя устройствами 100, 100А может быть создано посредством одной или нескольких вспомогательных установок (не показаны). В некоторых конфигурациях данная система содержит по меньшей мере два устройства, соединенные с возможностью дублирования друг друга, причем указанные по меньшей мере два устройства соединены по меньшей мере функционально посредством их центральных валов. Дублирующая конфигурация также может означать, что указанные по меньшей мере два устройства 100, 100А механически соединены последовательно (в определенной последовательности), при этом их функциональное (например, химическое) соединение можно рассматривать как параллельное (группами).

В некоторых случаях вышеуказанная "дублирующая" система также может быть модифицирована так, чтобы она содержала по меньшей мере два входа и общий выпускной (выходной) модуль, расположенный по существу в центре системы.

В еще одном аспекте предложено применение реакционного устройства 100, 100А для термического или термохимического крекинга углеводородсодержащего сырья.

В выбранных вариантах осуществления реактор 100, 100А может быть выполнен с возможностью

реализации по меньшей мере одного процесса, выбранного из группы, состоящей из переработки углеводородного сырья, предпочтительно содержащего средние и легкие фракции углеводородов; переработки газифицированного углеводородсодержащего сырьевого вещества, переработки газифицированного сырьевого вещества, содержащего глицериды и/или жирные кислоты, и переработки газифицированного вещества на основе целлюлозной биомассы. Таким образом, реактор 100, 100А может быть выполнен с возможностью переработки кислородсодержащих сырьевых веществ, производных от биосырья, например. В число возможных областей применения входят переработка вещества на основе биомассы или производного от биомассы для производства возобновляемого топлива по таким технологиям, как, например, прямая каталитическая гидрогенизация растительного масла или животных жиров с получением соответствующих алканов. Реактор также может быть выполнен с возможностью повышения ценности (улучшения или рафинации газообразного вещества) пиролизного биогаза или сингаза.

Согласно другому аспекту предложен способ проведения химических реакций в технологической текучей среде, включающий в себя по меньшей мере следующие этапы, на которых

а) получают реакционное устройство 100, 100А, содержащее центральный вал 1 с одним или несколькими установленными на нем осерадиальными роторами, при этом каждый указанный ротор содержит множество осерадиальных роторных лопастей 3, расположенных по окружности установленного на центральном валу диска, множество неподвижных лопаток 2, расположенных выше по потоку от ротора, и смесительную камеру 4, расположенную ниже по потоку от ротора, причем множество неподвижных лопаток 2, множество осерадиальных роторных лопастей 3 и смесительная камера 4 образуют технологическую ступень;

б) регулируют частоту вращения ротора до предварительно заданной частоты или диапазона частот для достижения расхода потока технологической текучей среды, удовлетворяющего потребности технологического процесса;

в) регулируют уровень предварительного нагрева содержащей сырье технологической текучей среды; и

д) направляют поток содержащей сырье технологической текучей среды далее через указанную по меньшей мере одну ступень таким образом, чтобы преобразовать в смесительной камере механическую энергию, сообщаемую технологической текучей среде ротором, во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды, обеспечивая таким образом условия для прохождения химических реакций в технологической текучей среде.

Регулирование уровня предварительного нагрева содержащей сырье технологической текучей среды позволяет с высокой точностью управлять запуском реакции и тем самым оптимизировать выход реакции и однородность продукта.

В некоторых вариантах осуществления сырье содержит углеводороды. В некоторых случаях сырье содержит по меньшей мере одно алкановое сырье (этан, пропан, бутан), нефтяное сырье (тяжелый бензин), газойль и/или любое другое сырье, пригодное для получения по существу низкомолекулярных, предпочтительно, ненасыщенных углеводородов, например, олефинов (этилен, пропилен, бутилен) и ацетилена.

Предпочтительно, чтобы длительности пребывания и/или выход можно было регулировать по отдельности в каждой ступени путем помодульного изменения геометрических и/или размерных параметров смесительной камеры 4. Как раскрыто выше, такая система позволяет предотвратить или по меньшей мере значительно уменьшить загрязнение/образование кокса. Кроме того, регулирование длительности пребывания и подвода энергии в конкретных ступенях позволяет управлять выходом конкретного предпочтительного продукта реакции.

В дополнительных вариантах осуществления расход потока содержащей сырье технологической текучей среды можно регулировать в ходе эксплуатации. Это достигается, например, за счет регулируемого угла установки неподвижной лопатки. Данная возможность управления, в частности, важна для управления процессами в этиленовых установках.

В некоторых вариантах осуществления способ также включает в себя этап, на котором повышают давление в невыпускном модуле, расположенном выше по потоку от выпускного модуля, и/или в выпускном модуле.

В других вариантах осуществления способ может также включать в себя этап, на котором отводят технологическую текучую среду из реактора 100, 100А по меньшей мере через одну линию 7а отвода текучей среды и направляют указанную технологическую текучую среду в систему 6 охлаждения, где технологическую текучую среду охлаждают, и далее направляют охлажденную технологическую текучую среду обратно в реактор по меньшей мере через одну линию 7б возврата текучей среды.

Специалисту в данной области техники будет понятно, что, с развитием технологии, основные идеи настоящего изобретения можно будет реализовать разными путями. Изобретение и варианты его осуществления могут в принципе быть разными без отступления от объема прилагаемой формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство (100, 100А) для проведения химических реакций в технологической текучей среде, содержащее

центральный вал (1) с одним или несколькими установленными на нем осерадиальными роторами, при этом каждый указанный ротор содержит множество осерадиальных роторных лопастей (3), расположенных по окружности диска (3а), установленного на центральном валу;

множество неподвижных лопаток (2), расположенных выше по потоку от ротора; и

смесительную камеру (4), представляющую собой безлопаточную и/или лопаточную смесительную камеру, расположенную ниже по потоку от ротора,

причем смесительная камера выполнена с возможностью преобразования механической энергии, сообщаемой технологической текучей среде ротором, во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды и создания условий для прохождения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде.

2. Устройство (100, 100А) по п.1, содержащее по меньшей мере два ротора, установленных один за другим на центральном валу.

3. Устройство (100, 100А) по любому из пп.1 или 2, в котором множество неподвижных лопаток (2), множество осерадиальных роторных лопастей (3) и смесительная камера (4) образуют технологическую ступень, выполненную с возможностью реализации полного цикла преобразования энергии.

4. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором неподвижные лопатки представляют собой входные направляющие лопатки, выполненные с возможностью направления потока технологической текучей среды в ротор в предварительно заданном направлении для управления удельной производительностью ротора по подводу энергии.

5. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором неподвижные лопатки выполнены с возможностью направления потока технологической текучей среды с предварительной закруткой в ротор в направлении по существу вдоль меридиональной осесимметричной плоскости X-г.

6. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором роторные лопасти выполнены с возможностью при вращении ротора приема по существу осевого потока технологической текучей среды от неподвижных лопаток и дальнейшего поворота указанного потока с предварительной закруткой по существу в радиальном направлении, сообщая таким образом механическую энергию технологической текучей среде путем повышения ее тангенциальной скорости.

7. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором ротор выполнен в части профилей и размеров роторных лопастей, а также их расположения на диске с возможностью управления подводом механической энергии к технологической текучей среде.

8. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором указанный по меньшей мере один ротор содержит бандаж (3b), выполненный с возможностью покрытия множества роторных лопастей (3).

9. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором смесительная камера выполнена с возможностью преобразования кинетической или механической энергии технологической текучей среды во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды.

10. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором смесительная камера (4) образована трубопроводом, содержащим по меньшей мере изогнутую секцию (41) и следующую за ней секцию (42) канала возврата.

11. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором смесительная камера (4) в каждой ступени выполнена с возможностью регулирования ее геометрических и/или размерных параметров.

12. Устройство (100, 100А) по п.10, в котором любая из изогнутой секции (41) и секции (42) канала возврата в смесительной камере (4) выполнена с возможностью регулирования по меньшей мере формы, длины, поперечного сечения и пространственного расположения в устройстве.

13. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором смесительная камера (4) также содержит по меньшей мере один дополнительный компонент, представляющий собой, но неограниченный им, неподвижную лопатку или лопатки, турбулизатор, дроссельное устройство, сетку, устройство направления потока, щель и т.п.

14. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором смесительная камера (4) содержит диффузор (4b).

15. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором указанный диффузор является лопаточным или безлопаточным.

16. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором неподвижные лопатки (2) и/или роторные лопасти (3) выполнены с возможностью изменения в каждой ступени по меньшей мере их размеров, относительного расположения и пространственного расположения относительно предварительно заданных или заводских.

17. Устройство (100, 100А) по любому из предыдущих пунктов, в котором неподвижные лопатки (2)

и/или роторные лопасти (3) выполнены с возможностью регулирования по отдельности в каждой ступени по меньшей мере их размеров, относительного расположения и пространственного расположения в ходе эксплуатации устройства.

18. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, дополнительно содержащее корпус (20), выполненный с возможностью вмещения центрального вала и указанной по меньшей мере одной ступени.

19. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, выполненное в виде модульной конструкции, в котором корпус (20) образован несколькими расположенными один за другим модулями (21, 20A, 20B, 20C, 20D, 22).

20. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, содержащее по меньшей мере один невыпускной модуль (20A, 20B, 20C, 20D) и выпускной модуль (22).

21. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором выпускной модуль (22) содержит по меньшей мере одну выходную линию (12) для выпуска технологической текучей среды, расположенную в направлении по окружности относительно горизонтальной оси устройства, заданной центральным валом, причем смесительная камера выпускного модуля представляет собой выпускную смесительную камеру (4a), образованную внутри выходной линии.

22. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором выпускной модуль (22) также содержит по меньшей мере один дополнительный компонент, представляющий собой, но не ограниченный им, окно впрыска, патрубок, коллектор и т.п.

23. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором в указанной модульной конструкции ступень образована указанным по меньшей мере одним модулем.

24. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, дополнительно содержащее впускной модуль (21), расположенный выше всего по направлению потока текучей среды и выполненный с возможностью приема содержащей сырье технологической текучей среды по меньшей мере через одну приемную линию (11), расположенную в направлении по окружности относительно горизонтальной оси устройства, заданной центральным валом.

25. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором ступень образована впускным модулем (21) и выпускным модулем (22).

26. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором число модулей в модульной конструкции можно регулировать путем добавления, замены и/или удаления указанного по меньшей мере одного невыпускного модуля (20A, 20B, 20C, 20D), установленного между впускным модулем (21) и выпускным модулем (22).

27. Устройство (100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором внутреннее пространство корпуса (20) выполнено с возможностью примыкания вплотную к неподвижным лопаткам (2), осерадиальным роторным лопастям (3) и смесительной камере (4).

28. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором корпус (20) также содержит верхнюю часть (201) и нижнюю часть (202) относительно горизонтального поперечного сечения устройства, причем указанная верхняя часть выполнена с возможностью охватывания по меньшей мере изогнутой секции (41) канала, образующего смесительную камеру (4) в каждом модуле.

29. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором указанная верхняя часть (201) также выполнена с возможностью охватывания по меньшей мере части секции (42) канала возврата.

30. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором указанная верхняя часть (201) корпуса в каждом отдельном модуле выполнена с возможностью отсоединения и замены.

31. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, выполненное с одной или несколькими каталитическими поверхностями.

32. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором корпус (20) выполнен со стенками толщиной не более 30 мм, предпочтительно в пределах 5-20 мм.

33. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, в котором каждая технологическая ступень и/или каждый модуль выполнены в части конструкции и/или возможности управления их работой независимыми от других ступеней и/или модулей.

34. Устройство (100, 100A) по любому из предыдущих пунктов, также содержащее дополнительную перегонную и/или теплообменную установку (6), выполненную с возможностью соединения с указанным по меньшей мере одним невыпускным модулем (20A, 20B, 20C, 20D), расположенным между впускным модулем (21) и выпускным модулем (22).

35. Применение устройства по любому из пп.1-34 для термического или термохимического крекинга углеводородсодержащего сырья.

36. Применение по п.35 для реализации по меньшей мере одного процесса, выбранного из группы, состоящей из переработки углеводородного сырья, предпочтительно содержащего средние и легкие фракции углеводородов; переработки газифицированного углеводсодержащего сырьевого вещества, переработки газифицированного сырьевого вещества, содержащего глицериды и/или жирные кислоты, и переработки газифицированного вещества на основе целлюлозной биомассы.



37. Система, содержащая по меньшей мере два устройства по любому из пп.1-34, функционально соединенные параллельно или последовательно.

38. Система по п.37, в которой указанные по меньшей мере два устройства соединены с возможностью дублирования друг друга, причем их валы соединены по меньшей мере функционально.

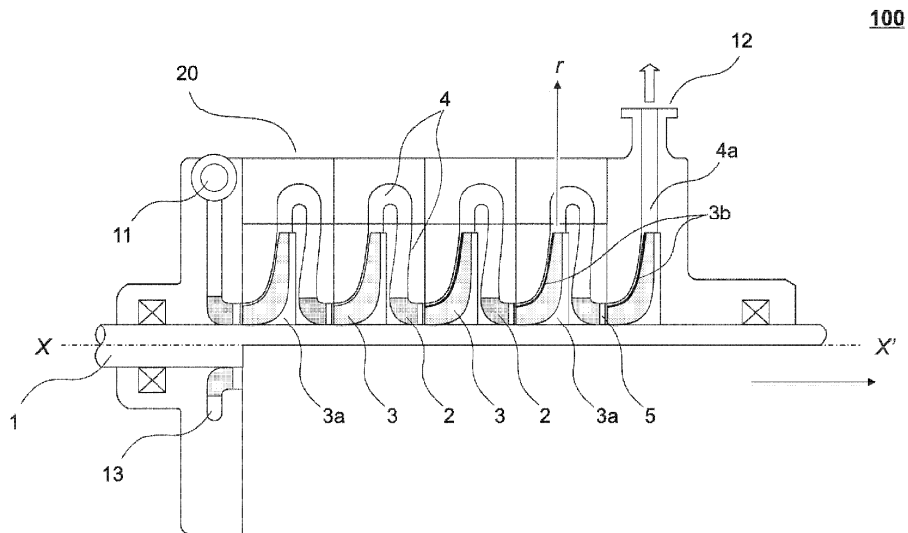
39. Способ проведения химических реакций в технологической текучей среде с использованием устройства по любому из пп.1-34, включающий в себя этапы, на которых

- a) обеспечивают указанное устройство;
- b) регулируют частоту вращения ротора до предварительно заданной частоты или диапазона частот для достижения расхода потока технологической текучей среды, удовлетворяющего потребности технологического процесса;
- c) регулируют уровень предварительного нагрева технологической текучей среды, содержащей сырье;
- d) направляют поток технологической текучей среды, содержащей сырье, далее через указанную по меньшей мере одну ступень таким образом, чтобы преобразовать в смесительной камере механическую энергию, сообщаемую технологической текучей среде ротором, во внутреннюю энергию указанной технологической текучей среды, обеспечивая таким образом условия для прохождения химических реакций в технологической текучей среде.

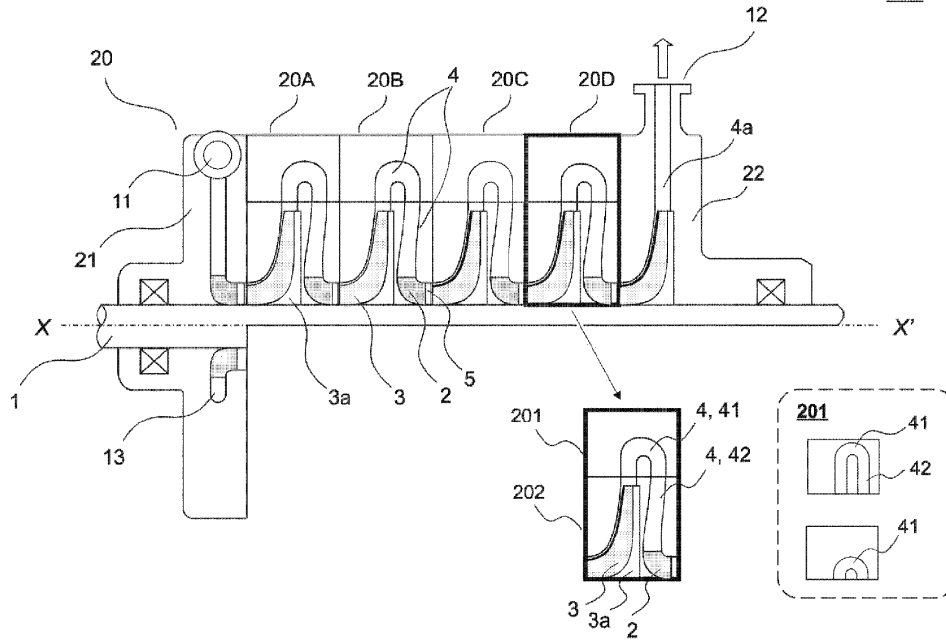
40. Способ по п.39, отличающийся тем, что сырье содержит углеводороды.

41. Способ по любому из пп.39 или 40, в котором длительности пребывания и/или выход можно регулировать по отдельности в каждой ступени путем помодульного изменения геометрических и/или размерных параметров смесительной камеры.

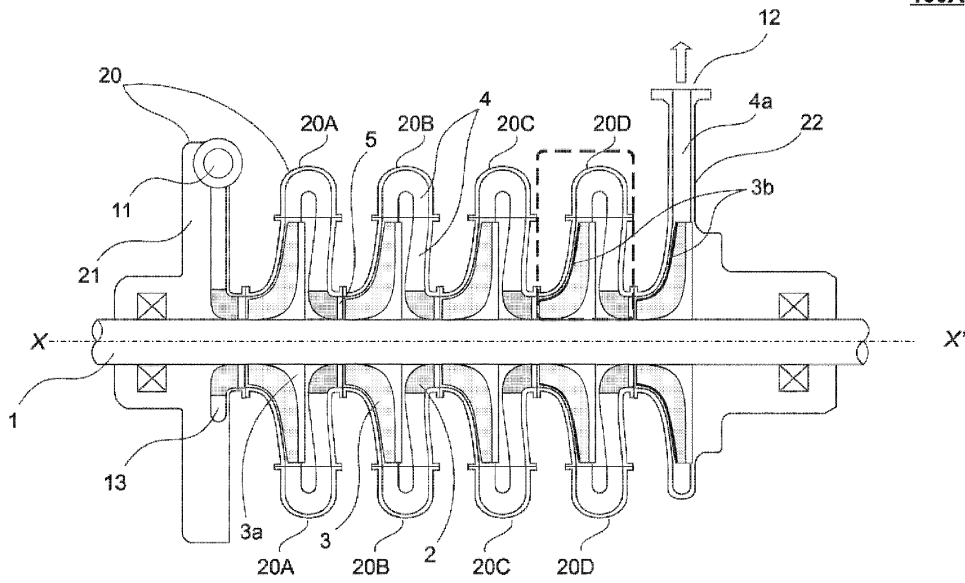
42. Способ по любому из пп.39-41, в котором расход потока технологической текучей среды, содержащей сырье, можно регулировать в ходе эксплуатации.



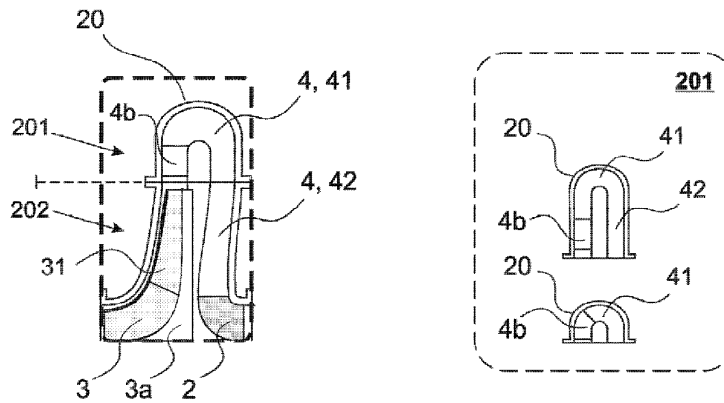
Фиг. 1А



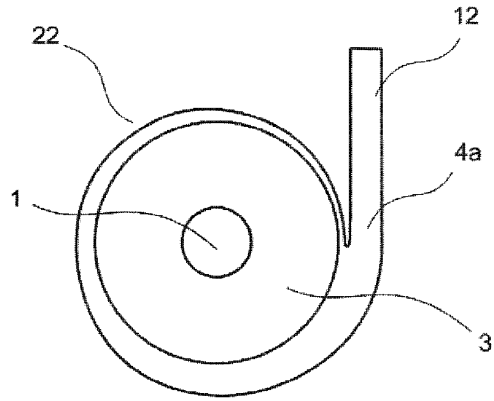
Фиг. 1B



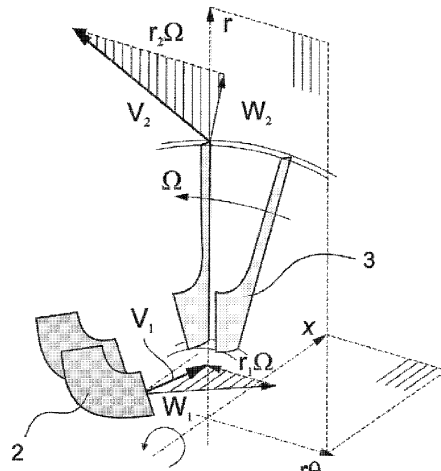
Фиг. 2A



Фиг. 2B

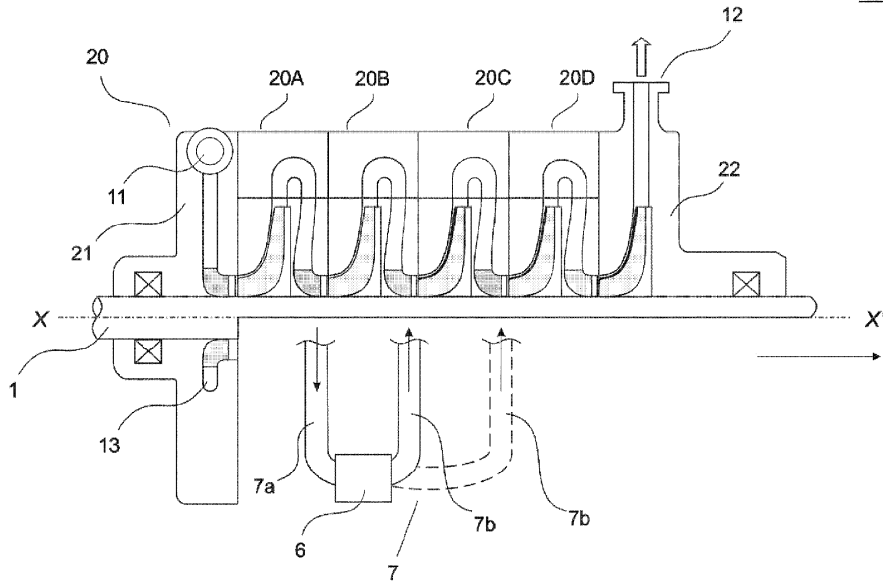


Фиг. 3

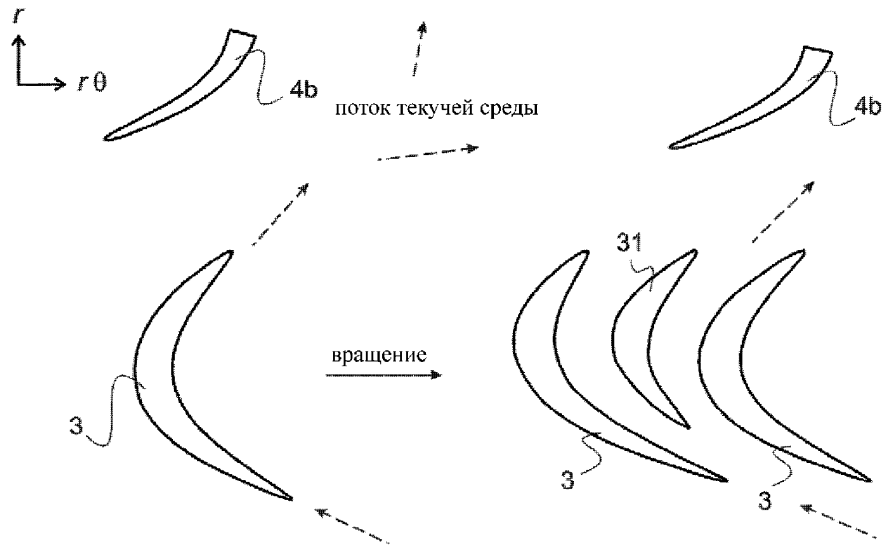


Фиг. 4

100

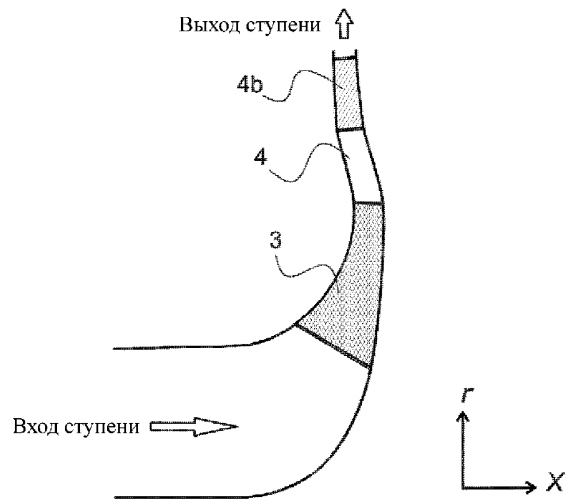


Фиг. 5



Фиг. 6А

Фиг. 6В



Фиг. 6С