

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **024157**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2016.08.31**

(21) Номер заявки  
**201290039**

(22) Дата подачи заявки  
**2010.07.28**

(51) Int. Cl. **C10J 3/00** (2006.01)  
**C10L 3/08** (2006.01)  
**C10G 2/00** (2006.01)  
**C07C 31/00** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ИЗ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА**

---

(31) **61/231,261; 12/844,728**

(32) **2009.08.04; 2010.07.27**

(33) **US**

(43) **2012.11.30**

(86) **PCT/US2010/043532**

(87) **WO 2011/017158 2011.02.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЭЙЧ А ДИ КОРПОРЕЙШН (US)**

(72) Изобретатель:  
**Хассан Азиз, Хассан Аббас, Энтони  
Рэйфорд Г., Борсинджер Грегори (US)**

(74) Представитель:  
**Нилова М.И. (RU)**

(56) **US-A1-20090003126**  
**US-B2-6822007**  
**US-A1-20070186472**  
**US-A1-20040157941**

(57) В настоящей заявке описан способ получения синтез-газа из углеродсодержащего материала, включающий: (а) обеспечение смеси, включающей углеродсодержащий материал и жидкую среду; (b) воздействие на смесь высокой скорости сдвига в условиях газификации с получением потока, обработанного с высокой скоростью сдвига и включающего синтез-газ; и (с) отделение продукта, включающего синтез-газ, от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига. В настоящей заявке описан также способ получения жидкого продукта. Способ включает получение дисперсии, включающей пузырьки газа, диспергированные в жидкой фазе в устройстве с высокой скоростью сдвига, причем средний диаметр пузырьков газа меньше чем примерно 1,5 мкм; приведение дисперсии в контакт с многофункциональным катализатором с получением жидкого продукта и выделение жидкого продукта. В одном из вариантов реализации изобретения жидкий продукт выбран из группы, состоящей из углеводородов C<sub>2+</sub>, кислородсодержащих соединений C<sub>2+</sub> и их комбинаций.

**B1**

**024157**

**024157**  
**B1**

### **Перекрестная ссылка на родственные заявки**

В соответствии с положениями § 119 (е) Раздела 35 Свода законов США настоящая заявка испрашивает приоритет согласно предварительной заявке на патент США № 61/231261, поданной 4 августа 2009 г. Настоящая заявка является частично частичным продолжением заявки на патент США № 12/140763, поданной 17 июня 2008 г., которая в соответствии с положениями § 119 (е) Раздела 35 Свода законов США испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 60/946444, поданной 27 июня 2007 г., и предварительной заявки на патент США № 61/039235, поданной 25 марта 2008 г. Настоящая заявка является также частичным продолжением заявки на патент США № 12/138269, поданной 12 июня 2008 г., которая в соответствии с положениями § 119 (е) Раздела 35 Свода законов США испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 60/946468, поданной 27 июня 2007 г. Содержание каждой из вышеупомянутых заявок полностью включено в настоящую заявку посредством ссылки.

### **Область техники**

Настоящее изобретение, в целом, относится к производству синтез-газа из углеводородных источников, таких как каменный уголь, торф, кокс, метан, биогаз, коксовый газ и других углеводородных источников. Настоящая заявка относится также к превращению легких газов (таких как окись углерода, двуокись углерода, метан, водород и/или вода) в углеводороды и/или жидкие кислородсодержащие соединения. В частности, изобретение относится к устройству и способам для производства жидких кислородсодержащих соединений и/или углеводородов с использованием высокой скорости сдвига.

### **Уровень техники**

Растущее количество выбросов диоксида углерода является причиной глобального потепления. Это большая проблема, требующая решения со стороны ученых и правительств из-за того влияния, которое она оказывает на окружающую среду. Все более широкое использование ископаемого топлива в качестве источника энергии и тепла является основной причиной увеличения выбросов диоксида углерода. Сжигание ископаемого топлива - это экзотермический процесс, в котором выделяющаяся энергия обычно используется для нагревания и/или превращения в другие формы энергии, такие как механическая энергия. Широко распространены также химические реакции окисления углеводородов, такие как окисление этилена, реакции Фишера-Тропша и другие реакции. Состав получающихся продуктов горения углеводородов зависит от состава углеводорода, но основными продуктами являются двуокись углерода и вода. Считают, что выброс большого количества диоксида углерода в атмосферу наносит вред окружающей среде, поэтому предпринимаются попытки снижения выбросов диоксида углерода для того, чтобы уменьшить отрицательное воздействие выбросов на окружающую среду.

Эффективное решение проблемы отрицательного воздействия выбросов диоксида углерода на окружающую среду должно приводить к фактическому уменьшению выбросов диоксида углерода. Технологии извлечения диоксида углерода могут потреблять большое количество энергии, той энергии, которую получают из ископаемого топлива, и, таким образом, фактическое уменьшение выбросов диоксида углерода либо незначительно, либо его нет, или, в худшем случае, производство диоксида углерода фактически увеличивается.

Процесс, который позволяет повторно использовать двуокись углерода для производства ценного продукта, такого как топливо или химической сырьё, был бы очень полезен для уменьшения предполагаемого влияния диоксида углерода на глобальное потепление. Кроме того, было бы полезно разработать процесс для превращения диоксида углерода в жидкое топливо, которое можно транспортировать и/или использовать в качестве сырья для процессов переработки нефти или нефтехимических процессов.

Метан является важным компонентом органических реакций, используемых в промышленности, а также важным источником энергии. Содержание метана в природном газе может варьировать в интервале от примерно 40 об.% до примерно 95 об.%. Другими составляющими природного газа могут быть этан, пропан, бутаны, пентан (и более тяжелые углеводороды), сероводород, двуокись углерода, гелий и азот. Жидкий природный газ имеет плотность 0,415 и температуру кипения минус 162°C. Следовательно, он с трудом поддается транспортировке в жидком виде, за исключением перевозки морским транспортом в очень больших емкостях с малым отношением поверхности к объему. Для крупномасштабного использования природного газа часто требуется сложная и протяженная система трубопроводов. Значительная доля разведанных запасов природного газа связана с удаленными месторождениями, доступ к которым затруднен. Для многих из этих месторождений прокладка трубопроводов для доставки газа к потенциальным потребителям экономически не выгодна. В отрасли давно ведутся поиски экономичных способов транспортировки газа с удаленных месторождений с использованием превращения газа в жидкость.

Хорошо известен способ многоступенчатого превращения метана в метанол с использованием парового риформинга для производства синтез-газа на первой стадии и последующего каталитического синтеза метанола. Помимо технической сложности и высокой стоимости этого двухстадийного, прямого синтеза, метанол пользуется ограниченным спросом на рынке, и, таким образом, данный процесс не может рассматриваться как практичный способ использования природного газа с удаленных месторождений.

Способ, который обеспечивает эффективные способы каталитического превращения метанола в

бензин, описан в патенте США № 3894107 (Баттер с соавт. (Butter et al.)). Несмотря на то что рынок сбыта бензина больше, чем рынок сбыта метанола, и, несмотря на то что этот процесс реально использовался в Новой Зеландии, он сложен, а его целесообразность оказывается ограниченной теми ситуациями, когда стоимость поставки бензина из альтернативных источников высока. Из-за высокой стоимости производства бензина по этому способу, эксплуатация процесса была прекращена.

Попытки провести частичное окисление метана в жидкие соединения (такие как метанол или этанол) в газовой фазе были недостаточно успешными из-за трудностей контроля имеющих место процессов с участием свободных радикалов. Так как метанол более реакционноспособен чем метан, невозможно было избежать нежелательного образования CO и CO<sub>2</sub> за счет вторичного горения. Несмотря на то что сообщалось о различных катализаторах, главным образом оксидах металлов, для частичного окисления метана в метанол, для реакции требовалась высокая температура, а те выходы метанола, о которых сообщалось, как правило, не превышали 10%.

О других подходах к превращению метана в метанол сообщали Бьернум (Bjerrum), патент США № 6380444; Перьяна (Periana), патент США № 5233113; и Чанг (Chang), патент США № 4543434. Общая реакционная система, применяющаяся в этих подходах, использует небольшое количество инициатора свободных радикалов (кислота), который отнимает атом водорода у метана с образованием метиловых радикалов и небольшого количества кислоты. В некоторых патентах показано, что метан можно превратить в метилбисульфат в одностадийном процессе с использованием благородного металла VIII группы (такого как платина или палладий) в качестве катализатора и сильной неорганической кислоты, такой как серная кислота. Другие патенты описывают процессы, которые не используют катализатор для превращения метана в метанол (например, европейский патент № 1558353). Аналогичным образом для превращения метана в метанол использовались также хлорсодержащие и другие галогенсодержащие кислоты и другие жидкости. Для этих процессов характерны проблемы с коррозией при повышенной температуре, относительно низкие выходы метанола и образование нежелательных побочных продуктов.

Заявка на патент США № 7282603, поданная Ричардсом (Richards), описывает безводную переработку метана в метансульфоновую кислоту, метанол и другие соединения и дает обзор некоторых предшествующих подходов к превращению метана в метанол. В подходе Ричардса удается избежать использования или образования воды и используется соединение, иницирующее свободные радикалы, такое как газообразный галоген или Маршаллова (пероксидисерная) кислота для образования метиловых радикалов.

Существующие способы и технологическое оборудование для производства жидкостей из метана, как правило, имеют различные ограничения, такие как ограничения по массовому расходу и выходу продукта, и ограничения по требованиям к размеру установки и потреблению энергии.

Таким образом, с учетом уровня техники в данной области существует потребность в эффективных и экономичных способах и системах для превращения диоксида углерода и/или низкомолекулярных алканов в ценные продукты в таких способах и системах, в которых выбросы диоксида углерода в окружающую среду могут быть снижены, и/или в такой системе и процессе, в которых поток легкого газа, включающего в себя двуокись углерода и/или метан, может быть превращен в жидкий продукт. Описанная в настоящей заявке система и процесс для превращения диоксида углерода в углеводороды и/или кислородсодержащие соединения за счет использования реактора с высокой скоростью сдвига направлена на решение проблемы парникового газа. Такие системы и способы должны обеспечить повышенную селективность и выход жидких кислородсодержащих соединений и степень превращения метана и/или диоксида углерода, одновременно с этим позволяя работать в более благоприятных условиях рабочей температуры, давления и/или времени реакции.

#### **Краткое описание изобретения**

В настоящей заявке раскрыт способ получения синтез-газа из углеродсодержащего материала, способ включает: (a) обеспечение смеси, включающей углеродсодержащий материал и жидкую среду; (b) воздействие на смесь высокой скорости сдвига в условиях газификации с получением потока, обработанного высокой скоростью сдвига и включающего синтез-газ; и (c) отделение продукта, включающего синтез-газ от потока, обработанного высокой скоростью сдвига. В одном из вариантов реализации изобретения стадия (b) воздействие на смесь высокой скорости сдвига с получением потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, включающего в себя синтез-газ, включает в себя приведение смеси в контакт по меньшей мере с одним газом или паром, выбранным из группы, состоящей из водяного пара, водорода, воздуха, кислорода и попутного газа.

В одном из вариантов реализации изобретения способ дополнительно включает в себя приведение смеси в контакт с катализатором, который способствует образованию синтез-газа. В одном из вариантов реализации изобретения способ дополнительно включает в себя повторное использование на стадии (a) отделенного на стадии (c) непрореагировавшего углеродсодержащего материала, отделенной жидкой среды или их обоих. В одном из вариантов реализации изобретения углеродсодержащий материал включает кокс, каменный уголь, торф, природный газ или их комбинацию. В некоторых случаях каменный уголь выбран из группы, состоящей из битуминозного угля, антрацита и лигнита. В одном из вариантов реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя порошкообразный каменный

уголь или метан угольного пласта.

В одном из вариантов реализации изобретения способ дополнительно включает в себя использование по меньшей мере части синтез-газа для получения жидкого продукта, включая получение дисперсии синтез-газа в жидкой фазе. В одном из вариантов реализации изобретения использование по меньшей мере части синтез-газа для получения жидкого продукта, включая проведение каталитической реакции с участием по меньшей мере части синтез-газа с получением углеводов, полученных по методу Фишера-Тропша. В одном из вариантов реализации изобретения жидкий продукт включает в себя жидкие углеводороды и спирты. В одном из вариантов реализации изобретения жидкий продукт включает преимущественно жидкие углеводороды, преимущественно спирты, или, по существу, равные количества спиртов и жидких углеводородов. В одном из вариантов реализации изобретения жидкая фаза включает один или несколько жидких углеводородов, полученных по методу Фишера-Тропша, один или несколько спиртов или их комбинацию. В одном из вариантов реализации изобретения способ получения дисперсии включает введение синтез-газа и жидкого носителя в устройство с высокой скоростью сдвига, включающее по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор и обеспечивающее линейную скорость конца лопасти по меньшей мере 23 м/с, причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения. В одном из вариантов реализации изобретения способ дополнительно включает введение дисперсии в реактор, включающий неподвижный слой катализатора или кипящий слой катализатора. В одном из вариантов реализации изобретения способ производства жидкого продукта, включающего спирт, из синтез-газа включает введение синтез-газа, полученного с использованием описанного здесь способа, и жидкого носителя в устройство с высокой скоростью сдвига, включающее по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор соответствующей формы; и воздействие на содержимое устройства с высокой скоростью сдвига, скоростью сдвига по меньшей мере  $10000 \text{ с}^{-1}$ , причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения. В настоящей заявке раскрыт также способ получения жидкого продукта. Способ включает получение дисперсии, включающей пузырьки газа, диспергированные в жидкой фазе, в устройстве с высокой скоростью сдвига, причем средний диаметр газовых пузырьков меньше чем примерно 1,5 мкм; приведение дисперсии в контакт с многофункциональным катализатором с получением жидкого продукта и выделение жидкого продукта. В одном из вариантов реализации изобретения жидкий продукт выбран из группы, состоящей из углеводов  $C_{2+}$ , кислородсодержащих соединений  $C_{2+}$  и их комбинаций. В одном из вариантов реализации изобретения газ выбран из группы, состоящей из диоксида углерода, метана, этана, пропана, бутана, пентана, метанола и их комбинаций. В одном из вариантов реализации изобретения газ включает источник водорода или жидкая фаза включает источник водорода. В одном из вариантов реализации изобретения газ включает синтез-газ. В некоторых случаях синтез-газ получают с использованием риформинга природного газа. В некоторых случаях синтез-газ получают газификацией твердых веществ. В одном из вариантов реализации изобретения твердое вещество выбрано из группы, состоящей из каменного угля, биомассы и биологически возобновляемых веществ.

В одном из вариантов реализации изобретения многофункциональный катализатор ускоряет реакции Фишера-Тропша. В одном из вариантов реализации изобретения многофункциональный катализатор ускоряет реакции дегидрогенирования. В одном из вариантов реализации изобретения многофункциональный катализатор ускоряет реакции образования спирта. В одном из вариантов реализации изобретения многофункциональный катализатор ускоряет по меньшей мере две из следующих реакций: дегидрогенирования, диссоциации воды, диссоциации диоксида углерода, риформинга синтез-газа и синтеза спирта. В одном из вариантов реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига, включает каталитическую поверхность.

В настоящей заявке описана система для получения жидкого продукта, включающая по меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, включающее по меньшей мере один вход, по меньшей мере один выход, по меньшей мере один статор и по меньшей мере один ротор, разделенные рабочим зазором, причем рабочий зазор - это минимальное расстояние между по меньшей мере одним ротором и по меньшей мере одним статором, и при этом перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига способно создавать линейную скорость конца лопасти по меньшей мере одного ротора больше чем 22,9 м/с (4500 футов в минуту); и насос, сконфигурированный для подачи жидкого потока, включающего жидкую среду, через по меньшей мере один вход, к перемешивающему устройству с высокой скоростью сдвига. В одном из вариантов реализации изобретения система дополнительно включает реактор, включающий по меньшей мере один вход и по меньшей мере один выход, причем по меньшей мере один вход соединен с возможностью пропускания текучей среды по меньшей мере с одним выходом устройства с высокой скоростью сдвига и по меньшей мере один выход реактора сконфигурирован для извлечения жидкого продукта.

В одном из вариантов реализации изобретения реактор является реактором Фишера-Тропша, реактором с неподвижным слоем или суспензионным реактором. В одном из вариантов реализации изобретения реактор включает многофункциональный катализатор. В одном из вариантов реализации изобрете-

ния многофункциональный катализатор ускоряет как реакции Фишера-Тропша, так и реакции образования спиртов, или как реакции дегидрогенирования, так и реакции образования спиртов. В одном из вариантов реализации изобретения многофункциональный катализатор ускоряет по меньшей мере две из следующих реакций: дегидрогенирования, диссоциации воды, диссоциации диоксида углерода, риформинга синтез-газа и синтеза спирта. В одном из вариантов реализации изобретения перемешивающее устройство системы с высокой скоростью сдвига, включает каталитическую поверхность.

Далее в настоящей заявке описана система для получения синтез-газа из углеродсодержащего материала. Система включает устройство для обеспечения смеси, включающей углеродсодержащий материал и жидкую среду; по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, включающее по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор соответствующей формы, и сконфигурированное для действия на смесь высокой скоростью сдвига с получением потока включающего синтез-газ и обработанного высокой скоростью сдвига, в котором по меньшей мере один ротор сконфигурирован для обеспечения линейной скорости конца лопасти по меньшей мере 23 м/с, причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения; и насос, сконфигурированный для подачи смеси по меньшей мере к одному устройству с высокой скоростью сдвига. В одном из вариантов реализации изобретения система дополнительно включает в себя сосуд, соединенный по меньшей мере с одним устройством с высокой скоростью сдвига, сосуд, сконфигурированный для приема потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, по меньшей мере из одного устройства с высокой скоростью сдвига. В одном из вариантов реализации изобретения по меньшей мере один ротор отделен по меньшей мере от одного статора рабочим зазором. Величина рабочего зазора лежит в пределах от примерно 0,02 до примерно 5 мм, причем рабочий зазор - это минимальное расстояние между по меньшей мере одним ротором и по меньшей мере одним статором. В одном из вариантов реализации изобретения система дополнительно включает трубопровод для ввода диспергируемого газа или пара в смесь выше по потоку по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига или по меньшей мере в одно устройство с высокой скоростью сдвига. В одном из вариантов реализации изобретения система включает больше чем одно устройство с высокой скоростью сдвига. В одном из вариантов реализации изобретения по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига включает по меньшей мере два генератора, причем каждый генератор включает ротор и статор соответствующей ротору формы. В одном из вариантов реализации изобретения система дополнительно включает устройство для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации, причем устройство для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации соединено с возможностью пропускания текучей среды с выходом по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига.

Некоторые варианты реализации изобретения потенциально обеспечивают более оптимальные временные и температурные условия, а также давление, чем те условия, которые возможны в других обстоятельствах и которые потенциально повышают скорость многофазного процесса. Некоторые варианты реализации описанных выше способов или систем потенциально обеспечивают снижение общих затрат за счет эксплуатации при более низкой температуре и/или давлении, обеспечивая пониженный расход катализатора на единицу продукта, уменьшенное время реакции и/или уменьшенные капитальные и/или эксплуатационные расходы. Эти и другие варианты реализации изобретения и потенциальные преимущества будут очевидны из следующего подробного описания и фигур.

#### **Краткое описание фигур**

Более подробное описание предпочтительного варианта реализации настоящего изобретения будет представлено со ссылками на прилагаемые фигуры, а именно:

фиг. 1 - схематическое изображение многофазной реакционной системы, включающей в себя внешнее диспергирование в условиях с высокой скоростью сдвига, в соответствии с одним из вариантов реализации изобретения настоящей заявки.

Фиг. 2 - поперечный разрез многоступенчатого устройства с высокой скоростью сдвига, использующегося в одном из вариантов реализации системы.

Фиг. 3 - технологическая схема системы синтеза Фишера-Тропша с высокой скоростью сдвига для превращения синтез-газа в углеводороды  $C_{2+}$  в соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения.

Фиг. 4 - технологическая схема устройства, использующегося для осуществления реакции между  $CO$  и  $H_2$  в эксперименте примера 8.

Фиг. 5 - схематическое изображение системы с высокой скоростью сдвига, включающей внешнее перемешивание/диспергирование в соответствии с вариантом реализации изобретения настоящей заявки.

Фиг. 6 - схематическое изображение способа получения синтез-газа в соответствии с вариантом реализации изобретения настоящей заявки.

Фиг. 7 - схематическое изображение способа использования синтез-газа в соответствии с вариантом реализации изобретения настоящей заявки.

Фиг. 8 - схематическое изображение способа проведения каталитической реакции синтез-газа для производства продуктов Фишера-Тропша (ФТ) в соответствии с вариантом реализации изобретения на-

стоящей заявки.

Термины и определения

В настоящей заявке термин "дисперсия" относится к сжиженной смеси, которая содержит по меньшей мере два различных вещества (или "фазы"), которые не являются легко смешивающимися друг с другом или растворяющимися друг в друге. В данном контексте "дисперсия" включает в себя "непрерывную" фазу (или "матрицу"), которая удерживает в себе отделенные друг от друга непрерывной фазой капли, пузырьки и/или частицы другой фазы или вещества. Таким образом, термин "дисперсия" может относиться к пенам, содержащим пузырьки газа, взвешенные в непрерывной жидкой фазе, эмульсиям, в которых капли первой жидкости диспергированы во всем объеме непрерывной фазы, состоящей из второй жидкости, с которой первая жидкость не смешивается, и сплошным жидким фазам, во всем объеме которых распределены твердые частицы. В этом контексте термин "дисперсия" охватывает непрерывные жидкие фазы, во всем объеме которых распределены пузырьки газа, непрерывные жидкие фазы, во всем объеме которых распределены твердые частицы (например, твердый катализатор), непрерывные фазы первой жидкости, во всем объеме которой распределены капли второй жидкости, которая, по существу, не растворяется в непрерывной фазе, и жидкие фазы, во всем объеме которых распределены один любой, или комбинация следующих компонентов: твердые частицы, капли несмешивающейся жидкости и газовые пузырьки. Таким образом, дисперсия может в некоторых случаях существовать в виде гомогенной смеси (например, жидкость/жидкая фаза) или в виде гетерогенной смеси (например, газ/жидкость, твердые частицы/жидкость или газ/твердые частицы/жидкость), в зависимости от природы материалов, выбранных для комбинации. Дисперсия может включать в себя, например, пузырьки газа (например, синтез-газ) и/или частицы углеродсодержащего материала в жидкой фазе (например, суспензионная жидкость и/или жидкие углеводороды Фишера-Тропша).

Термин "кислородсодержащие соединения" в настоящей заявке относится к тем соединениям, в которые введен кислород. Например, этот термин относится к любому кислородсодержащему углеводороду, такому как высокооктановый бензин или дизельное топливо, пригодному для приведения в действие двигателей внутреннего сгорания, а также к кислородсодержащим видам топлива, которые применяются в качестве присадок к бензину для уменьшения количества оксида углерода, которая образуется в процессе горения топлива. Термин "кислородсодержащее соединение" включает, но не ограничивается следующими соединениями: альдегиды, такие как формальдегид, метиловый эфир муравьиной кислоты и муравьиная кислота, а также кислородсодержащие соединения на основе спиртов, включая: метанол, этанол, изопропиловый спирт, н-пропиловый спирт, н-бутанол, 2-этилгексанол, фурфуроловый спирт, бензиловый спирт, изобутиловый спирт и трет-бутанол бензинового качества (ГТВА). Другие кислородсодержащие соединения включают карбонильные соединения, такие как кетоны, эфиры, амиды и ангидриды.

Термины "простой алкан" и "низкомолекулярный алкан" в настоящей заявке относятся к алканам с малым числом атомов углерода, включая метан, пропан и бутан, которые являются газообразными при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Термин "легкий газ" в настоящей заявке относится к газу, включающему в себя двуокись углерода, простые алканы, имеющие от одного до пяти атомов углерода, или их комбинацию. Фраза "всё или часть" в настоящей заявке означает "всё или часть всего" или "всё или некоторые компоненты".

Термин "каталитическая поверхность" в настоящей заявке относится к поверхности в устройстве, которая изготовлена из каталитического материала (такого как металлы, сплавы и т.д.), так что каталитическая активность проявляется, когда подходящее вещество вступает в контакт с указанной каталитической поверхностью. Использование термина "каталитическая поверхность" в настоящем документе включает в себя все такие поверхности, независимо от формы и размера, конструкционного материала, способа изготовления, степени активности или цели использования.

Термин "многофункциональный катализатор" в настоящей заявке относится к катализатору, который имеет больше чем одну функцию ускорения двух или более реакций в присутствии необходимых реагентов. Например, таким многофункциональным катализатором является смесь двух совместимых катализаторов, в которой один катализатор ускоряет реакции Фишера-Тропша, а другой катализатор ускоряет реакции образования спирта.

Некоторые термины, используемые в нижеследующем описании и в пунктах формулы изобретения, относятся к конкретным компонентам системы. Настоящий документ не предполагает различия между компонентами, которые отличаются по названию, но не по функции. В нижеследующем описании и в пунктах формулы изобретения термины "включающий в себя" и "содержащий" используются в неограничивающей форме, и, таким образом, их значение следует понимать как "включающий, но не ограничивающийся...".

### **Подробное описание изобретения**

Превращение легкого газа в углеводороды/органические кислородсодержащие соединения

Описываются системы, создающие высокую скорость сдвига, и способы для улучшения превращения легкого газа в углеводороды и/или органические кислородсодержащие соединения. Система и способ могут использоваться для получения синтез-газа для дальнейшей переработки, или углеводородов,

или углеводородных смесей, пригодных для приведения в действие обычных двигателей внутреннего сгорания, или углеводородов, пригодных для дальнейшей промышленной переработки или иного коммерческого использования. Описанным в настоящей заявке способом можно также получать промежуточные продукты, такие как метанол или диметиловый эфир. В одном варианте реализации изобретения весь процесс включает в себя превращение газа, выбранного из диоксида углерода, метана, этана, пропана, бутана, пентана и их комбинации в углеводороды с числом атомов больше чем 2, предпочтительно углеводороды  $C_5$ - $C_{10}$  и/или кислородсодержащие соединения, такие как метанол, уксусная кислота. В других случаях способ включает в себя использование технологии с высокой скоростью сдвига для прямого превращения метана (основной компонент имеющегося природного газа) в жидкие углеводороды, в основном, органические кислородсодержащие соединения и другие жидкости. Органический кислородсодержащий продукт может, в основном, состоять из спирта. В некоторых вариантах реализации изобретения органический кислородсодержащий продукт включает в себя метанол. В некоторых вариантах реализации изобретения метанол и двуокись углерода превращаются в органический кислородсодержащий продукт, включающий в себя этанол. В вариантах реализации изобретения процесс включает в себя производство синтез-газа из углеродсодержащего материала и последующее превращение в углеводородную жидкость.

Настоящая заявка обеспечивает систему и способ получения углеводородов и/или кислородсодержащих соединений из легкого газа, включающего двуокись углерода и/или по меньшей мере один алкан  $C_1$ - $C_5$  с использованием по меньшей мере одного реакторного устройства с высокой скоростью сдвига для диссоциации сырья реактора на свободные радикалы за счет обеспечения тесного контакта реагентов и активирования химических реакций между многофазными реагентами. Получившиеся радикалы водорода и/или кислорода реагируют с двуокисью углерода и/или алканом с образованием продукта, включающего углеводороды и/или кислородсодержащие соединения. Устройство с высокой скоростью сдвига делает возможной реакцию(и), которая может быть невозможной в случае использования традиционных реакторов и обычных рабочих условий (то есть в том случае, когда величина  $\Delta G$ , исходя из общих условий, положительна).

В одном варианте реализации изобретения способ включает обеспечение воды и диоксида углерода внутри реактора, в котором создается высокая скорость сдвига. Внутри реакторной системы, в которой создается высокая скорость сдвига, вода и двуокись углерода могут диссоциировать на компоненты. Затем эти компоненты рекомбинируют с образованием продукта, включающего углеводороды с большим количеством атомов углерода (то есть предпочтительно  $C_5$ - $C_{10}$ ) и/или кислородсодержащие соединения. Способ включает использование по меньшей мере одного внешнего устройства с высокой скоростью сдвига для обеспечения получения кислородсодержащих соединений и/или углеводородов без необходимости в реакторах большого объема. В некоторых вариантах реализации изобретения добавление воды используется с целью облегчения удаления паром органических соединений, присутствующих в сосуде 10.

Другим аспектом настоящей заявки является способ получения углеводородов и/или кислородсодержащих соединений из диоксида углерода и/или метана и источника водорода, такого как простые углеводороды или другой источник водорода. В качестве источника свободных радикалов водорода и гидроксила может также необязательно или дополнительно присутствовать вода. В некоторых вариантах реализации способа источник водорода выбран из воды, низших алканов и их комбинаций. Реакция может быть катализована каталитическими соединениями, о которых известно, что они действуют как катализатор дегидрогенирования. В некоторых вариантах реализации изобретения источник водорода может быть газом, например, газообразный водород или водород, отделенный в устройстве с высокой скоростью сдвига (HSD) 40 от простого газообразного алкана, а жидкость в трубопроводе 21 может быть носителем, таким как полиэтиленгликоль.

В соответствии с некоторыми вариантами реализации изобретения представлен способ получения продукта, включающего в себя по меньшей мере одно соединение, выбранное из углеводородов  $C_{2+}$ , кислородсодержащих соединений и их комбинации из легкого газа, включающего в себя одно или несколько соединений из группы, включающей двуокись углерода, метан, этан, пропан, бутан, пентан и метанол, способ, включающий в себя получение дисперсии легкого газа в жидком питающем потоке, при этом дисперсия получена по мере частично с использованием высоких сдвиговых напряжений, и в котором по меньшей мере один из потоков, жидкий питающий поток или легкий газ является источником водорода. Получение дисперсии может включать в себя создание пузырьков легкого газа, имеющих средний диаметр в диапазоне от примерно 0,1 до примерно 1,5 микрон. В некоторых вариантах реализации изобретения пузырьки газа имеют средний диаметр меньше чем примерно 0,4 микрона.

В некоторых вариантах реализации изобретения высокие сдвиговые напряжения производятся с помощью по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига. Это по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, может включать по меньшей мере один генератор, включающий статор и ротор соответствующей формы. Ротор и статор могут быть разделены минимальным зазором в интервале от примерно 0,02 до примерно 3 мм. В некоторых вариантах реализации изобретения полученные дисперсии включает создание линейной скорости конца ротора больше чем 5,0 м/с (1000 футов в

минуту). В некоторых вариантах реализации изобретения получение дисперсии включает создание линейной скорости конца ротора больше чем 20 м/с (4000 футов в минуту). В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига включает по меньшей мере два генератора. Получение дисперсии может включать в себя воздействие на смесь легкого газа и жидкого питающего потока сдвига со скоростью больше чем примерно  $20000 \text{ с}^{-1}$ . Устройство с высокой скоростью сдвига может создавать локальное давление по меньшей мере около 1034,2 МПа (150000 фунтов на кв. дюйм) на лопасти ротора в процессе образования получения дисперсии. Расход энергии устройства с высокой скоростью сдвига может быть больше чем  $1000 \text{ Вт/м}^3$  в процессе образования дисперсии.

В некоторых вариантах реализации способа для получения продукта, включающего по меньшей мере одно соединение, выбранное из углеводородов  $\text{C}_{2+}$ , кислородсодержащих соединений и их комбинаций из легкого газа, дисперсия дополнительно включает катализатор. Катализатор может включать рутений. Катализатор может включать гептагидрат трихлорида рутения. Способ может дополнительно включать введение дисперсии в реактор с неподвижным слоем, включающим слой катализатора. Неподвижный слой катализатора может включать в себя карбонил рутения.

В настоящей заявке также описывается способ для получения продукта, включающего по меньшей мере одно соединение, выбранное из жидких кислородсодержащих соединений, углеводородов  $\text{C}_{2+}$  и их комбинаций, включающий воздействие на жидкую смесь, включающую легкий газ, включающий двуокись углерода, метан или оба этих газа и жидкую среду, сдвига со скоростью больше чем  $20000 \text{ с}^{-1}$  с образованием дисперсии легкого газа в непрерывной фазе жидкости; причем дисперсия образуется, по меньшей мере частично, с помощью по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига, и это устройство с высокой скоростью сдвига сконфигурировано для получения дисперсии пузырьков легкого газа в жидкой среде; и введение дисперсии в реактор, из которого выводится продукт, включающий по меньшей мере одно соединение, выбранное из жидких кислородсодержащих соединений, углеводородов  $\text{C}_{2+}$  и их комбинаций. Способ может дополнительно включать разделение продуктов реакции на поток газообразных и поток жидких продуктов, включающий жидкий продукт, и повторное использование меньшей по меньшей мере части потока газа во внешнем устройстве с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения дисперсия имеет средний диаметр пузырьков в диапазоне от примерно 0,1 до примерно 1,5 микрон. В вариантах реализации изобретения дисперсия имеет средний диаметр пузырьков меньше чем 1 микрон. Дисперсия может быть стабильной в течение по меньшей мере 15 мин при атмосферном давлении. В некоторых вариантах реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига включает по меньшей мере два генератора. Дисперсия может дополнительно включать по меньшей мере один катализатор.

В настоящей заявке также описывается система для превращения газа, включающего двуокись углерода, метан, этан, пропан, бутан или их комбинации в продукт, включающий по меньшей мере одно соединение, выбранное из жидких кислородсодержащих соединений, углеводородов  $\text{C}_{2+}$  и их комбинаций; система включает по меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, включающее по меньшей мере один генератор, включающий ротор и статор, разделенные рабочим зазором, причем рабочий зазор - это минимальное расстояние между ротором и статором, и в которой перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига способно создавать линейную скорость конца лопасти ротора больше чем 22,9 м/с (4500 футов в минуту); и насос, сконфигурированный для подачи смеси, включающей легкий газ и жидкую среду, к перемешивающему устройству с высокой скоростью сдвига. Система может дополнительно включать в себя реактор, размещенный между по меньшей мере одним устройством с высокой скоростью сдвига и насосом, реактор, включающий в себя выход и вход для продукта и сконфигурированный для приема дисперсии с выхода по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига. По меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига может включать по меньшей мере два генератора. Скорость сдвига, обеспечиваемая одним генератором, может быть больше, чем скорость сдвига, обеспечиваемая другим генератором. По меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига может быть сконфигурировано для производства дисперсии пузырьков легкого газа в жидкой фазе, включающей в себя жидкую среду; причем дисперсия имеет средний диаметр пузырьков меньше чем 400 нм. По меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига может быть способно создавать линейную скорость конца лопасти ротора по меньшей мере 40,1 м/с (7900 футов в минуту). Система может включать в себя по меньшей мере два перемешивающих устройства с высокой скоростью сдвига.

Некоторые варианты реализации системы потенциально делают возможным получение жидкого органического продукта из газа, включающего двуокись углерода, метан, этан, пропан, бутан, пентан, метанол или их комбинацию без необходимости в реакторах большого объема за счет использования внешнего реактора под давлением, в котором создается высокая скорость сдвига.

Общее представление

Скорость химических реакций, в которых участвуют жидкости, газы и твердые вещества, зависит от времени контакта, температуры и давления. В тех случаях, когда желательно осуществить реакцию двух или нескольких сырьевых материалов, находящихся в разных фазах (например, твердое вещество и

жидкость; жидкость и газ; твердое вещество, жидкость и газ), одним из лимитирующих факторов, контролирующих скорость реакции, является время контакта реагентов. В случае гетерогенно-каталитических реакций дополнительным фактором, ограничивающим скорость, является удаление прореагировавших продуктов с поверхности катализатора для того, чтобы позволить катализатору катализировать следующие реагенты. Время контакта реагентов и/или катализатора часто контролируют с помощью перемешивания, которое обеспечивает контакт с двумя или более реагентами, участвующими в химической реакции.

Реакторный узел, который включает в себя внешнее устройство с высокой скоростью сдвига, или миксер, в соответствии с приведенным описанием, делает возможным снижение ограничений массопереноса и тем самым позволяет реакции более близко подойти к кинетическим пределам реакции. Если скорости реакций повышены, то могут быть снижены времена пребывания и, посредством этого, повышена достижимая пропускная способность. В результате применения системы и способа, в которых создается высокая скорость сдвига, может быть повышен выход продукта. Или же, если выход продукта существующего процесса приемлем, уменьшение требующегося времени пребывания за счет включения подходящего устройства с высокой скоростью сдвига может позволить использовать более низкую температуру и/или давление, чем традиционные процессы.

Настоящее изобретение использует инновационную технологию для производства органического продукта, включающего в себя углеводороды и/или жидкие кислородсодержащие соединения из легкого газа, такого как двуокись углерода и/или простые алканы. Легкий газ тщательно перемешивают с жидкой средой. По меньшей мере один из компонентов смеси, легкий газ или жидкая среда, служит в качестве источника водорода. Источником водорода может быть, например, вода и/или углеводороды. Реакторное устройство, в котором создают высокую скорость сдвига и, необязательно, катализатор может вести к диссоциации реагентов на свободные радикалы, позволяя им превращаться в продукт, включающий в себя углеводороды и кислородсодержащие соединения.

Система включает использование технологии с высокой скоростью сдвига для превращения диоксида углерода (основной парниковый газ) и/или простых алканов в продукты, включающие жидкие углеводороды, органические кислородсодержащие соединения или их комбинации. Описанный в настоящей заявке способ и система для производства углеводородов и/или жидких кислородсодержащих соединений путем многофазного превращения диоксида углерода и/или легкого газа, с катализатором дегидрирования, использует внешнее механическое устройство с высокой скоростью сдвига, для обеспечения быстрого контактирования и перемешивания химических ингредиентов в контролируемых условиях в устройстве с высокой скоростью сдвига. Использование по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига снижает ограничения массопереноса реакции(й), повышая, таким образом, скорости массопереноса и позволяя реакциям более близко подойти к кинетическим пределам, а также создавая локализованные неидеальные условия, которые позволяют проводить те реакции, которые в иных обстоятельствах не должны проходить исходя из оценок свободной энергии Гиббса, как подробно описано ниже.

Система для получения жидкостей из легкого газа

Система высокой скоростью сдвига для получения углеводородов и/или жидких кислородсодержащих соединений из легкого газа будет описана со ссылкой на фиг. 1, который представляет технологическую схему типичной системы с высокой скоростью сдвига 100 для получения органических кислородсодержащих соединений/углеводородов посредством превращения легкого газа. К основным компонентам типичной системы относится внешнее перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40, сосуд 10 и насос 5. Как показано на фиг. 1, устройство с высокой скоростью сдвига 40 расположено за пределами сосуда/реактора 10. Каждый из этих компонентов более подробно описан ниже. К насосу 5 подсоединен трубопровод 21 для ввода жидкой среды. Трубопровод 13 подсоединяет насос 5 к HSD 40, а трубопровод 18 подсоединяет HSD 40 к сосуду 10. К линии 13 может быть подсоединена одна или несколько линий для ввода газообразного реагента (например, диоксида углерода и/или газообразного метана). Например, в одном варианте реализации изобретения на фиг. 1 к линии 13 подсоединены линии 22 и 23. Или же, линии 22 и/или 23 могут быть подсоединены к входу HSD 40. К сосуду 10 может быть подсоединен трубопровод 17 для вывода непрореагировавшего газообразного реагента и/или газообразных продуктов реакции. К сосуду 10 подсоединен отводящий трубопровод для продуктов 16 для вывода жидкостей из сосуда 10. В некоторых вариантах реализации изобретения отводящий трубопровод для продуктов 16 может быть подсоединен к линии 21 или линии 13 для обеспечения эксплуатации в несколько проходов, в случае необходимости.

В некоторых реализациях способа между сосудом 10, внешним устройством с высокой скоростью сдвига 40 и насосом 5 могут быть встроены дополнительные компоненты, как станет очевидно после прочтения представленного ниже описания процесса создания высокой скорости сдвига для производства органического продукта. Например, система с высокой скоростью сдвига 100 может дополнительно включать в себя конденсатор 30, компрессор 50, питающий насос 4, насос высокого давления 6 или их комбинацию. Как показано на фиг. 1, система с высокой скоростью сдвига 100 может дополнительно включать в себя один или несколько дополнительных насосов, таких как питающий насос 4, дожимной

насос 6 или другой насос, по мере необходимости. В системе 100 в любом месте могут быть размещены теплообменники. В некоторых вариантах реализации изобретения оборудование для контроля температуры размещается внутри емкости 10, или размещается на линии в пределах системы 100. Например, в варианте реализации изобретения на фиг. 1 теплообменник Н1 связан с сосудом 10, теплообменник Н2 размещен на линии 21, и теплообменник Н3 размещен на линии 13. Теплообменник может быть размещен на линии 16 сосуда 10 и может служить для регулирования температуры продуктов реакции, выходящих из сосуда 10.

Перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига

Внешнее перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40, иногда называемое также устройством с высокой скоростью сдвига или перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, сконфигурировано для приема входящего через линию 13 потока, включающего в себя жидкую среду и диспергированный легкий газ. Или же, HSD 40 может быть сконфигурировано для приема потоков жидких и газообразных реагентов через отдельные подводящие линии (не показаны). Несмотря на то что на фиг. 1 показано только одно устройство с высокой скоростью сдвига, следует понимать, что некоторые варианты реализации системы могут иметь два или более устройств с высокой скоростью сдвига, расположенных либо последовательно, либо параллельно. HSD 40 - это механическое устройство, которое использует один или несколько генераторов, включающих в себя комбинацию ротор/статор, причем каждая комбинация имеет зазор между статором и ротором. Зазор между статором и ротором в каждом генераторе может быть фиксированным или может быть регулируемым. HSD 40 сконфигурировано таким образом, что оно способно производить пузырьки субмикронного и микронного размера в реакционной смеси, протекающей через устройство с высокой скоростью сдвига. Устройство с высокой скоростью сдвига включает в себя защитный кожух или корпус, так что температура реакционной смеси может контролироваться.

Смесительные устройства с высокой скоростью сдвига обычно разделяются на три общих класса на основании их способности к перемешиванию жидкостей. Перемешивание - это процесс уменьшения размера частиц или неомогенных объектов в объеме жидкости. Одним из показателей тщательности перемешивания является плотность энергии на единицу объема, которую генерирует перемешивающее устройство для разрушения частиц жидкости. Классы различаются на основании производимой плотности энергии. Три класса промышленных смесителей, имеющих достаточную плотность энергии для воспроизводимого производства смесей или эмульсий с размерами частиц в интервале от долей микрона до 50 микрон, включают клапанные системы гомогенизации, коллоидные мельницы и высокоскоростные смесители. В первом классе высокоэнергетических устройств, называемых клапанными системами гомогенизации, жидкость, подлежащая переработке, перекачивается при очень высоком давлении через клапан с узким проходом в среду с более низким давлением. Градиенты давления по клапану и результирующая турбулентность и кавитация разрушают все частицы, находящиеся в жидкости. Эти клапанные системы наиболее широко используются для гомогенизации молока и могут давать средние размеры частиц в интервале от доли микрона до 1 микрона.

На противоположном конце спектра плотности энергии располагается третий класс устройств, называемых низкоэнергетическими устройствами. Обычно эти системы имеют лопасти или жидкостные роторы, которые вращаются с высокой скоростью в резервуаре с жидкостью, подлежащей переработке, которая во многих наиболее распространенных применениях представляет собой пищевой продукт. Обычно эти низкоэнергетические системы используются в тех случаях, когда приемлемый средний размер частиц в обрабатываемой жидкости больше чем 20 микрон.

Между низкоэнергетическими устройствами и клапанными системами гомогенизации, в плане плотности энергии, передающейся в жидкость при перемешивании, располагаются коллоидные мельницы и другие ротор-статорные устройства с высокой скоростью вращения, которые классифицируются как устройства промежуточной энергии. Типичная конфигурация коллоидной мельницы включает конический или дисковый ротор, который отделен от имеющего соответствующую форму статора с жидкостным охлаждением, тщательно контролируемым зазором ротор-статор, который, как правило, составляет от 0,0254 до 10,16 мм (0,001-0,40 дюйма). В качестве привода роторов обычно используется непосредственный привод от электродвигателя или ременный механизм. Ротор, вращаясь с высокими скоростями, перекачивает жидкость между внешней поверхностью ротора и внутренней поверхностью статора, и усилия сдвига, создающиеся в зазоре, обрабатывают жидкость. Многие коллоидные мельницы, настроенные соответствующим образом, достигают среднего размера частиц в обрабатываемой жидкости в интервале от 0,1 до 25 микрон. Эти характеристики делают коллоидные мельницы пригодными для различных применений, включая обработку коллоидных эмульсий и эмульсий типа "вода в масле", таких, которые необходимы для производства косметики, майонеза или образования амальгамы силикоксан/серебро, а также для перемешивания кровельной мастики.

Линейная скорость конца лопасти - это расстояние по окружности, на которое перемещается лопасть ротора в единицу времени. Следовательно, линейная скорость конца лопасти зависит от диаметра ротора и частоты вращения. Линейную скорость конца лопасти (например, в метрах в минуту) можно рассчитать путем умножения расстояния по окружности, которую описывает лопасть ротора,  $2\pi R$ , где  $R$  -

это радиус ротора (например, метры), на частоту вращения (например, обороты в минуту, об/мин). Коллоидная мельница, например, может иметь линейную скорость конца лопасти более 22,9 м/с (4500 футов в минуту), и скорость может превышать 40 м/с (7900 футов в минуту). В контексте настоящей заявки термин "устройство с высокой скоростью сдвига" относится к механическим ротор-статорным устройствам (например, коллоидные мельницы или ротор-статорные диспергаторы), которые способны развивать линейные скорости конца лопасти более 5,1 м/с (1000 футов в минуту) и которым требуется внешнее устройство передачи энергии с механическим приводом для передачи энергии в поток продуктов, которые должны прореагировать. Например, в HSD 40 достижима скорость 22,9 м/с (4500 футов в минуту), и скорость может превышать 40 м/с (7900 футов в минуту). В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 имеют производительность по меньшей мере 300 л/ч при линейной скорости конца лопасти по меньшей мере 22,9 м/с (4500 футов в минуту). Потребление энергии может составлять около 1,5 кВт. HSD 40 сочетает высокую линейную скорость конца лопасти с очень маленьким рабочим зазором, что позволяет создавать значительную скорость сдвига в обрабатываемом материале. Величина скорости сдвига будет зависеть от вязкости жидкости. Таким образом, в процессе эксплуатации устройства с высокой скоростью сдвига на лопастях ротора создаются местные зоны повышенного давления и температуры. В некоторых случаях локально повышенное давление составляет примерно 1034,2 МПа (150000 фунтов на кв. дюйм). В некоторых случаях локально повышенная температура составляет примерно 500°C. В некоторых случаях эти повышения давления и температуры могут существовать в течение наносекунд или пикосекунд.

Приблизительно величину вводимой в жидкость энергии (кВт/л/мин) можно оценить путем измерения мощности двигателя (кВт) и расхода жидкости на выходе (л/мин). Как отмечалось выше, линейная скорость конца лопасти - это скорость (футы в минуту или м/с), относящаяся к концу одного или нескольких вращающихся элементов, которые создают механическое усилие, приложенное к реагентам. В некоторых вариантах реализации изобретения расход энергии HSD 40 больше чем 1000 Вт/м<sup>3</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения расход энергии HSD 40 находится в интервале от примерно 3000 до примерно 7500 Вт/м<sup>3</sup>.

Скорость сдвига - это линейная скорость конца лопасти, деленная на ширину рабочего зазора (минимальный зазор между ротором и статором). Скорость сдвига, создающаяся в HSD 40, может быть больше 20000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 40000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 100000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 500000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 1000000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 1600000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига находится в пределах от 20000 до 100000 с<sup>-1</sup>. Например, в одном применении линейная скорость конца лопасти ротора равна примерно 40 м/с (7900 футов в минуту), и ширина рабочего зазора составляет 0,0254 мм (0,001 дюйма). Это дает скорость сдвига 1600000 с<sup>-1</sup>. В другом применении линейная скорость конца лопасти ротора равна примерно 22,9 м/с (4500 футов в минуту), и ширина рабочего зазора составляет 0,0254 мм (0,001 дюйма). Это дает скорость сдвига около 901600 с<sup>-1</sup>.

HSD 40 способно диспергировать или перемещать легкий газ в основную жидкую фазу (непрерывная фаза), с которой он обычно не смешивается, при таких условиях, при которых по меньшей мере часть газа превращается в органический продукт, включающий углеводороды C<sub>2+</sub>, кислородсодержащие соединения или их комбинацию. Жидкая среда может включать по меньшей мере один источник водорода (например, простой жидкий углеводород или вода). В некоторых вариантах реализации изобретения жидкая среда включает в себя катализатор. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 включает в себя коллоидную мельницу. Походящими мельницами являются, например, мельницы, выпускающиеся компаниями IKA® Works, Inc. Wilmington, NC и APV North America, Inc. Wilmington, MA. В некоторых случаях HSD 40 включает в себя Disphax Reactor® компании IKA® Works, Inc.

Устройство с высокой скоростью сдвига включает в себя по меньшей мере один вращающийся элемент, который создает механическую силу, воздействующую на реагенты. Устройство с высокой скоростью сдвига включает в себя по меньшей мере один статор и по меньшей мере один ротор, разделенные зазором. Например, роторы могут быть коническими или иметь форму диска и могут быть разделены от статора, имеющего соответствующую форму. В некоторых вариантах реализации изобретения как ротор, так и статор включают в себя множество расположенных на одной окружности зубов. В некоторых вариантах реализации изобретения статор(ы) можно настраивать с целью получения необходимого рабочего зазора между ротором и статором каждого генератора (комплекта ротор/статор). Направление прорезей между зубцами ротора и/или статора можно чередовать в чередующихся ступенях для повышения турбулентности. Привод каждого генератора может осуществляться с помощью любой подходящей системы привода, сконфигурированной для обеспечения необходимого вращения.

В некоторых вариантах реализации изобретения минимальный зазор (ширина рабочего зазора) между статором и ротором находится в пределах от примерно 0,0254 мм (0,001 дюйма) до примерно 3,175

мм (0,125 дюйма). В некоторых вариантах реализации изобретения минимальный зазор (ширина рабочего зазора) между статором и ротором составляет примерно 1,52 мм (0,060 дюйма). В некоторых конфигурациях минимальный зазор (ширина рабочего зазора) между статором и ротором составляет по меньшей мере 1,78 мм (0,07 дюйма). Скорость сдвига, создающаяся HSD, может изменяться в зависимости от местоположения на пути перемещения потока. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость вращения ротора установлена в соответствии с диаметром ротора и необходимой линейной скоростью конца лопасти. В некоторых вариантах реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига имеет фиксированный зазор (ширину рабочего зазора) между статором и ротором. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига имеет регулируемый зазор (ширину рабочего зазора).

В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 включает в себя одноступенчатую диспергирующую камеру (т.е. единственную комбинацию ротор/статор; единственный генератор). В некоторых вариантах реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига 40 - это многоступенчатый встроенный в технологическую линию диспергатор, включающий в себя множество генераторов. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 состоит по меньшей мере из двух генераторов. В других вариантах реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига 40 включает в себя по меньшей мере три генератора высокой скорости сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига 40 - это многоступенчатый смеситель, в котором скорость сдвига (которая, как отмечалось выше, изменяется пропорционально линейной скорости конца лопасти и обратно пропорционально ширине зазора ротор/статор) изменяется в зависимости от местоположения на пути перемещения потока, как описано ниже. В некоторых вариантах реализации изобретения каждая ступень внешнего устройства с высокой скоростью сдвига имеет сменные перемешивающие рабочие инструменты, что обеспечивает эксплуатационную гибкость. Например, DR 2000/4 Disphax Reactor® компании IKA® Works, Inc. Wilmington, NC и APV North America, Inc. Wilmington, MA, включает в себя модуль из трех стадий диспергирования. Этот модуль может содержать до трех комбинаций ротор/статор (генераторов), с возможностью выбора режима работы для производства мелких, средних, крупных и супер мелких частиц на каждой стадии. Это позволяет создавать дисперсии, имеющие узкое распределение необходимых размеров пузырьков (например, пузырьков легкого газа). В некоторых вариантах реализации изобретения каждая из стадий эксплуатируется в режиме генератора, производящего сверхмелкие частицы. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере один из комплектов генератора имеет минимальный зазор ротор/статор (ширина рабочего зазора) больше чем примерно 5,0 мм (0,20 дюйма). В других вариантах реализации изобретения по меньшей мере один из комплектов генератора имеет минимальный зазор ротор/статор (ширина рабочего зазора) больше чем примерно 1,78 мм (0,07 дюйма).

Теперь рассмотрим фиг. 2. На ней представлен продольный разрез подходящего устройства с высокой скоростью сдвига 200. Устройство с высокой скоростью сдвига 200, на фиг. 2 - это диспергирующее устройство, включающее три ступени или комбинации ротор-статор, 220, 230 и 240. Комбинации ротор-статор могут называться генераторами 220, 230 и 240 или ступенями. Три комбинации ротор-статор или три генератора 220, 230 и 240 установлены последовательно на приводном вале 250. Первый генератор 220 включает ротор 222 и статор 227. Второй генератор 230 включает ротор 223 и статор 228. Третий генератор 240 включает ротор 224 и статор 229. Для каждого генератора ротор приводится во вращение за счет 250 и вращается вокруг оси 260, как показано стрелкой 265. Направление вращения может быть противоположным направлению, указанному стрелкой 265 (например, по часовой стрелке или против часовой стрелки вокруг оси вращения 260). Статоры 227, 228 и 229 неподвижно закреплены на стенке 255 устройства с высокой скоростью сдвига 200.

Как отмечалось выше, каждый генератор имеет рабочий зазор с шириной, которая представляет собой минимальный зазор между ротором и статором. В одном варианте реализации изобретения на фиг. 2 первый генератор 220 включает в себя первый рабочий зазор 225, второй генератор 230 включает в себя второй рабочий зазор 235 и третий генератор 240 включает в себя третий рабочий зазор 245. В некоторых вариантах реализации изобретения рабочие зазоры 225, 235 и 245 имеют ширину в интервале от примерно 0,025 мм до примерно 10,0 мм. В других вариантах реализации изобретения процесс включает в себя использование устройства с высокой скоростью сдвига 200, в котором зазоры 225, 235 и 245 имеют ширину в интервале от примерно 0,5 до примерно 2,5 мм. В некоторых случаях ширина рабочего зазора поддерживается равной примерно 1,5 мм. В других вариантах реализации изобретения ширина рабочих зазоров 225, 235 и 245 различна для генераторов 220, 230 и 240. В некоторых случаях ширина рабочего зазора 225 первого генератора 220 больше, чем ширина рабочего зазора 235 второго генератора 230, которая, в свою очередь, больше, чем ширина рабочего зазора 245 третьего генератора 240. Как отмечалось выше, генераторы каждой ступени могут быть сменными, что обеспечивает эксплуатационную гибкость. Устройство с высокой скоростью сдвига 200 может быть сконфигурировано так, что скорость сдвига будет постепенно увеличиваться вдоль направления движения потока 260.

Генераторы 220, 230 и 240 могут включать в себя ступени, производящие крупные, средние, мелкие

или сверхмелкие частицы. Роторы 222, 223 и 224 и статоры 227, 228 и 229 могут иметь зубчатые конструкции. Каждый генератор может включать два или более комплектов зубцов ротор-статор. В некоторых вариантах реализации изобретения роторы 222, 223 и 224 включают больше 10 роторных зубцов, равномерно расположенных по окружности каждого ротора. В некоторых вариантах реализации изобретения статоры 227, 228 и 229 включают в себя больше 10 статорных зубцов, равномерно расположенных по окружности каждого статора. В некоторых вариантах реализации изобретения внутренний диаметр ротора равен примерно 12 см. В некоторых вариантах реализации изобретения диаметр ротора равен примерно 6 см. В некоторых вариантах реализации изобретения внешний диаметр статора равен примерно 15 см. В некоторых вариантах реализации изобретения диаметр статора равен примерно 6,4 см. В некоторых вариантах реализации изобретения диаметры роторов равны 60 мм, и диаметры статоров равны 64 мм, что обеспечивает зазор примерно 4 мм. В некоторых вариантах реализации изобретения каждая из трех ступеней эксплуатируется с генератором, производящим сверхмелкие частицы, включающим в себя рабочий зазор в интервале от примерно 0,025 до примерно 4 мм. В тех применениях, в которых сквозь устройство с высокой скоростью сдвига 40 необходимо направить твердые частицы, подходящая ширина рабочего зазора (минимальный зазор между ротором и статором) может быть выбрана исходя из подходящего уменьшения размера частицы и увеличения площади поверхности частицы. В некоторых вариантах реализации изобретения это может быть полезно для увеличения площади поверхности твердого катализатора путем сдвигового деформирования и диспергирования частиц.

Устройство с высокой скоростью сдвига 200 сконфигурировано с возможностью приема реакционной смеси из линии 13 на вход 205. Реакционная смесь включает газ в качестве диспергированной фазы и жидкую среду в качестве непрерывной фазы. Сырьевой поток может дополнительно включать компонент, представляющий собой твердые частицы катализатора. Сырьевой поток, поступающий на вход 205, перекачивается последовательно через генераторы 220, 230 и затем 240, так что образуется дисперсия. Дисперсия выходит из устройства с высокой скоростью сдвига 200 через выход 210 (и трубопровод 18, показанный на фиг. 1). Роторы 222, 223, 224 каждого генератора вращаются с высокой скоростью относительно неподвижных статоров 227, 228, 229, создавая высокую скорость сдвига. Вращение роторов перекачивает жидкость, так что сырьевой поток, поступающий через вход 205, проходит снаружи через рабочие зазоры (и через пространства между зубцами ротора и зубцами статора, если они есть), создавая локализованные условия с высокой скоростью сдвига. Высокие усилия сдвига, воздействующие на жидкость в рабочих зазорах 225, 235 и 245 (и в зазорах между зубцами ротора, и зубцами статора, если они есть), через которые течет жидкость, обрабатывают жидкость и создают дисперсию. Получившаяся дисперсия выходит из устройства с высокой скоростью сдвига 200 через выход 210 устройства с высокой скоростью сдвига (и трубопровод 18, показанный на фиг. 1).

Получающаяся дисперсия имеет средний размер пузырьков меньше чем примерно 5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем примерно 1,5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем примерно 1 мкм; предпочтительно пузырьки имеют субмикронный размер. В некоторых случаях средний размер пузырьков находится в диапазоне от примерно 0,1 до примерно 1,0 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем 400 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем 100 нм. Устройство с высокой скоростью сдвига 200 производит дисперсию, включающую в себя пузырьки диспергированного газа, способные оставаться в диспергированном состоянии при атмосферном давлении в течение по меньшей мере 15 мин.

В химии эмульсий известно, но при этом не желая ограничиваться какой-либо теорией, что субмикронные частицы или пузырьки, диспергированные в жидкости, перемещаются, главным образом, за счет броуновского движения. Пузырьки в получающейся дисперсии, созданной устройством с высокой скоростью сдвига 200, могут иметь более высокую подвижность в пограничных слоях твердых частиц катализатора (если они есть), тем самым способствуя и ускоряя реакцию превращения за счет более эффективного переноса реагентов в гетерогенной реакционной смеси.

В некоторых случаях устройство с высокой скоростью 200 включает Dispac Reactor® компании IKA® Works, Inc. Wilmington, NC и APV North America, Inc. Wilmington, MA. Некоторые модели, доступные на рынке, имеют различные соединения на входе/выходе, мощность, линейную скорость конца лопасти, частоту вращения и расход. Выбор устройства с высокой скоростью сдвига будет зависеть от требований к производительности и от необходимого размера частиц или пузырьков в дисперсии в линии 18 (фиг. 1) на выходе 210 устройства с высокой скоростью сдвига 200. Например, IKA® модели DR 2000/4 включает в себя ременный привод, 4М генератор, уплотнительное кольцо из ПТФЭ, сантехнический зажим входного фланца 25,4 мм (1 дюйм), сантехнический зажим выходного фланца 19 мм ( $\frac{3}{4}$  дюйма); мощность 2 л.с. (1,5 кВт), частота вращения выходного вала 7900 об/мин, пропускная способность (вода) приблизительно 300-700 л/ч (в зависимости от генератора), линейная скорость конца лопасти в диапазоне от 9,4 до 41 м/с (от 1850 до 8070 футов в минуту).

## Сосуд

Сразу после диспергирования дисперсия выходит из устройства с высокой скоростью сдвига 40, через выпускной трубопровод для дисперсии 18 устройства с высокой скоростью сдвига и вводится в сосуд 10. Сосуд 10 может представлять собой реактор любого типа, в котором может проходить многофазная реакция, в ходе которой происходит реакция(и) превращения. Например, реакционный аппарат с мешалкой непрерывного или полунепрерывного действия, или один или несколько реакторов периодического действия, которые могут использоваться последовательно или параллельно. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 - это реактор башенного типа. В некоторых применениях сосуд 10 - это трубчатый реактор, а в других - трубчатый реактор или многотрубный реактор. Предусмотрено любое количество подводящих трубопроводов реактора, один такой трубопровод показан на фиг. 1 (трубопровод 3). К сосуду 10 может быть подсоединен подводящий трубопровод для приема раствора или суспензии катализатора в процессе эксплуатации системы с гетерогенным катализатором. В некоторых вариантах реализации изобретения в сосуд 10 вводят воду с целью облегчения удаления паром органических соединений, присутствующих в сосуде 10. Таким образом, часть органического продукта может быть десорбирована паром и выведена из сосуда 10 через трубопровод 17, а не трубопровод 16. Сосуд 10 может включать выпускной трубопровод 17 для отходящего газа и выпускной трубопровод для продукта 16 для потока продуктов. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 включает в себя множество трубопроводов для продуктов реакции 16.

Превращение диоксида углерода и/или простых углеводородов в органические кислородсодержащие соединения будет происходить везде, где существуют подходящие условия времени, температуры и давления. В этом смысле гидрирование может происходить в любой точке технологической схемы фиг. 1, если условия температуры и давления являются подходящими. Реакция, которую проводит система с высокой скоростью сдвига 100, может включать в себя гомогенную каталитическую реакцию, в которой катализатор находится в той же фазе, что и другой компонент реакционной смеси, или гетерогенную каталитическую реакцию, в которой участвует твердый катализатор. В тех случаях, когда используется циркулирующий катализатор, наиболее вероятно, что реакция протекает в точках, расположенных вне сосуда 10, показанного на фиг. 1. Тем не менее, часто желательно иметь отдельный реактор/сосуд 10 для того, чтобы обеспечить увеличенное время пребывания, перемешивания и нагревания и/или охлаждения, а также для того, чтобы обеспечить разделение и выделение летучих продуктов реакции, и рециркуляцию непрореагировавших газов. Таким образом, в некоторых вариантах реализации изобретения система с высокой скоростью сдвига 100, включает в себя сосуд 10, расположенный ниже по потоку по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига, в которой вход сосуда соединен с возможностью пропускания текучей среды с выходом для дисперсии устройства с высокой скоростью сдвига. В тех случаях, когда используется реактор 10 с неподвижным слоем, реактор/сосуд 10 может стать основным местом протекания реакции.

Выпускной трубопровод 16 сосуда 10 может быть подсоединен с возможностью пропускания текучей среды к трубопроводу 21, например по трубопроводу 20, для рециркуляции в HSD 40 части содержащего в трубопроводе 16, включающего жидкий продукт. Или же, в некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 может соединять с трубопроводом 21 отдельный выпускной трубопровод. На фиг. 1 система с высокой скоростью сдвига 100, сконфигурированная для рециркуляции части содержащего трубопровода 16. Эта конфигурация - одна из тех, которые пригодны для эксплуатации в несколько проходов, например.

Сосуд 10 может включать один или несколько следующих компонентов: система перемешивания, средства регулирования температуры, приборы для измерения давления, приборы для измерения температуры, одна или несколько точек ввода и регулятор уровня (не показан), в соответствии с тем, что хорошо известно в области проектирования реакционных сосудов. Как показано в одном варианте реализации изобретения на фиг. 1, сосуд 10 может дополнительно включать в себя систему перемешивания 31, приспособления и устройства для нагревания и/или охлаждения H1, приборы для измерения давления, приборы для измерения температуры или их комбинацию. Например, система перемешивания 31 может включать в себя мешалку с приводом от двигателя. Устройство для регулирования температуры H1 может включать в себя, например, нагревательную рубашку или охлаждающие змеевики. В другом варианте, поскольку большая часть реакции превращения может в некоторых вариантах реализации изобретения происходить в HSD 40, сосуд 10 может в некоторых случаях служить, в основном, как емкость для хранения. Несмотря на то, что это, как правило, менее желательно, в некоторых применениях сосуд 10 можно опустить, в частности, в том случае, когда применяется несколько последовательных устройств с высокой скоростью сдвига/реакторов, как это более подробно описано ниже.

## Теплообменники

В дополнение к вышеупомянутым средствам нагревания/охлаждения сосуда 10, для нагревания или охлаждения технологического потока в вариантах реализации изобретения, показанных на фиг. 1, предусмотрены также и другие внешние и внутренние теплообменники. Например, контроль температуры для сосуда 10 может быть обеспечен за счет внутренних теплообменников, как хорошо известно специалисту в данной области техники. Предусмотрено также использование внешних нагревающих и/или охлаждающих

дающих теплообменников. Некоторыми подходящими положениями для одного или нескольких таких теплообменников являются: между насосом 5 и HSD 40, между HSD 40 и сосудом 10 и между сосудом 10 и насосом 5 в том случае, когда система 100 эксплуатируется в несколько проходов. Некоторыми неограничивающими примерами таких теплообменников являются кожухотрубные, трубчатые, пластинчатые и змеевиковые теплообменники, известные в данной области техники.

В одном варианте реализации системы с высокой скоростью сдвига 100 для контроля температуры по всей системе используется три теплообменника. Теплообменник Н1 используется для регулирования температуры продукта в сосуде 10. Теплообменник Н2 размещен на линии 21 для регулирования температуры в линии 21. Теплообменник Н3 служит для регулирования температуры линии 13, за счет чего осуществляется регулирование температуры сырьевого потока на входе в HSD 40. Применение и конфигурация нагревающих/охлаждающих устройств обусловлены целью проведения желательной реакции и могут изменяться в соответствии с тем, что хорошо известно специалисту в данной области техники.

Насос(ы)/Охлаждаемая ловушка

Насос 5 сконфигурирован либо для непрерывной, либо для полунепрерывной эксплуатации и может быть любым подходящим перекачивающим устройством, способным обеспечить давление больше чем 202,65 кПа (2 атм.), или же давление больше чем 303,975 кПа (3 атм.) для обеспечения контролируемого потока через HSD 40 и систему 100. Например, одним из подходящих насосов является шестеренчатый насос Roper тип 1 производства Roper Pump Company (Коммерс, Джорджия) или дожимной насос Dayton модель 2P372E, производства Dayton Electric Co (Найлс, Иллинойс). Все контактирующие части насоса могут быть изготовлены из нержавеющей стали, например нержавеющей стали 316. В некоторых вариантах реализации системы насос 5 способен создавать давление больше чем примерно 2026,5 кПа (20 атм.). В некоторых вариантах реализации изобретения насос 5 выдает расход жидкой среды 12 в диапазоне от примерно 0,5 до примерно 1 галлона в минуту (3,8 л/мин). В вариантах реализации изобретения насос 5 выдает расход жидкой среды 12 примерно 1 галлон в минуту (3,8 л/мин).

В дополнение к насосу 5 в систему, показанную на фиг. 1, могут быть включены один или несколько дополнительных насосов высокого давления (не показаны). Например, дожимной насос, который может быть аналогичным насосу 5, может быть включен между HSD 40 и сосудом 10 для повышения давления в сосуде 10. В варианте реализации изобретения на фиг. 1 система с высокой скоростью сдвига 100 дополнительно включает в себя насос высокого давления 6 для повышения давления в сосуде 10. Если насос 6 включен в систему в качестве дожимного насоса, то насос 5 может использоваться как дросселирующий насос/клапан для снижения давления в устройстве с высокой скоростью сдвига и, таким образом, для уменьшения его износа. В качестве другого примера, между линией 17 и HSD 40 может быть размещен компрессор для рециркуляции газа из сосуда 10 на вход устройства с высокой скоростью сдвига.

В качестве другого примера, дополнительный питающий насос, который может быть аналогичен насосу 5, может быть включен для ввода дополнительных реагентов или катализатора в сосуд 10. В варианте реализации изобретения на фиг. 1, например, дополнительный питающий насос 4 используется для ввода дополнительных сырьевых материалов в сосуд 10 через входной трубопровод 3. С использованием питающего насоса 4 и точки ввода 3, по мере необходимости, в систему с высокой скоростью сдвига 100 могут периодически или непрерывно подаваться катализатор и жидкости для подпитки.

Как показано на фиг. 1, система с высокой скоростью сдвига 100 может дополнительно включать в себя охлаждаемую ловушку, например, внутри конденсатора 30, расположенного на рециркуляционном трубопроводе 17. Охлаждаемая ловушка служит для приемки рециркулирующих газов 17 в охлаждаемый льдом приемный резервуар, из которого газ в линии 25 подается по трубопроводу в компрессор 50, а затем по трубопроводу 15 вводится в устройство с высокой скоростью сдвига 40. Конденсатор 28 включает в себя выпускной трубопровод 24 для конденсированного продукта (например, любых кислородсодержащих соединений и/или углеводородов) и выпускной трубопровод 25 для потока рециркулирующего газа. В некоторых вариантах реализации изобретения охлаждаемая ловушка конденсатора 30 может служить для вывода, главным образом, спиртов из рециркуляционного трубопровода 17 выше рециркуляционного насоса или компрессора 50 по потоку. Рециркуляционный трубопровод 15 может быть подсоединен с возможностью пропускания текучей среды к трубопроводу 13 для повторного ввода легкого газа в HSD 40, как показано на фиг. 1.

Производство органического продукта путем превращения легкого газа

Эксплуатация системы с высокой скоростью сдвига 100 будет теперь рассматриваться со ссылкой на фиг. 1. Как показано в варианте реализации изобретения системы с высокой скоростью сдвига 100, на фиг. 1 в вариантах реализации система 100 включает в себя два или больше потоков диспергируемого газа. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения система с высокой скоростью сдвига 100 включает в себя трубопровод для диспергируемого газа 22 и трубопровод для диспергируемого газа 23. В процессе эксплуатации с целью превращения легкого газа в органический продукт поток диспергируемого газа вводится в систему 100 по трубопроводу 22 и/или 23 и объединяется в трубопроводе 13 с жидким потоком. Диспергируемый газ в трубопроводе 22 и/или трубопроводе 23, рециркулирующая жидкость под давлением в трубопроводе 15 и жидкая среда в трубопроводе 21 вводятся отдельно или в виде

смешанного потока во внешнее устройство с высокой скоростью сдвига 40. Как показано на фиг. 1, в некоторых вариантах реализации изобретения диспергируемый газ в трубопроводе 22 и/или трубопроводе 23 вводится в жидкую среду (которая может включать в себя источник водорода или источник водорода и катализатор) и объединенный поток газ/жидкость (или газ/жидкость/твердое вещество) вводится в HSD 40.

Диспергируемый газ, введенный в HSD 40, включает в себя легкий газ. Легкий газ, подлежащий диспергированию в HSD 40, может включать в себя метан, двуокись углерода или их комбинацию. Источники природного газа часто включают в себя дополнительные газообразные компоненты, легкий газ, введенный в трубопровод 13 через трубопровод 22 и/или трубопровод 23, может дополнительно включать в себя до примерно 10% дополнительных газообразных компонентов. Дополнительными газообразными компонентами могут быть, например, этан, пропан, бутан, пентан, метанол или их комбинация. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя этан, пропан, бутан или их комбинацию, и легкий газ в трубопроводе 23 включает в себя двуокись углерода. В отдельных вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя метан. В некоторых вариантах реализации изобретения диспергируемый газ включает в себя двуокись углерода. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя двуокись углерода и метан. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя метан и двуокись углерода в соотношении 2:1. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя двуокись углерода, водород и окись углерода. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ непрерывно подается в линию 13. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость подачи диспергируемого легкого газа больше чем примерно  $50 \text{ см}^3/\text{мин}$ . В других вариантах реализации изобретения скорость подачи диспергируемого легкого газа больше чем примерно  $80 \text{ см}^3/\text{мин}$ . В других вариантах реализации изобретения скорость подачи диспергируемого легкого газа больше чем примерно  $2300 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

Жидкая среда может быть различных типов. Жидкая среда в трубопроводе 21 может включать в себя по меньшей мере один источник водорода. По меньшей мере один источник водорода может быть выбран из воды, углеводородов и их комбинаций. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкая среда выбрана из воды, низкомолекулярных жидких алканов, парафиновых масел и их комбинаций. Парафиновое масло может быть либо маслом, полученным в результате гидроочистки нефти, таким как масла Paralex, поставляемые Chevron Products Company, либо синтетическим парафиновым маслом. Подходящие синтетические парафиновые масла включают, например, полиолефиновое базовое масло группы IV по классификации API, а также базовое масло группы III по классификации API, полученное в результате гидрокрекинга/гидроизомеризации. Такое базовое масло группы IV включает в себя масло, такое как низкомолекулярный компонент полиэтилена/полипропилена. Нефтехимические компании разработали ряд процессов, в том числе, каталитическое превращение исходного сырья под давлением в присутствии водорода в высококачественное минеральное смазочное масло группы III. Кроме того, имеется в наличии синтетическое сырье группы III процесса GTL (переработки газа в жидкое топливо). Жидкая среда может дополнительно включать в себя бромид лития. Жидкая среда желательна выбрана так, что ее компоненты в значительной степени мгновенно не испаряются при условиях, существующих в устройстве с высокой скоростью сдвига 40, а остаются в нем жидкими. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкая среда включает в себя полиэтиленгликоль (ПЭГ).

В некоторых вариантах реализации изобретения жидкая среда и катализатор смешиваются перед введением в сосуд 10. Например, парафиновое масло и катализатор (если используется) могут вначале загружаться в сосуд 10 перед герметизацией установок. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатор добавляется в жидкую среду в химическом стакане с мешалкой. В других вариантах реализации изобретения жидкая среда и катализатор вводятся отдельно и перемешиваются в сосуде 10 с помощью реакторной мешалки 31. В сосуд 10, если требуется для конкретного применения, могут быть добавлены дополнительные реагенты, например, с использованием питающего насоса 4 и подводящего трубопровода 3. Затем система с высокой скоростью сдвига 100 может быть герметизирована, а в сосуде 10 может быть создан вакуум. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 продувается кислородом. Например, вакуум может создаваться через газовый трубопровод 17 реактора.

После откачивания диспергируемый легкий газ может вводиться в систему с высокой скоростью сдвига 100, до тех пор, пока давление в сосуде 10 не достигнет необходимого предела. В некоторых вариантах реализации изобретения диспергируемый легкий газ вводится в устройство с высокой скоростью сдвига 40, до тех пор, пока давление в сосуде 10 не достигнет  $206,8 \text{ кПа}$  (30 фунтов на кв. дюйм). Затем устройство с высокой скоростью сдвига 40, может быть запущено в эксплуатацию, продолжено перемешивание в реакторе, например, с использованием системы перемешивания 31, и начато перекачивание, с высокой скоростью сдвига, реакционных жидкостей через систему с высокой скоростью сдвига 100. На этой стадии система может представлять собой замкнутую систему без вывода газа или жидкости.

В некоторых вариантах реализации изобретения диспергируемый легкий газ подается непосредственно в HSD 40, вместо объединения с жидкой средой в трубопроводе 13. Насос 5 может использоваться для перекачивания жидкой среды через трубопровод 21 и для создания давления и питания HSD 40, обеспечивая регулируемый поток через устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40 и систему с

высокой скоростью сдвига 100. В некоторых вариантах реализации изобретения насос 5 повышает давление входящего потока HSD больше чем до 202,65 кПа (2 атм.) или же больше чем примерно до 303,975 кПа (3 атмосферы). Таким образом, система с высокой скоростью сдвига 100 может сочетать высокую скорость сдвига и высокое давление для улучшения тщательного перемешивания реагентов.

После подачи насосом легкий газ и жидкая среда перемешиваются в HSD 40, которое используется для создания мелкочастичной дисперсии легкого газа в жидкой среде. В HSD 40 легкий газ и жидкая среда интенсивно диспергируются, так что образуются нанопузырьки, пузырьки субмикронного размера и/или микропузырьки легкого газа для превосходного растворения в растворе и улучшения перемешивания реагентов. Например, для создания дисперсии диспергируемого легкого газа в жидкой среде может использоваться диспергатор, ИКА® модели DR 2000/4, трехступенчатое диспергирующее устройство с высокой скоростью сдвига, оборудованное тремя роторами в комбинации со статорами, расположенными последовательно. Комплекты ротор/статор могут быть, например, сконфигурированы так, как показано на фиг. 2. Объединенные реагенты входят в устройство с высокой скоростью сдвига, по трубопроводу 13 и поступают в систему ротор/статор первой ступени. Роторы и статоры первой ступени могут иметь зубцы, расположенные по окружности ротора и статора первой ступени, соответственно. Крупнозернистая дисперсия, выходя из первой ступени, поступает на вторую ступень ротор/статор. Ротор и статор второй ступени могут также включать в себя зубцы, расположенные по окружности ротора и статора соответственно. Дисперсия с уменьшенным размером пузырьков, выходящая из второй ступени, поступает в систему ротор/статор третьей ступени, которая может включать в себя ротор и статор, имеющие зубцы ротора и статора соответственно. Дисперсия выходит из устройства с высокой скоростью сдвига, по трубопроводу 18. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига постепенно увеличивается вдоль направления движения потока 260.

Например, в некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига в первой ступени ротор/статор больше, чем скорость сдвига в следующей ступени(ях). В других вариантах реализации изобретения скорость сдвига, по существу, постоянна вдоль направления движения потока, причем скорость сдвига в каждой ступени, по существу, одинакова. Ротор(ы) HSD 40 может быть установлен так, чтобы он(и) вращался со скоростью, соответствующей диаметру ротора и необходимой линейной скоростью конца лопасти. Как описано выше, устройство с высокой скоростью сдвига (например, коллоидная мельница или диспергатор с зубчатым венцом) имеет либо фиксированный зазор между статором и ротором, либо регулируемый зазор. В некоторых вариантах реализации процесса сопротивление переноса реагентов уменьшается за счет работы устройства с высокой скоростью сдвига, так, что скорость реакции увеличивается больше чем примерно на 5%. В некоторых вариантах реализации процесса сопротивление переноса реагентов уменьшается за счет работы устройства с высокой скоростью сдвига, так, что скорость реакции увеличивается больше чем примерно в 5 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость реакции увеличивается по меньшей мере в 10 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость реакции увеличивается в интервале от примерно 10 до примерно 100 раз.

В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 имеет производительность по меньшей мере 300 л/ч при линейной скорости конца лопасти по меньшей мере 4500 футов в минуту (22 м/с), и скорость может превосходить 7900 футов в минуту (40 м/с). Потребление энергии может составлять около 1,5 кВт. Несмотря на то что измерение мгновенной температуры и давления в области конца лопасти вращающегося устройства с высокой скоростью сдвига, или вращающегося элемента в HSD 40, трудно осуществить, по нашим оценкам, локализованная температура, которой подвергаются тщательно перемешиваемые реагенты, превышает 500°C, а давление превышает 500 кг/см<sup>2</sup> (49 МПа) в условиях кавитации. Высокая скорость сдвига приводит к образованию дисперсии легкого газа с пузырьками микронного или субмикронного размера. В некоторых вариантах реализации изобретения получающаяся дисперсия имеет средний размер пузырьков меньше чем примерно 1,5 мкм. Соответственно, дисперсия, выходящая из HSD 40 через трубопровод 18, состоит из газовых пузырьков микронного и/или субмикронного размера. В некоторых вариантах реализации изобретения средний размер пузырьков находится в интервале от примерно 0,4 до примерно 1,5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения получающаяся дисперсия имеет средний размер пузырьков меньше чем 1 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения средний размер пузырьков меньше чем примерно 400 нм и в некоторых случаях может быть меньше чем примерно 100 нм. Во многих вариантах реализации изобретения дисперсия способна оставаться стабильной при атмосферном давлении в течение по меньшей мере 15 мин. В некоторых вариантах реализации изобретения "средний размер пузырьков" относится к среднему диаметру пузырьков в условиях реакции.

После диспергирования получившаяся дисперсия газ/жидкость или газ/жидкость/твердое вещество выходит из HSD 40 через трубопровод 18 и поступает в сосуд 10, как показано на фиг. 1. Дисперсия в трубопроводе 18 перед поступлением в сосуд 10 может необязательно подвергаться дополнительной обработке (нагревание/охлаждение), как это может потребоваться в конкретном применении. В результате тщательного перемешивания реагентов перед поступлением в сосуд 10 существенная доля химической реакции может проходить в HSD 40. Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения реактор/сосуд 10 может использоваться, главным образом, для нагревания и отделения жидких продук-

тов реакции от непрореагировавшего легкого газа и любого газообразного продукта. Или же, или дополнительно, сосуд 10 может использоваться в качестве первичного реакционного сосуда, в котором производится большая часть органического продукта. Например, в вариантах реализации изобретения сосуд 10 является реактором с неподвижным слоем, включающим в себя неподвижный слой катализатора.

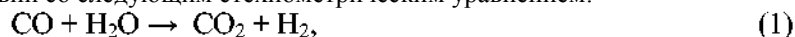
#### Катализатор

Если для активирования реакций превращения используется катализатор, то катализатор может быть введен в сосуд 10 в виде суспензии или потока катализатора, например, через трубопровод 3. Или же, или дополнительно, катализатор может быть добавлен где-нибудь в другом месте в системе 100. Например, суспензия катализатора может быть введена в трубопровод 21. В некоторых вариантах реализации изобретения система 100 включает в себя замкнутый цикл суспензии, а трубопровод 21 может содержать жидкую среду, жидкий продукт и/или катализатор, рециркулирующий из трубопровода 16. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатором может быть неподвижный слой катализатора.

Система и способ настоящей заявки объединяют высокую скорость сдвига и, возможно, кавитацию для создания условий, благоприятных не только для образования свободных радикалов водорода, но также имеют потенциал для создания свободных радикалов гидроксила и, возможно, даже отрыва атома кислорода непосредственно от диоксида кремния.

В некоторых вариантах реализации описываемого способа легкий газ и вода контактируют с катализатором для диссоциации воды и/или катализатора и последующей диссоциации диоксида углерода и/или алкана. Такой катализатор широко используется в реакциях конверсии водяного газа.

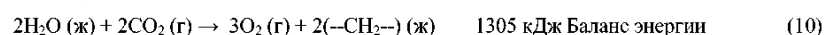
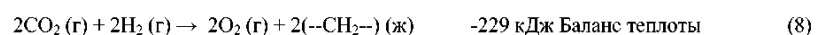
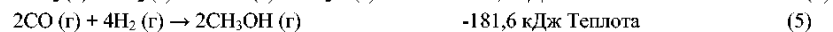
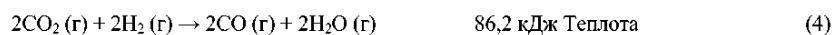
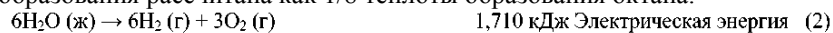
Реакция конверсии водяного газа (WGS) - это хорошо известная каталитическая реакция, которая, помимо прочего, используется для производства водорода по химической реакции CO с водяным паром (H<sub>2</sub>O) в соответствии со следующим стехиометрическим уравнением:



В этой реакции, как правило, используется катализатор. Типичные катализаторы, применяющиеся в данной реакции, основаны на комбинациях оксида железа с хромом при высокой температуре (около 350°C) или на смесях соединений меди и цинка при более низких температурах) около 200°C.

К катализаторам дегидрогенирования относятся также различные каталитические композиции, включающие в себя соединение металла платиновой группы и соединение металла-модификатора, выбранное из группы, включающей в себя соединения олова, соединения германия, соединения рения или их известные смеси. Например, связанные патенты США № 3632503, 3755481 и 3878131 описывают катализатор, включающий в себя соединение металла платиновой группы, соединение олова и соединение германия на пористом материале носителя. Также хорошо известно, что соединения, включающие в себя рений, имеют способность активировать реакции дегидрогенирования.

В зависимости от условий реакции и селективности катализатора, простые спирты, такие как метанол, можно получать непосредственно из легкого газа и воды с использованием способа и системы настоящей заявки. Кислород, выделившийся в условиях высокой скорости сдвига, может реагировать с другими созданными радикалами с образованием простых спиртов. Из метанола может быть получен диметилловый эфир. Затем диметилловый эфир может использоваться в качестве топлива, либо непосредственно, либо в смеси с обычным топливом. Общая схема химических реакций и энергетический баланс процесса для легкого газа, включающего в себя двуокись углерода, показан уравнениями 2-10. Теплота реакции для уравнений 2-9 рассчитана из соответствующих значений теплоты образования. Для группы (-CH<sub>2</sub>-) теплота образования рассчитана как 1/8 теплоты образования октана.



Не желая ограничиваться конкретной теорией, полагают, что уравнение 8 является суммарным уравнением всех реакций, которые предположительно происходят после стадии отрыва атома кислорода от CO<sub>2</sub>, то есть стадий 4-7, и показывает общее количество образующегося углеводорода. Уравнение 9 показывает теплоту конденсации для образующейся воды, которая может быть возвращена в процесс. Уравнение 10 показывает общий баланс химических веществ и расчетное общее потребление энергии процесса.

Сосуд/реактор 10 может эксплуатироваться в режиме либо непрерывного, либо полунепрерывного потока, или может эксплуатироваться в периодическом режиме. Содержимое сосуда 10 может поддер-

живаться при определенной температуре реакции с использованием оборудования для нагревания и/или охлаждения (например, теплообменник Н1) и приборов для измерения температуры. Давление в сосуде может контролироваться с помощью подходящих приборов для измерения давления, а уровень реагентов в сосуде может регулироваться с использованием регулятора уровня (не показан), любыми способами, известными в данной области техники. Содержимое может перемешиваться непрерывно или полунепрерывно с использованием, например, системы перемешивания 31.

В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере часть реакционной смеси в трубопроводе 16, включающей в себя жидкую среду, жидкий продукт и необязательно катализатор, возвращается в HSD 40 для осуществления эксплуатации в несколько проходов. Трубопровод 16 может быть подсоединен с возможностью пропускания текучей среды трубопроводом 20 к трубопроводу 21 для рециркуляции по меньшей мере части содержимого трубопровода 16 в HSD 40. Как показано на фиг. 1, теплообменник Н2 может применяться для регулирования температуры в трубопроводе 21.

Непрореагировавший легкий газ вместе с любым другим газом в сосуде 10 может выходить из сосуда 10 через газовый трубопровод 17. Как показано на фиг. 1, в вариантах реализации изобретения газ, извлеченный из свободного пространства сосуда 10, может быть пропущен через конденсатор 30. Извлечение газообразных продуктов реакции может осуществляться, например, с помощью компрессора 50. Конденсатор 30 может включать в себя охлаждающий змеевик и охлаждаемую ловушку. Не сконденсировавшиеся газы из конденсатора 30 могут быть введены по трубопроводу 25 в компрессор 50. Сжатый газ может рециркулировать через, например, трубопровод 15. Трубопровод 15 может вводить сжатый материал из компрессора 50 либо в трубопровод ввода в HSD 40, либо непосредственно в HSD 40, или в трубопровод 13, трубопровод 22 и/или трубопровод 23. Сконденсированный жидкий продукт 24, выходящий из конденсатора 30, извлекается из системы. Сконденсированная жидкость в трубопроводе 24 включает в себя продукты реакции, которые могут использоваться любыми известными в данной области техники способами, например, отправляться на продажу или направляться для превращения в различные иные химические продукты.

#### Температура

В некоторых вариантах реализации изобретения использование описанного процесса, включающего в себя перемешивание реагентов с использованием внешнего устройства с высокой скоростью сдвига 40, позволяет превратить легкий газ в органический продукт, включающий в себя кислородсодержащие соединения, углеводороды или их комбинацию. Температура в устройстве с высокой скоростью сдвига 40 желательно поддерживается ниже температуры возгорания жидкой среды. В некоторых вариантах реализации изобретения температура реакции меньше чем 220°C. В некоторых вариантах реализации изобретения рабочие условия включают в себя температуру в интервале от примерно 100 до примерно 230°C. В некоторых вариантах реализации изобретения температура находится в интервале от примерно 30 до примерно 40°C. В некоторых вариантах реализации изобретения температура находится в интервале от примерно 160 до 180°C. В некоторых особых вариантах реализации изобретения температура реакции находится в интервале от примерно 155 до примерно 160°C. В некоторых вариантах реализации изобретения характеристики продукта изменяются в зависимости от температуры в сосуде 10, и температуру в реакторе можно отрегулировать так, чтобы получить продукт с необходимыми характеристиками. При повышенной температуре может быть произведено большее количество низкомолекулярных материалов, в то время как при более низкой температуре может быть произведено большее количество высокомолекулярных материалов.

#### Давление

В некоторых вариантах реализации изобретения давление реакции в сосуде 10 находится в интервале от примерно 202,65 кПа (2 атм.) до примерно 5,6-6,1 МПа (55-60 атм.). В некоторых вариантах реализации изобретения давление реакции находится в интервале от примерно 810,6 кПа до примерно 1,5 МПа (от примерно 8 атм. до примерно 15 атм.). В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 эксплуатируется при давлении, близком к атмосферному давлению. В вариантах реализации изобретения давление реакции меньше чем примерно 6895 кПа (1000 фунтов на кв. дюйм). Или же, в некоторых вариантах реализации изобретения рабочее давление меньше чем примерно 3445 кПа (500 фунтов на кв. дюйм). В некоторых вариантах реализации изобретения рабочее давление меньше чем примерно 3100 кПа (450 фунтов на кв. дюйм). В некоторых вариантах реализации изобретения рабочее давление меньше чем примерно 1030 кПа (150 фунтов на кв. дюйм).

В некоторых случаях желательно дальнейшее повышение степени превращения легкого газа. Повышение давления реакции повышает скорость реакции, но также повышает износ конструкционных материалов реакторов, трубопроводов и механических узлов всей установки, а также вспомогательных устройств. Превосходное растворение и/или диспергирование, которое обеспечивает внешнее перемешивание с высокой скоростью сдвига, может позволить понизить рабочее давление, а также сохранить на уровне или даже повысить выработку продукции.

#### Эксплуатация в несколько проходов

Как показано на фиг. 1, может быть желательным повторно пропускать содержимое сосуда 10 или его часть через HSD 40. В этом случае, как показано, трубопровод 16 может быть подсоединен к трубо-

проводу 21, так что по меньшей мере часть содержимого трубопровода 16 может рециркулировать из сосуда 10 и перекачиваться насосом 5 в трубопровод 13, а затем в HSD 40. Дополнительный легкий газ может быть введен в трубопровод 13 или может быть добавлен непосредственно в устройство с высокой скоростью сдвига (не показано). В других вариантах реализации изобретения продукт в трубопроводе 16 может дополнительно обрабатываться (например, из него может быть удален жидкий продукт) перед рециркуляцией части жидкости, находящейся в трубопроводе 16, в устройство с высокой скоростью сдвига 40. В некоторых вариантах реализации изобретения может быть желательным пропускать жидкую среду и диспергируемый газ, включающий двуокись углерода и/или алкан, через устройство с высокой скоростью сдвига, а затем добавить необязательный катализатор в трубопровод 13 во время второго прохода через HSD 40.

Несколько перемешивающих устройств с высокой скоростью сдвига

В некоторых вариантах реализации изобретения два или больше устройств с высокой скоростью сдвига, подобных HSD 40 или сконфигурированных иным образом, расположены последовательно и используются для дальнейшей интенсификации реакции. Эксплуатация устройств может осуществляться либо в периодическом, либо в непрерывном режиме. В некоторых случаях, когда желательно иметь процесс, осуществляемый в один проход, или "прямоточный" процесс, использование нескольких последовательных устройств с высокой скоростью сдвига может быть выгодным. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения дисперсия, выходящая в трубопровод 18, может быть подана во второе устройство с высокой скоростью сдвига. В тех случаях, когда несколько устройств с высокой скоростью сдвига 40 эксплуатируются последовательно, дополнительный легкий газ может быть введен в сырьевой поток на входе каждого устройства. Несмотря на то что это, как правило, менее желательно, в тех вариантах реализации изобретения, в которых устройства с высокой скоростью сдвига 40, эксплуатируются последовательно, сосуд 10 можно опустить. В некоторых вариантах реализации изобретения несколько устройств с высокой скоростью сдвига 40 эксплуатируются параллельно, и выходящие из них дисперсии вводятся в один или несколько сосудов 10.

Продукт/Последующая переработка

Газ выводится из сосуда 10 с использованием выпускного газового трубопровода 17. Газ в трубопроводе 17 может включать непрореагировавший легкий газ,  $H_2$ , а также кислородсодержащий или углеводородный продукт. Газ, выведенный через трубопровод для газообразных продуктов реакции 17, может быть дополнительно обработан, а его компоненты могут использоваться повторно. Например, охлаждаемая ловушка 30 может использоваться для конденсации и удаления из газового трубопровода 17 любого произведенного кислородсодержащего соединения и/или углеводорода, который выходит из сосуда 10 в трубопровод рециркуляции газа 17. Поток конденсата, выходящий из конденсатора 30 по трубопроводу 24, может включать в себя, главным образом, спирты. В некоторых вариантах реализации изобретения поток сконденсированного жидкого продукта в трубопроводе 24 может включать в себя метанол. В некоторых вариантах реализации изобретения поток сконденсированного жидкого продукта в трубопроводе 24 может включать в себя больше чем 50% метанола. В некоторых вариантах реализации изобретения поток сконденсированного жидкого продукта в трубопроводе 24 может включать в себя больше чем 65% метанола. В вариантах реализации изобретения поток сконденсированного жидкого продукта в трубопроводе 24 может включать в себя примерно 68% метанола. В вариантах реализации изобретения метанол и двуокись углерода превращаются в органический кислородсодержащий продукт, включающий в себя этанол.

В некоторых применениях непрореагировавший легкий газ, удаляемый из охлаждаемой ловушки 30 с использованием трубопровода 25, выделяют и вводят (непосредственно или опосредованно) обратно в устройство с высокой скоростью сдвига 40.

Часть продукта в трубопроводе 16 может быть выведена из сосуда 10. Органический продукт в трубопроводе 16 включает в себя жидкие кислородсодержащие соединения, углеводороды или их комбинацию в дополнение к жидкой среде. Поток продуктов может включать в себя, главным образом, углеводороды, произведенные в процессе реакции, наряду с жидкой средой. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения продукт в трубопроводе 16 включает углеводороды в полиэтиленгликоле. В тех применениях, в которых в легком газе присутствует этан, бутан, пропан и пентан, получающийся продукт в трубопроводе 16 может включать в себя продукт, имеющий более высокое количество атомов углерода, чем в случае использования метана и диоксида углерода. В таких случаях продукт, выводимый через трубопровод 16, может включать в себя большее количество смешанных кислородсодержащих соединений и альдегидов.

Жидкий продукт, включающий в себя кислородсодержащее соединение и/или углеводород, извлеченный из трубопровода для продуктов 16 и/или трубопровода для конденсата 24, затем может использоваться в качестве топлива или в качестве сырья для других химических процессов, как известно специалисту в данной области техники. Например, метанол, произведенный по этому способу, может использоваться как сырье для производства формальдегида.

Повышение нефтеотдачи с использованием жидкостей, полученных из метана

Нефть с низкой плотностью в градусах API (вязкая нефть) часто трудно добывать из-за ее неудов-

летворительных реологических свойств. Для облегчения добычи нефти с низкой плотностью в градусах API сегодня используются различные способы, включая нагнетание CO<sub>2</sub>, пара и воды. При бурении для добычи нефти природный газ из скважины часто используется для повторного повышения давления в скважине с целью повышения нефтеотдачи. Однако закачка природного газа может мало чем облегчить добычу нефти с низкой плотностью в градусах API, которая с трудом перемещается в пространстве скважины.

Описываемая система и способ может использоваться в добыче сырой нефти из нефтяных скважин и может быть, в частности, полезен для повышения нефтеотдачи (например, тяжелой нефти), расположенной внутри скважины. Газообразный метан можно превратить в жидкости *in situ* в месте расположения скважины с использованием описываемой системы и способов, и использовать их для повышения нефтеотдачи.

В некоторых вариантах реализации изобретения в соответствии с настоящей заявкой природный газ (включающий в себя метан), либо из устья скважины, либо из другого источника превращается с использованием описываемой системы и способа в жидкости, которые нагнетаются в скважину для повышения нефтеотдачи залежей тяжелой нефти.

В некоторых вариантах реализации изобретения органические кислородсодержащие соединения и другие жидкие продукты, получаемые из газа, включающего в себя метан и выходящие из системы 100 по трубопроводу 16 и/или 24, используются для повышения нефтеотдачи. Система 100 может быть собрана на мобильных модульных установках. Такие установки могут позволить осуществлять превращение газа в удаленных месторасположениях, а избыточный газ может сжигаться на факеле. Более крупные установки можно использовать там, где необходимо вести добычу из более крупных залежей тяжелой сырой нефти.

#### Превращение легкого газа

В некоторых вариантах реализации изобретения больше чем примерно 80% легкого газа превращается в продукт с использованием описываемого способа, а любой остающийся непрореагировавший газ находится в свободном пространстве реактора и/или растворяется в жидком продукте. В некоторых вариантах реализации изобретения больше чем примерно 90% легкого газа превращается в органический продукт. В некоторых вариантах реализации изобретения, по существу, весь легкий газ превращается в продукт. В некоторых вариантах реализации изобретения, по существу, весь легкий газ превращается в продукт при эксплуатации замкнутой системы в несколько проходов.

В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя двуокись углерода, и степень превращения диоксида углерода больше чем примерно 60%. В вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя двуокись углерода, и степень превращения диоксида углерода больше чем примерно 80%. В вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя двуокись углерода, и степень превращения диоксида углерода больше чем примерно 90%. В вариантах реализации изобретения используется замкнутая система, и, по существу, вся двуокись углерода, введенная в диспергируемый газ по трубопроводам 22 и/или 23, превращается в продукт.

В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя метан, и степень превращения метана больше чем примерно 60%. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя метан, и степень превращения метана больше чем примерно 80%. В некоторых вариантах реализации изобретения легкий газ включает в себя метан, и степень превращения метана больше чем примерно 90%. В некоторых вариантах реализации изобретения используется замкнутая система, и, по существу, весь метан, введенный в систему с высокой скоростью сдвига 100, превращается в продукт. В определенных вариантах реализации изобретения выход органических кислородсодержащих соединений больше, чем выход углеводорода. В вариантах реализации изобретения выход органических кислородсодержащих соединений больше чем примерно 50%. В некоторых вариантах реализации изобретения выход кислородсодержащих соединений больше чем примерно 70%.

#### Преимущества

Увеличенная площадь поверхности пузырьков легкого газа субмикронного и/или микронного размера в дисперсии, находящейся в трубопроводе 18, произведенной в устройстве с высокой скоростью сдвига 40, приводит к более быстрому и/или более полному превращению легкого газа. Как отмечалось выше, дополнительными преимуществами являются возможность эксплуатации сосуда 10 при более низкой температуре и давлении, что влечет за собой экономию как эксплуатационных, так и капитальных затрат. Преимущества настоящего изобретения включают, но не ограничиваются, более коротким временем цикла, повышенной производительностью, уменьшенными эксплуатационными расходами и/или уменьшенными капитальными затратами из-за возможности разработки реакторов меньшего размера, и/или эксплуатации реактора при более низкой температуре и/или давлении и возможного снижения потребности в катализаторе.

Применение интенсивного перемешивания реагентов с помощью HSD 40 потенциально позволяет реализовать производство существенного количества органического продукта из легкого газа. В некоторых вариантах реализации изобретения интенсивное перемешивание делает возможным повышение пропускной способности по технологическому потоку. В некоторых вариантах реализации изобретения пе-

ремешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, включено в существующий процесс, позволяя повысить объем выработки (то есть более высокая производительность). В отличие от некоторых способов, которые пытаются повысить степень превращения путем простого повышения давления в реакторе, превосходные характеристики дисперсии и площади контакта, которые обеспечивает внешнее перемешивание с высокой скоростью сдвига, могут во многих случаях позволить понизить общее рабочее давление, а также сохранить на прежнем уровне или даже повысить выработку продукции.

Не желая ограничиваться конкретной теорией, считают, что уровень или степень перемешивания с высокой скоростью сдвига является достаточной для повышения скоростей массопереноса, а также для создания локализованных неидеальных условий, которые позволяют проходить тем реакциям, которые в иных обстоятельствах не должны проходить исходя из оценок свободной энергии Гиббса. Считают, что в устройстве с высокой скоростью сдвига, имеют место локализованные неидеальные условия, с повышенной температурой и давлением, причем, как полагают, наиболее существенно повышается локализованное давление. Повышения давления и температуры в устройстве с высокой скоростью сдвига, локализованы и кратковременны, и быстро возвращаются к объемным или средним условиям для системы, как только вещество выходит из устройства с высокой скоростью сдвига. В некоторых случаях перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, создает кавитацию, достаточно интенсивную для диссоциации одного или нескольких реагентов на свободные радикалы, которые могут интенсифицировать химическую реакцию или позволить реакции проходить в менее жестких условиях, чем те, которые могли бы потребоваться в других обстоятельствах. Кавитация может также повышать скорости процессов переноса за счет создания локальной турбулентности и микроциркуляции жидкости (акустический поток). Обзор применений явления кавитации в приложениях по химической/физической обработке представлен в работе Gogate et al., "Cavitation: A technology on the horizon," Current Science 91 (No. 1): 35-46 (2006). При таких неидеальных условиях двуокись углерода и/или алкан могут диссоциировать; и молекулы воды и/или простого алкана могут превращаться в свободные радикалы. Затем свободные радикалы могут превращаться в углеводороды и кислородсодержащие соединения. В HSD 40 возможно осуществить дегидрирование алкана и/или расщепление диоксида углерода с помощью по меньшей мере одного подходящего катализатора с образованием реакционноспособных радикальных соединений. Описываемая система и способ может обеспечить превращение легкого газа в ценный продукт(ы) без существенных выбросов в атмосферу за счет превращения в неидеальных условиях, которые обеспечиваются за счет использования высокой скорости сдвига.

В некоторых вариантах реализации изобретения система и способы, описанные в настоящей заявке, позволяют проектировать более маломасштабный и/или требующий меньших капитальных затрат процесс, чем это было возможно ранее без использования внешнего устройства с высокой скоростью сдвига 40. Потенциальными преимуществами определенных вариантов реализации изобретения описанных способов являются уменьшенные эксплуатационные расходы и повышенная производительность существующего процесса.

Репрезентативные данные, полученные с использованием варианта реализации описанной системы и способа, представлены ниже в примерах 1-5.

#### Реакция Фишера-Тропша (ФТ)

Процесс Фишера-Тропша (ФТ) используется для превращения углеродсодержащего сырья, например каменного угля или природного газа, в более ценное жидкое топливо или нефтепродукты. Во многих регионах мира имеются большие количества метана, основного компонента природного газа. Для получения оксида углерода и водорода (то есть синтез-газа) метан может быть подвергнут риформингу с использованием воды или частично окислен с использованием кислорода. В качестве исходных сырьевых материалов, из которых может быть получен синтез-газ, может использоваться каменный уголь и другие твердые материалы. В настоящей заявке процесс ФТ включает риформинг синтез-газа (производство углеводородов из оксида углерода и водорода); он также включает процесс превращения природного газа или каменного угля в жидкое топливо, например, производство синтез-газа и риформинг синтез-газа.

Получение углеводородов из синтез-газа хорошо известно в данной области техники и обычно называется синтезом Фишера-Тропша, процессом Фишера-Тропша или реакцией(ями) Фишера-Тропша. Катализаторы, используемые в таком синтезе, содержат каталитически активный металл 8, 9, 10 групп (в новой системе обозначений элементов Периодической таблицы). В частности, в качестве каталитически активного металла может использоваться железо, кобальт, никель и рутений. Было обнаружено, что кобальт и никель особенно подходят для катализирования процесса, в котором синтез-газ превращается, главным образом, в углеводороды, имеющие пять и более атомов углерода (то есть в тех случаях, когда высока селективность катализатора в отношении  $C_5+$ ). Катализатор Фишера-Тропша также может быть улучшен другими металлами.

Каталитическое гидрирование с использованием синтеза Фишера-Тропша может давать разнообразные продукты, от метана до высших алканов и алифатических спиртов. Реакции синтеза Фишера-Тропша сильно экзотермические, и реакционные сосуды должны проектироваться исходя из адекватной теплообменной способности. Поскольку реагенты для синтеза Фишера-Тропша являются газами, в то

время как потоки продуктов включают в себя жидкости и парафины, система обычно рассчитана на непрерывное производство и удаление из нее необходимых жидких продуктов и парафиновых углеводородов.

Исследования продолжают в направлении разработки более эффективных систем катализатора Фишера-Тропша и реакционных систем, которые повышают селективность в отношении более ценных углеводородов в протоке продуктов синтеза Фишера-Тропша. В частности, ряд исследований описывают поведение катализаторов на основе железа, кобальта или рутения в реакторах различных типов, наряду с разработкой композиций и рецептур катализатора.

Существуют существенные различия в распределениях молекулярной массы углеводородных продуктов, полученных в реакционных системах Фишера-Тропша. Состав продуктов и селективность в отношении определенных продуктов зависит от типа и структуры катализатора и от типа реактора и рабочих условий. Вообще, однако, процесс Фишера-Тропша дает преимущественно воскообразные соединения с более высокой молекулярной массой. Эксплуатация процесса Фишера-Тропша при более низкой температуре, как правило, приводит к образованию более тяжелых углеводородных продуктов. В традиционных процессах Фишера-Тропша материалы с более высокой молекулярной массой впоследствии подвергаются крекингу с образованием жидких продуктов с более низкой молекулярной массой, предназначенных для использования в качестве топлива или химического сырья. Таким образом, желательно максимизировать селективность синтеза Фишера-Тропша в отношении производства более ценных углеводородов, например, углеводородов с пятью или более атомами углерода в углеродной цепи.

Описываются системы с высокой скоростью сдвига и способы для превращения синтез-газа в жидкие и газообразные углеводороды в процессе Фишера-Тропша. В соответствии с некоторыми вариантами реализации изобретения способ получения углеводородов  $C_{2+}$  включает получение дисперсии, включающей пузырьки синтез-газа, диспергированные в жидкой фазе, включающей углеводороды, в устройстве с высокой скоростью сдвига, при этом средний диаметр пузырьков синтез-газа в дисперсии меньше чем примерно 1,5 мкм; введение дисперсии в реактор; и отведение потока продуктов, включающих жидкие углеводороды, из реактора. Пузырьки газа могут иметь средний диаметр меньше чем 400 нм. Пузырьки газа могут иметь средний диаметр не больше чем 100 нм. Синтез-газ можно получать риформингом природного газа. Синтез-газ можно получать газификацией твердых веществ. В некоторых вариантах реализации изобретения твердое вещество выбрано из группы, состоящей из каменного угля, биомассы и биологически возобновляемых веществ. Реактор может включать катализатор Фишера-Тропша и способ может дополнительно включать использование по меньшей мере части потока продуктов в устройстве с высокой скоростью сдвига. Часть потока продуктов, возвращающаяся в устройство с высокой скоростью сдвига, может включать катализатор Фишера-Тропша. Часть потока продуктов, возвращающаяся в устройство с высокой скоростью сдвига, может, по существу, не содержать катализатор Фишера-Тропша.

В некоторых вариантах реализации изобретения получение дисперсии включает действие на синтез-газ и жидкую фазу сдвига со скоростью больше чем примерно  $20000 \text{ с}^{-1}$ . Устройство с высокой скоростью сдвига может включать в себя по меньшей мере один ротор, причем в процессе образования дисперсии по меньшей мере один ротор вращается с линейной скоростью конца лопасти по меньшей мере 22,9 м/с (4500 футов в минуту). В некоторых вариантах реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига создает локальное давление по меньшей мере около 1034,2 МПа (150000 фунтов на кв. дюйм) на лопасти по меньшей мере одного ротора. Расход энергии устройства с высокой скоростью сдвига может быть больше чем  $1000 \text{ Вт/м}^3$ . В некоторых вариантах реализации способа катализатор включает металл, выбранный из группы, включающей железо, кобальт и их комбинации.

В заявке также описывается способ для превращения синтез-газа в углеводороды  $C_{2+}$ , включающий получение жидкой смеси, включающей синтез-газ и жидкость, включающую углеводороды; воздействие на жидкую смесь высокой скорости сдвига со скоростью больше чем  $20000 \text{ с}^{-1}$  с получением дисперсии пузырьков оксида углерода и водорода в непрерывной фазе жидкости и введение дисперсии в реактор Фишера-Тропша, из которого выводятся продукты реакции. Способ может дополнительно включать в себя выведение потока газа, включающего непрореагировавший синтез-газ, из верхней части реактора, и получение дополнительной дисперсии по меньшей мере с частью непрореагировавшего синтез-газа. Средний диаметр пузырьков газообразного водорода и газообразного оксида углерода в дисперсии может быть меньше чем примерно 5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения дисперсия стабильна в течение по меньшей мере 15 мин при атмосферном давлении. В воздействие на жидкую смесь сдвига со скоростью больше чем  $20000 \text{ с}^{-1}$  может включать в себя введение жидкости в устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя по меньшей мере два генератора.

В настоящей заявке описывается система для превращения газообразного оксида углерода и газообразного водорода в углеводороды  $C_{2+}$ , включающая по меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор, разделенные зазором, причем рабочий зазор - это минимальное расстояние между по меньшей мере одним ротором и по меньшей мере одним статором, и в которой перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига способно создавать линейную скорость конца лопасти по меньшей

мере одного ротора больше чем 22,9 м/с (4500 футов в минуту); и насос, сконфигурированный для подачи жидкого потока, включающего в себя жидкую среду, к перемешивающему устройству, с высокой скоростью сдвига. Система может дополнительно включать в себя реактор Фишера-Тропша, соединенный с возможностью пропускания текучей среды с выходом внешнего устройства с высокой скоростью сдвига и имеющий выход для потока продуктов, включающего в себя жидкие углеводороды. По меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига может быть сконфигурировано для получения дисперсии пузырьков газообразного водорода и газообразного оксида углерода в жидкой фазе; причем средний диаметр пузырьков в дисперсии меньше чем 5 нм. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере одно перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига способно создавать линейную скорость конца лопасти по меньшей мере одного ротора по меньшей мере 20,3 м/с (4000 футов в минуту). Система может включать в себя по меньшей мере два перемешивающих устройства, создающих высокую скорость сдвига. Реактор может быть суспензионным реактором. В вариантах реализации изобретения система дополнительно включает в себя сепаратор, поток продуктов дополнительно включает в себя катализатор, и сепаратор включает в себя вход, соединенный с выходом для потока продуктов, и выход для потока суспензии катализатора, из которого выводится по меньшей мере часть жидких углеводородов, и выход для потока, включающего в себя жидкие углеводороды. Способ может дополнительно включать в себя линию рециркуляции, соединяющую выход для потока суспензии катализатора и вход в реактор Фишера-Тропша.

В системе для превращения синтез-газа в углеводороды  $C_{2+}$ , включающей реактор Фишера-Тропша и катализатор Фишера-Тропша, который катализирует превращение синтез-газа в углеводороды  $C_{2+}$ , описывается усовершенствование, включающее внешнее устройство с высокой скоростью сдвига, расположенное выше реактора по потоку, внешнее устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя вход для жидкого потока, включающего в себя синтез-газ и жидкую среду, и по меньшей мере один генератор, включающий в себя ротор и статор, разделенные рабочим зазором, причем устройство с высокой скоростью сдвига обеспечивает потребление энергии больше чем  $1000 \text{ Вт/м}^3$  жидкости. Устройство с высокой скоростью сдвига может включать в себя по меньшей мере два генератора. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига, обеспечиваемая одним генератором, больше, чем скорость сдвига, обеспечиваемая другим генератором.

В некоторых вариантах реализации изобретения система дополнительно включает в себя насос, сконфигурированный для подачи жидкой среды и синтез-газа к перемешивающему устройству с высокой скоростью сдвига. Система включает в себя реактор, сконфигурированный для приема дисперсии из устройства с высокой скоростью сдвига. Некоторые варианты реализации системы потенциально делают возможным превращение синтез-газа в углеводороды без необходимости в реакторах Фишера-Тропша большого объема за счет использования внешнего реактора под давлением, в котором создается высокая скорость сдвига.

#### Общее представление

Скорость химических реакций, в которых участвуют жидкости, газы и твердые вещества, зависит от времени контакта, температуры и давления. В тех случаях, когда желательно осуществить реакцию двух или нескольких сырьевых материалов, находящихся в разных фазах (например, твердое вещество и жидкость; жидкость и газ; твердое вещество, жидкость и газ), одним из лимитирующих факторов, контролирующих скорость реакции, является время контакта реагентов. В случае гетерогенно-каталитических реакций дополнительным фактором, ограничивающим скорость, является удаление прореагировавших продуктов с поверхности катализатора для того, чтобы позволить катализатору катализировать следующие реагенты. Время контакта реагентов и/или катализатора часто контролируют с помощью перемешивания, которое обеспечивает контакт с двумя или более реагентами, участвующими в химической реакции.

Реакторный узел, который включает в себя внешнее устройство с высокой скоростью сдвига, или миксер, в соответствии с приведенным описанием, делает возможным снижение ограничений массопереноса и тем самым позволяет реакции более близко подойти к кинетическим пределам реакции. Если скорости реакций повышены, то могут быть снижены времена пребывания и, посредством этого, повышена достижимая пропускная способность. В результате применения системы и способа, в которых создается высокая скорость сдвига, может быть повышен выход продукта. Или же, если выход продукта существующего процесса приемлем, уменьшение требуемого времени пребывания за счет включения подходящего устройства с высокой скоростью сдвига, может позволить использовать более низкую температуру и/или давление, чем традиционные процессы. Для того чтобы, в соответствии с желанием, производить более тяжелые углеводороды, может использоваться реакция Фишера-Тропша при более низкой температуре.

Боле того, не желая ограничиваться конкретной теорией, полагают, что условия высокой скорости сдвига, обеспечиваемые реакторным узлом, который включает в себя описанное в настоящей заявке внешнее устройство с высокой скоростью сдвига или смеситель, может позволить осуществить реакцию Фишера-Тропша превращения синтез-газа в жидкие углеводороды, в основном, имеющие пять или более атомов углерода (углеводороды  $C_{5+}$ ), и газообразные углеводороды, в основном, имеющие два или более

атомов углерода (углеводороды  $C_{2+}$ ), при таких общих рабочих условиях, при которых обычно нельзя ожидать существенного прохождения реакции.

Система для превращения синтез-газа в углеводороды по реакции Фишера-Тропша

Система для реакции Фишера-Тропша в условиях высокой скорости сдвига будет описываться со ссылкой на фиг. 3, которая представляет технологическую схему варианта реализации системы с высокой скоростью сдвига 100 для превращения синтез-газа в углеводороды. К основным компонентам типичной системы относятся внешнее перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40, реактор 10 и насос 5. Как показано на фиг. 3, устройство с высокой скоростью сдвига 40 расположено за пределами реактора 10. Каждый из этих компонентов более подробно описан ниже. К насосу 5 подсоединен трубопровод 21 для ввода жидкой среды в HSD 40. Трубопровод 13 подсоединяет насос 5 к HSD 40, а трубопровод 18 подсоединяет HSD 40 к реактору 10. Трубопровод 22 может быть подсоединен к трубопроводу 13 для ввода газа, включающего в себя окись углерода и водород (то есть синтез-газа). Или же, трубопровод 22 может быть подсоединен непосредственно к HSD 40. Трубопровод 17 может быть подсоединен к реактору 10 для вывода непрореагировавшего оксида углерода, водорода и/или другого вводимого газа или образующихся газообразных углеводородов  $C_{2+}$ . В некоторых применениях трубопровод 17 может быть подсоединен с возможностью пропускания текучей среды к трубопроводу 22, посредством чего газ в трубопроводе 17 может быть возвращен в HSD 40. Дополнительные компоненты или технологические операции могут быть встроены между реактором 10 и HSD 40, или перед насосом 5, или HSD 40, если требуется, как будет очевидно после прочтения представленного ниже описания процесса Фишера-Тропша при высокой скорости сдвига. Например, как показано на фиг. 3, в системе 100 могут быть установлены теплообменники, такие как теплообменники 60 и 80, для отвода тепла, выделяющегося в ходе экзотермической реакции Фишера-Тропша. Трубопровод может быть подсоединен к трубопроводу 21 или трубопроводу 13 (например, от реактора 10) для обеспечения эксплуатации в несколько проходов, если требуется. Как показано на фиг. 3, например, трубопровод 20 может соединять трубопровод 16 с трубопроводом 21.

В тех случаях, когда через HSD 40 циркулирует катализатор Фишера-Тропша (например, когда реактор 10 эксплуатируется как циркуляционный реактор замкнутого цикла суспензии), система синтеза Фишера-Тропша с высокой скоростью сдвига 100 может дополнительно включать в себя сепаратор 30. Сепаратор 30 может быть подсоединен к реактору 10 трубопроводами трубопровод 16 и 45. Продукты из реактора 10 могут быть введены в сепаратор 30 по трубопроводу 16. Трубопровод 45 может подсоединять сепаратор 30 к реактору 10 для возврата суспензии катализатора в реактор 10.

Система синтеза Фишера-Тропша с высокой скоростью сдвига 100 может дополнительно включать в себя расположенные ниже по потоку технологические установки для дальнейшей переработки жидких и газообразных продуктов, выходящих из реактора 10 (не показано на фиг. 3).

Перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига

Внешнее перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40, иногда называемое также устройством с высокой скоростью сдвига или перемешивающим устройством с высокой скоростью сдвига, сконфигурировано для приема входящего через трубопровод 13 потока, включающего в себя жидкую среду и синтез-газ. Или же, HSD 40 может быть сконфигурировано для приема потоков жидкой среды и синтез-газа через отдельные подводящие трубопроводы (не показаны). Несмотря на то, что на фиг. 3 показано только одно устройство с высокой скоростью сдвига, следует понимать, что некоторые варианты реализации системы могут иметь два или более устройств с высокой скоростью сдвига расположенных либо последовательно, либо параллельно.

Получающаяся дисперсия, включающая в себя пузырьки синтез-газа, и, необязательно, частицы катализатора в непрерывной жидкой фазе может называться эмульсией. Получающаяся дисперсия имеет средний размер пузырьков газа меньше чем примерно 5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем примерно 1,5 мкм. В вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем примерно 1 мкм; предпочтительно пузырьки имеют субмикронный размер. В некоторых случаях средний размер пузырьков находится в диапазоне от примерно 0,1 до примерно 1,0 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем 400 мкм. В вариантах реализации изобретения HSD 40 производит дисперсию, имеющую средний размер пузырьков меньше чем 100 нм. Устройство с высокой скоростью сдвига 200 производит дисперсию, включающую в себя пузырьки газа, способные оставаться в диспергированном состоянии при атмосферном давлении в течение по меньшей мере 15 мин.

Реактор 10

Реакция Фишера-Тропша - это гетерогенная каталитическая реакция с участием твердого катализатора, газообразных реагентов, которыми являются окись углерода и водород, и жидких продуктов реакции. Реактор 10 может быть реактором любого типа, в котором можно провести реакцию Фишера-Тропша. Например, реакционный аппарат с мешалкой непрерывного или полунепрерывного действия, или один или несколько реакторов периодического действия, которые могут использоваться последовательно или параллельно. В некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 включает в себя

один или несколько трубчатых реакторов, расположенных последовательно или параллельно. Реактор Фишера-Тропша 10 может эксплуатироваться как многотрубный реактор с неподвижным слоем, реактор с трёхфазным псевдооживленным неподвижным слоем, реактор с неподвижным псевдооживленным слоем или циркуляционный реактор с псевдооживленным слоем, как это известно специалисту в данной области техники.

Предусмотрено любое количество подводящих трубопроводов реактора, три такие трубопровода показаны на фиг. 3 (трубопровода 15, 18 и 45). Трубопровод 18 обеспечивает подачу дисперсии реакционного газа, включающего в себя окись углерода и водород, в реактор 10. Трубопровод 18 может вводить дисперсию в нижнюю половину реактора 10, или же в нижнюю четверть реактора 10. К сосуду 10 может быть подсоединена подводящий трубопровод 15 для приема раствора или суспензии катализатора в процессе эксплуатации и/или пуска системы. Если реактор 10 эксплуатируется как циркуляционный суспензионный реактор, подводящий трубопровод 45 может быть соединена с сепаратором 30 для ввода в реактор 10 концентрированной суспензии катализатора, из которой удален жидкий продукт. Реактор 10 может включать в себя выпускной трубопровод 17 для вывода газа из верхней части реактора 10. Трубопровод 16 подсоединен к нижней части реактора 10 для вывода жидких продуктов из реактора 10. В тех вариантах реализации изобретения, в которых используется неподвижный слой катализатора, то есть когда реактором 10 является многотрубный реактор с неподвижным слоем, с неподвижным псевдооживленным слоем или с трёхфазным псевдооживленным неподвижным слоем, выпускной трубопровод 16 может не содержать катализатор, и сепаратор может использоваться для отделения жидкой среды от произведенных углеводородов, или в некоторых применениях сепаратор 30 может отсутствовать. Предусмотрено, что реактор 10 может включать в себя множество трубопроводов для продуктов реакции 16.

Реакция Фишера-Тропша будет происходить повсюду, где существуют подходящие условия времени, температуры и давления. В этом смысле превращение синтез-газа может происходить в любой точке технологической схемы фиг. 3, если условия температуры и давления являются подходящими. В тех случаях, когда используется циркулирующая суспензия катализатора (то есть когда трубопровод 21 содержит частицы катализатора), наиболее вероятно, что реакция протекает в точках, расположенных вне реактора 10, показанного на фиг. 3, а не в реакторе 10. Тем не менее, часто желательно иметь отдельный реактор 10 для того, чтобы обеспечить увеличенное время пребывания, перемешивания и нагревания и/или охлаждения.

Реактор 10 может включать в себя один или несколько следующих компонентов: система перемешивания, система регулирования температуры, приборы для измерения давления, приборы для измерения температуры, одна или несколько точек ввода и регулятор уровня (не показан), в соответствии с тем, что хорошо известно в области проектирования реакционных сосудов. Например, система перемешивания может включать в себя мешалку с приводом от двигателя. Система регулирования температуры может включать в себя, например, теплообменник 70 с охлаждающими змеевиками или теплообменными трубами. Или же, поскольку большая часть реакции превращения может в некоторых вариантах реализации изобретения происходить в HSD 40, реактор 10 может в некоторых случаях служить, в основном, как емкость для хранения. Несмотря на то, что это, как правило, менее желательно, в некоторых применениях реактор 10 можно опустить, в частности, в том случае, когда применяется несколько последовательных устройств с высокой скоростью сдвига 40, как это более подробно описано ниже.

#### Сепаратор 30

Сепаратор 30 может быть любым устройством, пригодным для отделения концентрированной суспензии катализатора от жидких углеводородных продуктов, произведенных в системе 100, и любой жидкой среды, загруженной в систему. Сепаратор 30 может быть, например, выбран из гидроциклонов, гравитационных сепараторов, фильтров и магнитных сепараторов. В некоторых вариантах реализации изобретения сепаратор 30 может быть ректификационной колонной, в которой жидкие углеводороды и жидкую среду, загруженную в систему, можно отделить от катализатора Фишера-Тропша. В тех вариантах реализации изобретения, в которых газ выводится вместе с полученными жидкими углеводородами в трубопровод 16, можно использовать дополнительный сепаратор для разделения газообразных продуктов реакции и непрореагировавшего оксида углерода и водорода от произведенных жидких углеводородов и жидкой среды. Непрореагировавшие окись углерода и водород могут быть отделены от низкокипящих газообразных углеводородов и возвращены в HSD 40. Если продукт в трубопроводе 16 включает в себя катализатор, отделенный жидкий углеводородный продукт затем может быть введен в сепаратор 30 для удаления концентрированного катализатора из жидкого углеводородного продукта.

#### Теплообменники

В дополнение к вышеупомянутым средствам нагревания/охлаждения реактора 10 для нагревания или охлаждения технологического потока в вариантах реализации изобретения, показанного на фиг. 3, предусмотрены также и другие внешние и внутренние теплообменники. Поскольку реакция Фишера-Тропша сильно экзотермическая, тепло можно снимать с реактора 10 с использованием любого способа, известного специалисту в данной области техники. Например, реактор 10 может включать в себя один или несколько внутренних теплообменников 70. Предусмотрено также использование внешних нагревающих и/или охлаждающих теплообменников. Некоторыми подходящими местоположениями для од-

ного или нескольких таких теплообменников являются: между насосом 5 и HSD 40, между HSD 40 и реактором 10 и выше насоса 5 по технологической линии. В одном варианте реализации изобретения на фиг. 3 теплообменник 60 размещен на линии рециркуляции газа 50. В некоторых вариантах реализации изобретения теплообменник 60 является конденсатором. Вариант реализации изобретения на фиг. 3 также включает в себя теплообменник 80, размещенный на трубопроводе 21. Теплообменник 80 может быть, например, конденсатором. Некоторыми неограничивающими примерами таких теплообменников являются конденсаторы, кожухотрубные, трубчатые, пластинчатые и змеевиковые теплообменники, известные в данной области техники.

#### Насосы

Насос 5 сконфигурирован либо для непрерывной, либо для полунепрерывной эксплуатации. Характеристики и конфигурация насоса 5 описаны выше. В дополнение к насосу 5 в систему, показанную на фиг. 3, могут быть включены один или несколько дополнительных насосов высокого давления (не показаны). Например, дожимной насос, который может быть аналогичным насосу 5, может быть включен между HSD 40 и реактором 10 для повышения давления в реакторе 10. Такие дожимные насосы могут быть способны создавать давление от примерно 500 кПа (72,5 фунта на кв. дюйм) до примерно 1500 кПа (725 фунтов на кв. дюйм), от примерно 1500 кПа (218 фунтов на кв. дюйм) до примерно 3500 кПа (508 фунтов на кв. дюйм) или от примерно 2000 кПа (290 фунтов на кв. дюйм) до примерно 3000 кПа (435 фунтов на кв. дюйм). В качестве другого примера, дополнительный питающий насос, который может быть аналогичен насосу 5, может быть включен для ввода дополнительных реагентов или катализатора в реактор 10, например, по трубопроводу 15.

#### Производство углеводородов путем превращения синтез-газа по реакции Фишера-Тропша

Эксплуатация системы для осуществления реакции Фишера-Тропша в условиях высокой скорости сдвига будет описываться со ссылкой на фиг. 3. Вначале в систему загружается подходящая жидкая среда, в которой будут диспергироваться газообразные реагенты синтеза Фишера-Тропша. Первоначальная загрузка жидкой среды может быть различных типов. Подходящие углеводородные жидкости включают в себя любую алифатическую или ароматическую маловязкую органическую жидкость. Может использоваться также любой инертный носитель, такой как силиконовое масло. Могут использоваться другие жидкости, такие как вода, однако, диссоциация воды может привести к образованию побочных продуктов реакции синтеза спиртов и альдегидов. Вообще, присутствие любого источника кислорода нежелательно из-за возможного окисления CO в CO<sub>2</sub>. Выбор жидкости будет зависеть от желательных продуктов реакции процесса Фишера-Тропша и от их растворимости в выбранной органической жидкости. Желательно, чтобы первоначальная загрузка жидкой среды включала в себя один или несколько жидких углеводородных продуктов, произведенных по реакции Фишера-Тропша, так чтобы не требовалось никакого разделения для отделения жидких углеводородных продуктов, произведенных в системе, создающей высокую скорость сдвига 100, от первоначальной загрузки жидкой среды.

Трубопровод диспергируемого газа 22 содержит в себе синтез-газ, подлежащий превращению в углеводороды C<sub>2+</sub> по реакции Фишера-Тропша. Синтез-газ может быть приготовлен или получен любым способом, известным в данной области техники, включая частичное окисление углеводородов, паровой риформинг и автотермический риформинг. Длина углеродной цепи, производимой по реакции Фишера-Тропша, зависит от состава (соотношение водорода к оксиду углерода) синтез-газа, условий реакции и селективности катализатора. В некоторых вариантах реализации изобретения соотношение H<sub>2</sub>:CO в потоке диспергируемого синтез-газа, вводимого по трубопроводу 22, составляет от примерно 1:1 до примерно 5:1. В некоторых вариантах реализации изобретения соотношение H<sub>2</sub>:CO в потоке диспергируемого синтез-газа, вводимого по трубопроводу 22, составляет от примерно 1,7:1 до примерно 3:1. В вариантах реализации изобретения соотношение H<sub>2</sub>:CO равно примерно 2. Как правило, синтез-газ производится с использованием риформинга или газификации твердых веществ, в зависимости от имеющегося сырья. В некоторых вариантах реализации изобретения газообразная окись углерода и водород в линии диспергируемого газа 22 производятся с использованием риформинга или частичного окисления природного газа. В вариантах реализации изобретения синтез газ в трубопроводе 22 произведен с использованием газификации твердого вещества, такого как, в том числе, каменный уголь, биомасса и биологически возобновляемые вещества.

В вариантах реализации изобретения диспергируемый газ подается непосредственно в HSD 40, вместо объединения с потоком жидких реагентов (то есть жидкой средой) в трубопроводе 13. Насос 5 может использоваться для перекачивания жидкого потока (который будет включать в себя жидкую среду и может также включать в себя углеводородные продукты при эксплуатации в несколько проходов, и может включать в себя полученные углеводороды и катализатор при эксплуатации с циркуляцией суспензии) через трубопровод 21, и для создания давления и питания HSD 40, обеспечивая регулируемый поток через HSD 40 и систему с высокой скоростью сдвига 100. В некоторых вариантах реализации изобретения насос 5 повышает давление потока на входе HSD до значения больше чем 200 кПа (29 фунтов на кв. дюйм), больше чем примерно 300 кПа (43,5 фунта на кв. дюйм), больше чем примерно 500 кПа (72,5 фунта на кв. дюйм), больше чем примерно 1000 кПа (145 фунтов на кв. дюйм) или больше чем 1500 кПа (218 фунтов на кв. дюйм). Таким образом, система с высокой скоростью сдвига 100 может сочетать

высокую скорость сдвига и высокое давление для улучшения тщательного перемешивания реагентов.

Теплообменник может быть размещен на трубопроводе 21 или трубопроводе 13 для охлаждения жидкой среды. В варианте реализации изобретения на фиг. 3 теплообменник 80 размещен на трубопроводе 21.

После подачи насосом диспергируемый газ из трубопровода 22 газ и жидкость из трубопровода 13 перемешиваются в HSD 40, которое используется для создания мелкогазовой дисперсии газообразного оксида углерода и водорода в жидкости. В закрытом внешнем HSD 40 синтез-газ и жидкая среда интенсивно диспергируются, так что образуются нанопузырьки, пузырьки субмикронного размера и/или микропузырьки газообразных реагентов для превосходного растворения в растворе и улучшения перемешивания реагентов. Например, для создания дисперсии диспергируемых газообразных реагентов, которыми являются окись углерода и водород, в жидкой среде, включающей в себя углеводороды, может использоваться диспергатор, IKA® модели DR 2000/4, трехступенчатое диспергирующее устройство с высокой скоростью сдвига, оборудованное последовательно расположенными тремя роторами в комбинации со статорами. Комплекты ротор/статор могут быть, например, сконфигурованы так, как показано на фиг. 2. Диспергируемые реагенты входят в устройство с высокой скоростью сдвига, по трубопроводу 13 и поступают в комбинацию ротор/статор первой ступени. Роторы и статоры первой ступени могут иметь зубцы, расположенные по окружности ротора и статора первой ступени соответственно. Крупнозернистая дисперсия, выходя из первой ступени, поступает во вторую ступень ротор/статор. Ротор и статор второй ступени могут также включать в себя зубцы, расположенные по окружности ротора и статора соответственно. Дисперсия с уменьшенным размером пузырьков, выходящая из второй ступени, поступает в систему ротор/статор третьей ступени, которая может включать в себя ротор и статор, имеющие зубцы ротора и статора, соответственно. Дисперсия выходит из устройства с высокой скоростью сдвига, по трубопроводу 18. Дисперсия может дополнительно включать в себя частицы катализатора в тех вариантах реализации изобретения, в которых катализатор циркулирует через HSD 40. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига постепенно увеличивается вдоль направления движения потока 260.

Например, в некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига в первой ступени ротор/статор больше чем скорость сдвига в следующей ступени(ях). В других вариантах реализации изобретения скорость сдвига, по существу, постоянна вдоль направления движения потока, причем скорость сдвига в каждой ступени, по существу, одинакова.

Если устройство с высокой скоростью сдвига 40, включает в себя уплотнение из ПТФЭ, то уплотнение может охлаждаться любым подходящим способом, известным в данной области техники. Например, свежая суспензия катализатора или, необязательно, вводимые потоки низкокипящих углеводородов (не показано на фиг. 3) могут использоваться для охлаждения уплотнения и при этом предварительно подогреваться, в случае необходимости, перед поступлением в систему с высокой скоростью сдвига 100, например, в устройство с высокой скоростью сдвига 40.

Ротор(ы) HSD 40 может быть установлен так, чтобы он(и) вращался со скоростью, соответствующей диаметру ротора, и необходимой линейной скоростью конца лопасти. Как описано выше, устройство с высокой скоростью сдвига (например, коллоидная мельница или диспергатор с зубчатым венцом) имеет либо фиксированный зазор между статором и ротором, либо регулируемый зазор. HSD 40 служит для тщательного перемешивания синтез-газа и жидкой среды (то есть жидкого потока в трубопроводе 13, включающего в себя жидкую среду и необязательно включающего в себя углеводородный продукт и/или катализатор). В некоторых вариантах реализации процесса сопротивление переносу реагентов уменьшается за счет работы устройства с высокой скоростью сдвига, так, что скорость реакции увеличивается больше чем примерно на 5%. В некоторых вариантах реализации процесса сопротивление переносу реагентов уменьшается за счет того, что устройство с высокой скоростью сдвига работает таким образом, что скорость реакции увеличивается больше чем примерно в 5 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость реакции увеличивается по меньшей мере в 10 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость реакции увеличивается в интервале от примерно 10 до примерно 100 раз.

После диспергирования получившаяся дисперсия газ/жидкость или газ/жидкость/твердое вещество выходит из HSD 40 через трубопровод 18 и поступает в реактор 10, как показано на фиг. 3. Необязательно дисперсия может быть дополнительно обработана (например, охлаждена) перед подачей в сосуд 10, в случае необходимости. В реакторе 10 проходит/продолжается реакция Фишера-Тропша за счет контакта с катализатором Фишера-Тропша.

В некоторых вариантах реализации изобретения жидкая среда и катализатор сначала перемешиваются в реакторе 10. Жидкая среда и катализатор могут поступать в реактор 10 в виде суспензии через, например, подводный трубопровод 15. Предусмотрено любое количество подводных трубопроводов реактора, три такие трубопровода показаны на фиг. 3 (трубопроводы 15, 18 и 45). В одном варианте реализации изобретения реактор 10 загружается катализатором и катализатор, в случае необходимости, активируется в соответствии с процедурами, рекомендованными поставщиком катализатора, перед введением диспергируемого газа, включающего в себя окись углерода и водород, в HSD 40.

В некоторых вариантах реализации изобретения, как показано на фиг. 3, суспензия катализатора ре-

актора 10 циркулирует через HSD 40. В таких вариантах реализации изобретения продукт в трубопроводе 16 включает в себя катализатор, наряду с жидкими углеводородными продуктами и жидкой средой (которая может использоваться в процессе пуска, например). В некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 включает в себя неподвижный слой катализатора (например, трёхфазный псевдооживленный неподвижный слой), и катализатор не выводится с жидким продуктом в трубопровод 16, и катализатор не циркулирует через HSD 40. В тех вариантах реализации изобретения с неподвижным слоем катализатора, в которых катализатор не циркулирует через HSD 40, продукт в трубопроводе 16 включает в себя углеводородный продукт и жидкую среду. Такой продукт может быть направлен непосредственно на дальнейшую переработку или может быть возвращен по трубопроводу 21, например, в HSD 40 при эксплуатации в несколько проходов.

В варианте реализации изобретения на фиг. 3 поток газа выводится по трубопроводу 17 из газовой шапки, расположенной выше уровня 75 суспензии катализатора, или слоя катализатора в реакторе 10. В других вариантах непрореагировавший синтез-газ и газообразные продукты (например, углеводороды с числом атомов углерода меньше 6) выводятся из реактора 10 по трубопроводу 16 в виде смешанного потока с жидким углеводородным продуктом. В таких применениях газообразные и жидкие углеводородные продукты могут быть отделены от непрореагировавшего газообразного оксида углерода и водорода в устройстве, расположенном вне реактора 10. В таких вариантах реализации изобретения продукт, выводимый по трубопроводу 16, может включать в себя газообразный углеводородный продукт и непрореагировавшие реагенты синтез-газа в дополнение к жидкому углеводородному продукту и, необязательно, катализатору. Как отмечалось выше, в таких случаях сепаратор (не показан) может использоваться для выделения непрореагировавшего синтез-газа и его рециркуляции в HSD 40.

В результате тщательного перемешивания газообразных реагентов перед поступлением в сосуд 10 существенная доля химической реакции может проходить в HSD 40, когда катализатор циркулирует через систему 100. Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 может использоваться, главным образом, для нагревания/охлаждения и отделения углеводородных продуктов от непрореагировавшего реагента и газообразных продуктов реакции. Или же, или дополнительно, реактор 10 может использоваться в качестве первичного реакционного сосуда, особенно в тех случаях, когда катализатор не циркулирует через систему 100, а находится в реакторе 10, где производится большая часть углеводородного продукта. Например, в вариантах реализации изобретения реактор 10 - это реактор с неподвижным слоем (например, реактор с неподвижным псевдооживленным слоем, реактор с трёхфазным псевдооживленным слоем или многотрубный реактор с неподвижным слоем), включающим в себя катализатор, и катализатор не циркулирует через HSD 40. В таких вариантах реализации изобретения, несмотря на то, что катализатор может не циркулировать через HSD 40, катализатор (или суспензия) может, тем не менее, добавляться в реактор или выводиться из реактора 10, или может перемещаться через реактор 10 по замкнутому контуру. То есть, несмотря на то, что в некоторых вариантах реализации изобретения катализатор не циркулирует через HSD 40, катализатор может, тем не менее, циркулировать внутри реактора 10, или может быть закольцован, может вводиться в реактор или выводиться из реактора 10.

Реактор 10 может эксплуатироваться в режиме либо непрерывного, либо полунепрерывного потока, или может эксплуатироваться в периодическом режиме. Содержимое реактора 10 может поддерживаться при определенной температуре реакции с использованием оборудования для нагревания и/или охлаждения (например, охлаждающие змеевики) и приборов для измерения температуры. Поскольку реакция Фишера-Тропша сильно экзотермическая, реактор 10 может включать в себя внутренний теплообменник 70. Внутренним теплообменником 70 может быть, например, один или несколько охлаждающих змеевиков/теплообменных труб, размещенных внутри реактора 10. Давление в сосуде может контролироваться с помощью подходящих приборов для измерения давления, а уровень реагентов в сосуде может регулироваться с использованием регулятора уровня (не показан), любыми способами, известными в данной области техники. Содержимое может перемешиваться в непрерывном или полунепрерывном режиме.

#### Катализатор

Система с высокой скоростью сдвига 100 включает в себя подходящий катализатор Фишера-Тропша, известный в данной области техники. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатор циркулирует через систему 100 по трубопроводам 16, 21, 13 и 18. В других вариантах реализации изобретения используется неподвижный слой катализатора и катализатор остается в пределах реактора 10. В любом случае используется подходящий катализатор Фишера-Тропша. Например, катализатор Фишера-Тропша может включать в себя металл 8, 9 или 10 группы, осажденный или неосажденный на носитель. В вариантах реализации изобретения металл VIII группы выбран из железа, кобальта, рутения, никеля и их комбинаций. Активность никелевых и рутениевых катализаторов обычно недостаточно высока для промышленного применения, а цена рутения часто делает его непривлекательным вариантом. Как правило, железо гораздо дешевле, в то время как преимуществами кобальта являются более высокая активность и более продолжительный срок службы. Поскольку введение сдвига с высокой скоростью может дать возможность эксплуатации при более низкой температуре и более эффективного использования катализатора, описываемая система и способ может сделать использование рутения и никеля более

привлекательным. Металлический катализатор может быть осажден на неорганический огнеупорный оксид, такой как окись алюминия, двуокись кремния, смесь оксида алюминия и диоксида кремния, двуокись титана, окись цинка и оксиды элементов 4 группы. Катализатор может дополнительно включать в себя металл-ускоритель катализа, выбранный из рутения, платины, палладия, рения, церия, гафния, циркония, лантана, меди и их комбинаций.

Подходящий катализатор Фишера-Тропша может быть введен в реактор 10 через трубопровод 15 в виде суспензии катализатора в жидкой среде или в виде потока катализатора. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатор непрерывно добавляется в реактор 10 через трубопровод 15. В некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 включает в себя неподвижный слой подходящего катализатора. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатор вводится в реактор 10 и активируется в соответствии с процедурой изготовителя перед началом процесса превращения синтез-газа. Или же, или дополнительно, свежий катализатор может добавляться в систему синтеза Фишера-Тропша с высокой скоростью сдвига 100 где-нибудь в другом месте. Например, свежая суспензия катализатора может вводиться в трубопровод 21 или в трубопровод 45. Отработанный катализатор может выводиться из системы 100 и заменяться свежим катализатором по мере необходимости. Например, часть катализатора в трубопроводе 45 может быть удалена, а новый катализатор введен в реактор 10, например, через трубопровод 15. Таким образом, в некоторых вариантах реализации изобретения трубопровод 21 содержит в себе углеводородный продукт, жидкую среду (которая может быть углеводородным продуктом) и катализатор, а в других вариантах реализации изобретения трубопровод 21 транспортирует жидкий поток, включающий в себя углеводородный продукт и жидкую среду без катализатора.

Синтез-газ в трубопроводе диспергируемого газа 22 превращается в газообразные и жидкие углеводороды (например, олефины, парафины и кислородсодержащие продукты) посредством контакта с катализатором Фишера-Тропша. Процесс Фишера-Тропша может проводиться либо как высокотемпературный процесс Фишера-Тропша (HTFT), либо, может быть более желательно, как низкотемпературный процесс Фишера-Тропша (LTFT). В вариантах реализации изобретения превращение Фишера-Тропша осуществляется как процесс LTFT, и рабочая температура находится в интервале от примерно 180 до примерно 240°C. В некоторых вариантах реализации изобретения превращение Фишера-Тропша осуществляется как процесс HTFT, и рабочая температура находится в интервале от примерно 300 до 350°C. В некоторых вариантах реализации изобретения выбран процесс HTFT, и катализатор включает в себя железо. В некоторых вариантах реализации изобретения выбран процесс LTFT, и катализатор включает в себя железо или кобальт. В некоторых вариантах реализации изобретения температура реактора 10 поддерживается в интервале от примерно 180°C до примерно 280°C, или же в интервале от 190 до 240°C.

В вариантах реализации изобретения давление в реакторе 10 может быть от примерно 500 кПа (72,5 фунтов на кв. дюйм) до примерно 1500 кПа (218 фунтов на кв. дюйм). В некоторых вариантах реализации изобретения давление в реакторе 10 может быть от примерно 1500 кПа (218 фунтов на кв. дюйм) до примерно 3500 кПа (508 фунтов на кв. дюйм). В некоторых вариантах реализации изобретения давление в реакторе 10 может быть от примерно 2000 кПа (290 фунтов на кв. дюйм) до примерно 3000 кПа (435 фунтов на кв. дюйм). В некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 эксплуатируется при давлении, близком к атмосферному давлению.

Углеводородные продукты могут производиться либо непрерывно или полунепрерывно, либо периодически, в зависимости от требований конкретного применения. Непрореагировавший газ и газообразные продукты могут выходить из реактора 10 через газовый трубопровод 17. Этот поток газа может включать в себя непрореагировавшую окись углерода и водород, а также низкокипящие углеводородные продукты, испаренную воду и инертный газ. Реакционный газ, выводимый через трубопровод 17, может быть затем обработан, и его компоненты могут быть повторно использованы, в случае необходимости. Например, часть газа в трубопроводе 17 может быть выведена в качестве продувки. Газообразные углеводороды  $C_{2+}$  (как правило, имеющие меньше 6 атомов углерода) могут быть выделены из потока продувки и возвращены в систему с высокой скоростью сдвига 100, или направлены на последующую переработку. Часть газа в трубопроводе 17 может быть возвращена в качестве реагента в HSD 40 через линию 50. Тепло, выделяющееся в экзотермической реакции Фишера-Тропша, может быть желательным отвести от части газа в трубопроводе 17, рециркулирующего в HSD 40. В некоторых вариантах реализации изобретения низкокипящие углеводородные продукты и испаренная вода могут быть удалены из реакционного газа и газообразных углеводородов, имеющих от одного до трех атомов углерода (например, метан, этан, пропан) путем введения газа в конденсатор 60. Сконденсировавшиеся жидкости, включающие в себя воду и низкокипящие углеводороды, могут быть таким образом отделены (и выведены из системы с высокой скоростью сдвига 100) от потока газа, включающего в себя окись углерода, водород и газообразные углеводороды, имеющие от одного до трех атомов углерода. Поток газа из конденсатора 60 может быть возвращен в реактор 10 через трубопровод 22. Если газообразные реагенты в трубопроводе 22 предварительно не были охлаждены, то трубопровод 22 может быть введен в трубопровод 50 таким образом, чтобы свежие газообразные реагенты охлаждались в теплообменнике 60.

Жидкие углеводородные продукты  $C_{5+}$  извлекаются из системы синтеза Фишера-Тропша с высокой скоростью сдвига 100 через выпускной трубопровод для продукта 16. Выпускной трубопровод для про-

дукта 16 может быть расположен в пределах нижней половины реактора 10 или же в пределах нижней четверти реактора 10. Жидкость может непрерывно циркулировать через трубопровод 21, а синтез Фишера-Тропша может продолжаться в течение периода времени, достаточного для производства необходимого углеводородного продукта; после чего реакцию прекращают так, как известно специалисту в данной области техники. Регенерация катализатора может проводиться любыми способами, известными в данной области техники.

В некоторых вариантах реализации изобретения поток продукта в трубопроводе 16 включает в себя углеводородные продукты, жидкую среду и катализатор. В некоторых вариантах реализации изобретения продукт в трубопроводе 16 включает в себя углеводородные продукты и жидкую среду. В тех вариантах реализации изобретения, в которых используется циркулирующая суспензия катализатора, поток углеводородного продукта, включающий в себя углеводородные продукты, жидкую среду и катализатор, может быть введен в сепаратор 30 для отделения продукта от катализатора. Отделенная концентрированная суспензия катализатора может быть возвращена в реактор 10, например, через трубопровод 45. Освобожденный от катализатора продукт может быть направлен на дальнейшую переработку, например, через трубопровод 35.

В вариантах реализации изобретения по меньшей мере часть потока, выгружаемого из реактора 10 в трубопровод 16, вводится в трубопровод 21 насоса 5 и возвращается в HSD 40. В таких вариантах реализации изобретения теплообменник 80 может использоваться для снижения температуры в трубопроводе 21. В некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 включает в себя суспензию катализатора, и часть суспензии выходит из реактора 10 через трубопровод 16 и поступает в насос 5 через подводящий трубопровод 21 насоса. Вода может быть удалена из части потока, выгружаемого из реактора 10 в трубопровод 16, который возвращается в систему 100, как это известно в данной области техники. Конденсатор 80 может использоваться для удаления воды и тепла реакции из жидкости в трубопроводе 21. После подачи насосом, суспензия под давлением перемешивается с синтез-газом, поступающим по трубопроводу диспергируемого газа 22, в устройстве с высокой скоростью сдвига 40, которое служит для тщательного перемешивания реагентов и катализатора. В некоторых вариантах реализации изобретения реактор 10 включает в себя не циркулирующий слой катализатора (суспензия, неподвижный или псевдооживленный слой), и трубопровод 21 содержит в себе жидкий поток свободного от катализатора углеводорода, выходящего из реактора 10 через отводящий трубопровод 16.

Углеводородный продукт, полученный с использованием системы и способа в условиях с высокой скоростью сдвига, может включать в себя смесь углеводородов, имеющих длину цепи больше чем 5 атомов углерода. Жидкий углеводородный продукт может включать в себя смесь углеводородов, имеющих длину цепи от 5 до примерно 90 атомов углерода. В некоторых вариантах реализации изобретения большинство углеводородов в жидком углеводородном продукте имеет длину цепи в диапазоне от 5 до примерно 30 атомов углерода. Последующая переработка продукта может давать широкий ассортимент товарных продуктов, например бензин, свечной парафин и дистиллятные топлива, включая дизельное топливо, нефть и керосин.

Эксплуатация в один проход

В варианте реализации изобретения, показанном на фиг. 3, система сконфигурирована для эксплуатации в несколько проходов, когда часть потока, выходящего из реактора 10, направляется обратно в HSD 40. В некоторых вариантах реализации изобретения может быть желательным эксплуатировать систему в один проход. В этом случае продукт в трубопроводе 16 (при эксплуатации с неподвижным слоем катализатора) или в трубопроводе 35 (при эксплуатации с циркулирующим катализатором) может направляться непосредственно на дальнейшую переработку для извлечения необходимых продуктов. В некоторых вариантах реализации изобретения может быть желательным пропустить содержимое трубопровода 16 или его жидкую часть через HSD 40 в несколько проходов, как описано выше. В этом случае, как показано на фиг. 3, трубопровод 16 может быть подсоединен к трубопроводу 21 с помощью трубопровода 20, так что по меньшей мере часть содержимого трубопровода 16 рециркулирует из сосуда 10 и перекачивается насосом 5 в трубопровод 13, а затем в HSD 40. Дополнительный синтез-газ может быть введен в трубопровод 13 через трубопровод 22 или может быть добавлен непосредственно в устройство с высокой скоростью сдвига (не показано).

Несколько перемешивающих устройств с высокой скоростью сдвига

В некоторых вариантах реализации изобретения два или больше устройств с высокой скоростью сдвига, подобных HSD 40 или сконфигурированных иным образом, расположены последовательно и используются для дальнейшей интенсификации реакции. Эксплуатация последовательно расположенных устройств, создающих высокую скорость сдвига 40, может проводиться либо в периодическом, либо в непрерывном режиме. В некоторых случаях, когда катализатор циркулирует через HSD 40 через трубопровод 21, использование нескольких последовательно расположенных устройств с высокой скоростью сдвига может позволить снизить количество проходов через систему, требующееся для получения продукта с необходимыми характеристиками. Например, в вариантах реализации изобретения выходящая по трубопроводу 18 дисперсия может быть направлена на вход второго устройства с высокой скоростью сдвига. В тех случаях, когда несколько устройств с высокой скоростью сдвига 40, эксплуатируется по-

следовательно, дополнительный синтез-газ может быть введен в сырьевой поток на входе каждого устройства с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения несколько устройств с высокой скоростью сдвига 40, эксплуатируются параллельно, и выходящие из них дисперсии вводятся в один или несколько реакторов 10.

#### Последующая переработка

Жидкие углеводородные продукты, выделенные из трубопровода для продуктов 16 или выделенные и сконденсированные из газового трубопровода 17, могут быть подвергнуты гидрокрекингу. Гидрокрекинг может быть каталитическим гидрокрекингом, в котором жидкий углеводородный продукт контактирует с катализатором гидрокрекинга. Подходящий катализатор гидрокрекинга может включать в себя металл, выбранный из никеля, молибдена, кобальта, вольфрама или их комбинации. Металлический катализатор может быть осажден на носитель, выбранный из диоксида кремния, смеси оксида алюминия и диоксида кремния и цеолитов.

Увеличенная площадь поверхности пузырьков синтез-газа микронного и/или субмикронного размера в дисперсии, находящейся в трубопроводе 18, полученной в устройстве с высокой скоростью сдвига 40, приводит к более быстрой и/или более полной реакции водорода и оксида углерода в реакторе 10 и, если выбран вариант эксплуатации с циркулирующим катализатором, во всей системе, создающей высокую скорость сдвига 100. Как отмечалось выше, потенциальными преимуществами являются возможность эксплуатации реактора 10 при более низкой температуре и давлении, что влечет за собой экономию, как эксплуатационных, так и капитальных затрат. Эксплуатация реактора Фишера-Тропша 10 при более низкой температуре может повысить объем выработки более тяжелых углеводородов. Преимущества настоящего изобретения могут включать, но не ограничиваются, более коротким временем цикла, повышенной производительностью, уменьшенными эксплуатационными расходами и/или уменьшенными капитальными затратами из-за возможности разработки реакторов Фишера-Тропша 10 меньшего размера, эксплуатации реактора 10 при более низкой температуре и/или давлении реакции Фишера-Тропша, и возможного снижения потребности в катализаторе.

Применение интенсивного перемешивания реагентов с помощью HSD 40 потенциально позволяет реализовать более эффективное превращение синтез-газа по реакции Фишера-Тропша. В некоторых вариантах реализации изобретения интенсивное перемешивание делает возможным повышение пропускной способности по технологическому потоку. В некоторых вариантах реализации изобретения перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига, включено в общепринятый процесс, позволяя повысить объем выработки (то есть более высокая производительность). Потенциальными преимуществами определенных вариантов реализации изобретения описанных способов являются уменьшенные эксплуатационные расходы и повышенная производительность существующего процесса. Некоторые варианты реализации описываемых процессов дополнительно предлагают преимущество более низких капитальных затрат на разработку новых процессов. В некоторых вариантах реализации изобретения диспергирование синтез-газа в жидкой среде в устройстве с высокой скоростью сдвига 40, уменьшает количество непрореагировавшего синтез-газа в трубопроводе 17.

Не желая ограничиваться конкретной теорией, считают, что в определенных вариантах реализации настоящей системы и способов перемешивающее устройство с высокой скоростью сдвига создает кавитацию, за счет которой водород и окись углерода диссоциируют на свободные радикалы, которые затем вступают в реакцию с образованием углеводородных продуктов.

Настоящие способы и система для превращения синтез-газа в углеводороды  $C_{2+}$  по реакциям Фишера-Тропша используют внешнее механическое устройство с высокой скоростью сдвига для обеспечения быстрого контактирования и перемешивания химических ингредиентов в контролируемых условиях в реакторе/устройстве с высокой скоростью сдвига. Устройство с высокой скоростью сдвига, снижает ограничения массопереноса реакции и таким образом увеличивает скорость реакции, и может обеспечить существенную реакцию оксида углерода и водорода при таких общих рабочих условиях, при которых нельзя предполагать прохождение существенной реакции.

В некоторых вариантах реализации изобретения система и способ настоящей заявки обеспечивают более высокую селективность в отношении углеводородов  $C_{5+}$ , чем традиционные процессы Фишера-Тропша, подразумевающие отсутствие внешнего перемешивания с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения степень перемешивания во внешнем устройстве с высокой скоростью сдвига 40 изменяется с целью получения продукта с необходимыми характеристиками на выходе. Для реакции Фишера-Тропша понижение рабочей температуры повышает долю более тяжелых углеводородов. Поскольку реакция Фишера-Тропша сильно экзотермическая, часто непросто охладить реактор Фишера-Тропша 10 достаточно сильно для того, чтобы получались углеводороды с более длинной цепью. Для инициирования и поддержания реакции Фишера-Тропша требуется некоторое количество энергии (то есть тепловой энергии). Как правило, рабочая температура будет больше чем примерно  $180^{\circ}C$ . В некоторых вариантах реализации изобретения процесс Фишера-Тропша в условиях высокой скорости сдвига настоящего изобретения позволяет эксплуатировать реактор Фишера-Тропша 10 при более низкой температуре, за счет чего производятся углеводороды с более длинной цепью. В некоторых вариантах реализации изобретения использование настоящей системы и способа производства углеводородов

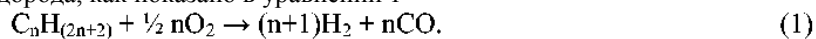
C<sub>2+</sub> по реакции Фишера-Тропша делает экономически выгодным использование рутениевых и/или никелевых катализаторов в промышленном масштабе за счет интенсификации контакта с катализатором (за счет снижения сопротивления массопереносу).

Газификация углеродсодержащих материалов

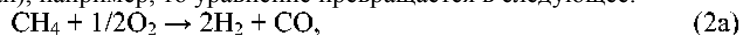
Синтез-газ - это смесь водорода и оксида углерода, используемая во многих технологических процессах. Например, синтез-газ может сжигаться непосредственно в двигателях внутреннего сгорания, использоваться для производства метанола и водорода или превращаться с использованием процесса Фишера-Тропша в синтетическое топливо.

Оксид углерода, CO, и водород, H<sub>2</sub> (то есть синтез-газ), являются исходными реагентами, используемыми в процессе Фишера-Тропша (ФТ). Получающиеся углеводородные продукты подвергаются последующей переработке с целью получения необходимого синтетического топлива. Полезность процесса ФТ состоит, главным образом, в том, что он позволяет производить жидкие углеводороды из природного газа или из твердого сырья. Используется различное сырье, включая природный газ, лигнит, торф, каменный уголь или твердые углеродсодержащие отходы различных типов. Пиролиз углеводородного сырья в атмосфере неокисляющих газов может использоваться для производства синтез-газа, который может использоваться непосредственно в качестве жидкого топлива, без необходимости применения превращений Фишера-Тропша. Если же существует необходимость производства топлива, смазочного материала или парафина, подобных тем, которые получают из нефти, можно использовать превращение синтез-газа по реакции Фишера-Тропша.

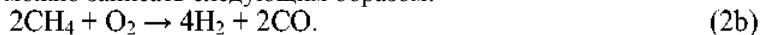
Синтез-газ обычно получают одним из двух способов. Синтез-газ можно получить при неполном сгорании углеводорода, как показано в уравнении 1



Если n=1 (метан), например, то уравнение превращается в следующее:



которое также можно записать следующим образом:



Синтез-газ можно также получить газификацией (которую также называют паровым риформингом) углеродсодержащего материала, такого как каменный уголь, биомасса или природный газ



Величина x зависит от типа топлива. Например, природный газ имеет более высокое содержание водорода (от x=4 до x~2,5), чем каменный уголь (x<1). Энергия, необходимая для эндотермической реакции газификации (3), обычно обеспечивается за счет (экзотермического) сжигания углеводородного источника с кислородом.

Газификация - это процесс, который превращает углеродсодержащие материалы, такие как каменный уголь, нефть и биотопливо в водород и оксид углерода посредством проведения реакции сырьевого материала при высокой температуре с контролируемым количеством кислорода и/или пара. Получающаяся смесь называют синтез-газом, и она сама по себе является топливом. Газификация может использоваться для производства энергии из различных органических материалов.

Преимущество газификации состоит в возможности более эффективного использования синтез-газа, чем непосредственное сжигание исходных углеродсодержащих материалов, поскольку синтез-газ можно сжигать при более высокой температуре или даже в топливных элементах. Газификация может также использовать такие материалы, которые в иных обстоятельствах практически непригодны как топливо, например, органические отходы или биомасса. Кроме того, высокотемпературное сжигание удаляет с золой коррозионно-активные элементы, такие как хлор и калий, обеспечивая получение чистого газа из потенциально проблематичного в иных обстоятельствах топлива.

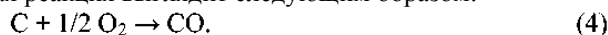
Газификация ископаемого топлива в настоящее время широко используется в промышленных масштабах для производства электроэнергии. При этом в качестве сырьевого материала для газификации может использоваться почти любой органический материал, такой как древесина, биомасса и даже отходы пластмасс.

В основе газификации лежат химические процессы при высокой температуре (как правило, больше чем 700°C), что отличает ее от биологических процессов, таких как анаэробное сбраживание, в результате которого образуется биогаз.

Газификация может проводиться в газогенераторе. В газогенераторе углеродсодержащий материал подвергается нескольким различным процессам. Процесс пиролиза (или удаление летучих компонентов) происходит по мере нагревания углеродсодержащих частиц. Летучие компоненты выделяются, и образуется уголь. Каменный уголь может терять до 70% массы. Этот процесс, разумеется, зависит от свойств обрабатываемого углеродсодержащего материала, которые определяют структуру и состав угля, который затем подвергается процессу газификации.

Процесс горения происходит по мере того, как летучие продукты и некоторая часть угля реагирует с кислородом с образованием диоксида углерода и оксида углерода. Процесс горения обеспечивает тепло для последующих реакций газификации. Допустим, что C обозначает углеродсодержащее органическое

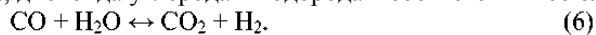
соединение, тогда основная реакция выглядит следующим образом:



Процесс газификации протекает по мере того, как уголь реагирует с двуокисью углерода и паром с образованием оксида углерода и водорода, по реакции газификации (3), которая при  $x$ , стремящемся к нулю, превращается в следующее уравнение:



Кроме того, при температуре, которая обычно используется в газогенераторе, быстро достигает равновесия газозная реакция конверсии водяного газа. Это приводит в равновесие концентрации оксида углерода, водяного пара, диоксида углерода и водорода в соответствии со следующей реакцией:



По существу, в газогенератор вводят ограниченное количество кислорода или воздуха для того, чтобы позволить части органического материала "сгореть" с образованием оксида углерода и тепловой энергии, которая стимулирует вторую реакцию, превращающую органический материал далее с образованием водорода и диоксида углерода. Для процесса газификации углеродсодержащих материалов характерно образование нежелательно большого количества диоксида углерода, например, больше чем 50 мольных процентов  $\text{CO}_2$ .

Таким образом, углеродсодержащее сырье можно использовать как источник для производства синтез-газа. Полученный синтез-газ может иметь необходимое мольное соотношение водорода к оксиду углерода и/или включать в себя необходимое количество диоксида углерода. В некоторых вариантах реализации изобретения система и способ могут настраиваться в зависимости от углеродсодержащего сырья и/или последующих процессов переработки (например, процесс ФТ, использующий специфический катализатор ФТ) для получения мольного состава производимого синтез-газа в соответствии с требованиями конкретного применения.

Описывается способ получения синтез-газа из углеродсодержащего материала. Способ включает в себя: (а) обеспечение суспензии, включающей углеродсодержащий материал и суспензионную жидкость; (b) воздействие на суспензию сдвига с высокой скоростью в условиях газификации с получением потока, обработанного высокой скоростью сдвига и включающего синтез-газ; и (с) отделение продукта, включающего в себя синтез-газ, от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения (с) дополнительно включает в себя отделение суспензионной жидкости от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига. В одном варианте реализации изобретения, (b), воздействие на суспензию сдвига с высокой скоростью с получением потока обработанного с высокой скоростью сдвига, включающего в себя синтез-газ, дополнительно включает приведение суспензии в контакт с по меньшей мере одним газом или паром, выбранным из водяного пара, водорода, воздуха, кислорода и попутного газа. В некоторых вариантах реализации изобретения способ дополнительно включает повторное использование на стадии а) отделенного на стадии б) непрореагировавшего углеродсодержащего материала, суспензионной жидкости или их обоих. В некоторых вариантах реализации изобретения, (b), воздействие на суспензию сдвига с высокой скоростью в условиях газификации, с получением потока обработанного высокой скоростью сдвига и включающего синтез-газ, включает воздействие на суспензию сдвига со скоростью по меньшей мере  $20000 \text{ с}^{-1}$ . В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя кокс, каменный уголь, торф, или их комбинацию. В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя кокс, каменный уголь или их комбинацию. Каменный уголь может быть выбран из битуминозного угля, антрацита и лигнита. В некоторых вариантах реализации изобретения, (а), обеспечение суспензии, дополнительно включает измельчение углеродсодержащего материала до состояния порошка со средним размером частиц меньше чем примерно 75 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения суспензионная жидкость является водной. В некоторых вариантах реализации изобретения суспензионная жидкость является неводной.

В некоторых вариантах реализации изобретения способ дополнительно включает (с) использование по меньшей мере части произведенного синтез-газа для производства другого продукта. В некоторых вариантах реализации изобретения (с) использование по меньшей мере части произведенного синтез-газа для производства другого продукта включает в себя отделение по меньшей мере части синтез-газа от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкие углеводороды получают на стадии (b) и по меньшей мере часть жидких углеводородов, произведенных на стадии (b), используется в (с). В некоторых вариантах реализации изобретения (с) использование по меньшей мере части синтез-газа для производства жидкого продукта включает в себя получение дисперсии синтез-газа в жидкой фазе. В некоторых вариантах реализации изобретения (с) использование по меньшей мере части синтез-газа для производства другого продукта включает в себя проведение каталитической реакции по меньшей мере части синтез-газа для получения углеводородов Фишера-Тропша. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкий продукт включает в себя жидкие углеводороды и спирты. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкий продукт включает в себя преимущественно жидкие углеводороды, преимущественно спирты, или, по существу, равные количества спиртов

и жидких углеводородов. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкая фаза включает в себя один или несколько жидких углеводородов, полученных с использованием процесса Фишера-Тропша, один или несколько спиртов, или их комбинацию. В некоторых вариантах реализации изобретения дисперсия включает в себя пузырьки синтез-газа, имеющие средний диаметр не больше чем примерно 5, 4, 3, 2 или 1 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения пузырьки синтез-газа имеют средний диаметр не больше чем примерно 100 нм.

В некоторых вариантах реализации изобретения получение дисперсии включает в себя воздействие на синтез-газ и жидкий носитель сдвига со скоростью по меньшей мере около  $20000 \text{ с}^{-1}$  в устройстве с высокой скоростью сдвига, включающем в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор, причем скорость сдвига определяется как линейная скорость конца лопасти деленная на ширину рабочего зазора, причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения. Воздействие на синтез-газ и жидкий носитель сдвига с высокой скоростью по меньшей мере  $20000 \text{ с}^{-1}$  может создавать локальное давление по меньшей мере около 1034,2 МПа (150000 фунтов на кв. дюйм) на конце лопасти по меньшей мере одного ротора. В некоторых вариантах реализации изобретения получение дисперсии включает в себя введение синтез-газа и жидкого носителя в устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор и обеспечивающее линейную скорость конца лопасти по меньшей мере 23 м/с, причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения. Способ может дополнительно включать в себя введение дисперсии в реактор, включающий в себя неподвижный слой катализатора или кипящий слой катализатора. Способ может дополнительно включать в себя отделение непрореагировавшего синтез-газа от жидкого продукта. Способ может дополнительно включать в себя рециркуляцию непрореагировавшего синтез-газа для производства дополнительной дисперсии. В некоторых вариантах реализации изобретения суспензия включает в себя порошкообразный уголь и метан угольного пласта.

Описывается также способ получения жидкого продукта, включающего в себя спирт, из синтез-газа, способ, включающий в себя: введение синтез-газа и жидкого носителя в устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор соответствующей формы; и воздействие на содержимое устройства с высокой скоростью сдвига, сдвига со скоростью по меньшей мере  $10000 \text{ с}^{-1}$ , причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения. В некоторых вариантах реализации изобретения синтез-газ получают описанным выше способом получения синтез-газа из углеродсодержащих материалов в условиях высокой скорости сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения (а) синтез-газ дополнительно включает в себя двуокись углерода; (b) двуокись углерода,  $\text{H}_2\text{O}$ , или то и другое вводят в устройство с высокой скоростью сдвига с синтез-газом и жидким носителем; или, как (а), так и (b). Жидкий продукт может включать в себя как жидкие углеводороды, так и спирты. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкий продукт включает в себя жидкие углеводороды, спирты и воду. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкий продукт включает в себя меньше чем 10% воды. В некоторых вариантах реализации изобретения жидкий продукт включает в себя больше жидких углеводородов, чем спиртов, или, по существу, равные количества жидких углеводородов и спиртов.

Способ может дополнительно включать в себя отделение жидких водородов от спиртов. Способ может дополнительно включать в себя приведение синтез-газа и жидкого носителя в контакт с катализатором. Катализатор может быть катализатором Фишера-Тропша. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатор способствует получению спиртов. В некоторых вариантах реализации изобретения больше чем 28 молей полученной жидкости образуется из 100 молей газа, введенного в устройство с высокой скоростью сдвига.

Описывается также система для получения синтез-газа из углеродсодержащего материала, система, включающая в себя: устройство для обеспечения суспензии, включающей в себя углеродсодержащий материал и суспензионную жидкость; по меньшей мере, одно устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор соответствующей формы и сконфигурированное для воздействия на суспензию сдвига с высокой скоростью с получением потока, обработанного высокой скоростью сдвига, включающего в себя синтез-газ, в котором по меньшей мере один ротор сконфигурирован для обеспечения линейной скорости конца лопасти по меньшей мере 23 м/с, причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения; и насос, сконфигурированный для подачи суспензии по меньшей мере к одному устройству с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения система дополнительно включает в себя сосуд, соединенный по меньшей мере с одним устройством с высокой скоростью сдвига, сосуд, сконфигурированный для приема потока, обработанного высокой скоростью сдвига, по меньшей мере из одного устройства с высокой скоростью сдвига. По меньшей мере один ротор может вращаться с линейной скоростью конца лопасти по меньшей мере 40 м/с. По меньшей мере один ротор может быть отделен по меньшей мере от одного статора рабочим зазо-

ром, в котором создается сдвиг. Величина рабочего зазора лежит в пределах от примерно 0,02 до примерно 5 мм, причем рабочий зазор - это минимальное расстояние между по меньшей мере одним ротором и по меньшей мере одним статором. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига, обеспечиваемая за счет вращения по меньшей мере одного ротора в процессе эксплуатации, составляет по меньшей мере  $20000 \text{ с}^{-1}$ , причем скорость сдвига определяется как линейная скорость конца лопасти, деленная на ширину рабочего зазора. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, включает в себя два или больше роторов и два или больше статоров.

Система может дополнительно включать в себя трубопровод для ввода диспергируемого газа или пара в суспензию выше по потоку по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига, или непосредственно в по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига. Диспергируемый газ может быть выбран из воздуха, кислорода, водорода, попутного газа и водяного пара. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, сконфигурировано для производства дисперсии, включающей в себя пузырьки синтез-газа, пузырьки диспергируемого газа или пара, частицы углеродсодержащего материала, или их комбинацию в жидкой фазе, включающей в себя суспензионную жидкость, причем дисперсия имеет средний диаметр пузырьков, средний диаметр частиц, или как тот, так и другой диаметр меньше чем примерно 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1 мкм.

В некоторых вариантах реализации изобретения система включает в себя больше чем одно устройство с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига включает в себя по меньшей мере два генератора, причем каждый генератор включает в себя ротор и статор соответствующей формы. Скорость сдвига, обеспечиваемая одним генератором, может быть больше, чем скорость сдвига, обеспечиваемая другим генератором.

Система может дополнительно включать в себя устройство для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации, причем устройство для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации соединено с возможностью пропускания текучей среды с выходом по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения устройство для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации включает в себя по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига. По меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, устройства для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации может включать в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор соответствующей формы. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере один ротор устройства с высокой скоростью сдвига для производства жидких углеводородов, спиртов или их комбинации, отделен по меньшей мере от одного статора рабочим зазором, в котором создается сдвиг. Величина рабочего зазора лежит в пределах от примерно 0,02 мм до примерно 5 мм, причем рабочий зазор - это минимальное расстояние между по меньшей мере одним ротором и по меньшей мере одним статором.

Описывается также система для производства жидкого продукта, включающего в себя углеводороды и спирты, из синтез-газа, система, включающая в себя по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, включающее в себя по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор соответствующей формы и сконфигурированное для воздействия на синтез-газ и жидкий носитель сдвига высокой скорости с получением потока, обработанного высокой скоростью сдвига, включающего в себя жидкий продукт, в котором по меньшей мере один ротор сконфигурирован для обеспечения линейной скорости конца лопасти по меньшей мере  $23 \text{ м/с}$ , причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора, и  $n$  - частота вращения; и насос, сконфигурированный для подачи жидкого носителя по меньшей мере к одному устройству, с высокой скоростью сдвига, через подводящий трубопровод устройства с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью сдвига, сконфигурировано для производства дисперсии, включающей в себя пузырьки синтез-газа, диспергированные в жидком носителе. Пузырьки могут иметь средний диаметр меньше чем 5, 4, 3, 2 или 1 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения пузырьки имеют средний диаметр меньше микрона. Система может дополнительно включать в себя катализатор. Система может быть сконфигурирована для производства преимущественно углеводородов, преимущественно спиртов, или по существу эквивалентных количеств жидких углеводородов и спиртов.

Система может дополнительно включать в себя сосуд, имеющий вход, подключенный с возможностью пропускания текучей среды к выходу по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения система дополнительно включает в себя разделительное устройство способное отделять спирты от жидких углеводородов, причем вход разделительного устройства непосредственно или опосредованно соединен с выходом по меньшей мере одного устройства с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения система дополнительно включает в себя трубопровод, подсоединенный к подводящему трубопроводу устройства с высокой скоростью сдвига, для ввода синтез-газа в по меньшей мере одно устройство с высокой скоростью

сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения, (а) синтез-газ включает в себя двуокись углерода в дополнение к оксиду углерода и водороду, (b) система дополнительно включает в себя трубопровод, подсоединенный к подводющему трубопроводу устройства с высокой скоростью сдвига, для ввода диоксида углерода по меньшей мере в одно устройство с высокой скоростью сдвига; либо как (а), так и (b).

#### Общее представление

В настоящей заявке описана система и способ производства синтез-газа. Система включает в себя внешнее механическое устройство с высокой скоростью сдвига для обеспечения быстрого приведения в контакт и перемешивания реагентов в контролируемых условиях в реакторе/смесителе. Реакторный узел, который включает в себя описанное в настоящей заявке внешнее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) или смеситель, может снижать ограничения массообмена и за счет этого позволять реакции, которая может быть каталитической, более близко подходить к кинетическим пределам. Интенсивное перемешивание может также усреднять температуру в зоне(ах) реакции. Интенсификация контакта за счет использования сдвига с высокой скоростью может позволить увеличить производительность и/или уменьшить количество катализатора (например, катализатора ФТ в определенных вариантах реализации изобретения) в сравнении с традиционными процессами и/или позволить провести те реакции, которые в иных обстоятельствах не должны проходить.

#### Система с высокой скоростью сдвига для производства синтез-газа

Система 100 с высокой скоростью сдвига для получения синтез-газа будет описана со ссылкой на фиг. 5, который представляет технологическую схему системы 100 с высокой скоростью сдвига, в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения. К основным компонентам типичной системы относится внешнее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40 и насос 5. Ниже каждый из этих компонентов описывается более подробно. Трубопровод 21 подсоединена к насосу 5 для ввода сырья, включающего в себя углеродсодержащие материалы, в насос 5. Трубопровод 13 соединяет насос 5 и HSD 40, а трубопровод 19 выводит поток, обработанный с высокой скоростью сдвига, из HSD 40. Система производства синтез-газа 100 может дополнительно включать в себя сосуд 10. Сосуд 10 может быть соединен с возможностью пропускания текучей среды с HSD 40 посредством трубопровода для продукта, полученного при высокой скорости сдвига 19. Сосуд 10 может включать в себя одну или несколько трубопроводов для вывода продуктов. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения фиг. 5 сосуд 10 включает в себя первую выпускной трубопровод 16 сосуда 10, второй выпускной трубопровод 17 сосуда 10 и третий выпускной трубопровод 20 сосуда 10.

Дополнительные компоненты или технологические операции могут быть встроены между HSD 40 и сосудом 10, или перед насосом 5, или перед HSD 40, если требуется, как будет очевидно после прочтения представленного ниже описания процесса создания высокой скорости сдвига. Например, трубопровод 20 может быть подсоединена к трубопроводу 21 или трубопроводу 13 из трубопровода 19 или реактора 10, так, чтобы материал (например, суспензионная жидкость и/или непрореагировавший углеродсодержащий материал), находящийся в трубопроводе 19, или из сосуда 10 можно было рециркулировать в HSD 40. Продукт может быть выведен из системы 100 по трубопроводу 19. Трубопровод 19 это любой трубопровод, в который из HSD 40 течет поток, обработанный с высокой скоростью сдвига (включающий в себя по меньшей мере жидкости и газы и любые непрореагировавшие твердые вещества из HSD 40).

Система 100 может дополнительно включать в себя устройство 15 для получения суспензии, включающей в себя углеродсодержащий материал, как описано ниже. В некоторых вариантах реализации изобретения первый трубопровод диспергируемого газа 22 сконфигурирован для ввода диспергируемого газа (или пара, например, водорода, кислорода, воздуха, попутного газа, водяного пара) в HSD 40. Трубопровод 22 может вводить диспергируемый газ непосредственно в HSD или может вводить диспергируемый газ в трубопровод 13.

Система производства синтез-газа может дополнительно включать в себя устройство использования синтез-газа 30. Например, в одном варианте реализации изобретения на фиг. 5 устройство использования синтез-газа 30 включает в себя второе устройство с высокой скоростью сдвига 40а и второй насос 5а. Трубопровод 21а подсоединен к насосу 5а для ввода жидкого носителя в насос 5а. Трубопровод 13а соединяет насос 5а и HSD 40а, а трубопровод 19а выводит полученную дисперсию из HSD 40а. Дополнительные компоненты или технологические операции могут быть встроены после HSD 40а, или перед насосом 5а, или перед HSD 40а, если требуется, как будет очевидно после прочтения представленного ниже описания процесса создания высокой скорости сдвига. Трубопровод для диспергируемого газа 22а соединяет возможность пропускания текучей среды с первым выпускным трубопроводом 16 сосуда 10 со вторым HSD 40а, посредством чего часть синтез-газа, произведенного в HSD 40, может использоваться в качестве диспергируемого газа в HSD 40а. Устройство использования синтез-газа 30 может дополнительно включать в себя второй сосуд 10а. Второй сосуд 10а может быть подсоединен к HSD 40а через выпускной трубопровод для дисперсии 19а. Второй сосуд 10а может включать в себя один или несколько выпускных трубопроводов, например, первый выпускной трубопровод 16а сосуда 10а и второй выпускной трубопровод 17а сосуда 10а.

#### Устройство с высокой скоростью сдвига

Внешнее устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40 (и второе HSD 40а, если оно есть), ино-

гда называемое также смесителем с высокой скоростью сдвига, сконфигурировано для приема входящего потока через трубопровод 13 (13а). Трубопровод 22 (22а) сконфигурирован для ввода диспергируемого газа (или пара) в HSD 40 (HSD 40а). Или же, HSD 40 может быть сконфигурировано для приема диспергируемого газа и углеродсодержащей суспензии (или диспергируемого газа и жидкого носителя в случае HSD 40а) через отдельные подводящие линии. Несмотря на то что в варианте реализации изобретения на фиг. 5 показано только одно HSD для производства синтез-газа (то есть перед устройством использования синтез-газа 30), следует понимать, что некоторые варианты реализации системы могут включать два или более HSD, расположенные выше устройства использования синтез-газа 30 по потоку. Два или несколько HSD могут быть расположены либо последовательно, либо параллельно.

В некоторых вариантах реализации изобретения как ротор, так и статор состоят из множества расположенных на одной окружности колец, имеющих лопатки соответствующей формы. Кольцо может быть выполнено в виде единственной поверхности или лопатки, окружающей ротор или статор. В некоторых вариантах реализации изобретения как ротор, так и статор состоят из более двух расположенных на одной окружности колец, более 3 колец или более 4 колец. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения каждый из трех генераторов включает в себя ротор и статор, каждый из которых имеет 3 кольца соответствующей формы, и обрабатываемый в генераторах материал проходит, соответственно, через 9 рабочих зазоров или ступеней сдвига, перемещаясь по HSD 40/40а. Или же, каждый из трех генераторов может включать в себя четыре кольца, и обрабатываемый в генераторах материал проходит, соответственно, через 12 рабочих зазоров или ступеней сдвига, перемещаясь по HSD 40/40а. В некоторых вариантах реализации изобретения статор(ы) можно настраивать с целью получения необходимого рабочего зазора между ротором и статором каждого генератора (комплекта ротор/статор). Привод каждого генератора может осуществляться с помощью любой подходящей системы привода, сконфигурированной для обеспечения необходимого вращения.

В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40а включает в себя одноступенчатую диспергирующую камеру (то есть единственную комбинацию ротор/статор; единственный генератор, создающий высокую скорость сдвига). В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40а - это многоступенчатый встроенный в технологическую линию диспергатор, включающий в себя множество генераторов. В определенных вариантах реализации изобретения HSD 40/40а включает в себя по меньшей мере два генератора. В других вариантах реализации изобретения HSD 40/40а включает в себя по меньшей мере три генератора. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40а - это многоступенчатый смеситель, в котором скорость сдвига (которая изменяется пропорционально линейной скорости конца лопасти и обратно пропорционально ширине зазора ротор/статор) изменяется в зависимости от местоположения на пути перемещения потока, как описано ниже.

В соответствии с настоящей заявкой по меньшей мере одна поверхность в HSD 40/40а может быть изготовлена из катализатора, импрегнирована или покрыта катализатором, подходящим для катализирования желательной реакции, как описано в патентной заявке США № 12/476415, которая включена в настоящую заявку посредством ссылки на все цели изобретения, не противоречащие настоящей заявке. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения, полностью или часть по меньшей мере одного ротора по меньшей мере одного статора, или по меньшей мере одного комплекта ротор/статор (то есть по меньшей мере одного генератора) изготовлена из катализатора, импрегнирована или покрыта подходящим катализатором. В некоторых применениях может быть желательным использовать два или больше различных катализаторов. В таких случаях генератор может включать в себя ротор, изготовленный из первого катализатора, импрегнированный или покрытый материалом первого катализатора, и соответствующий статор генератора может быть изготовлен из второго катализатора, импрегнирован или покрыт материалом второго катализатора. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения одно или несколько колец ротора могут быть изготовлены из первого катализатора, покрыты или импрегнированы первым катализатором, и одно или несколько колец статора могут быть изготовлены из второго катализатора, покрыты или импрегнированы вторым катализатором. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения одно или несколько колец статора могут быть изготовлены из первого катализатора, покрыты или импрегнированы первым катализатором, и одно или несколько колец ротора могут быть изготовлены из второго катализатора, покрыты или импрегнированы вторым катализатором. Вся поверхность или часть поверхности контакта статора, ротора, или их обоих, может быть изготовлена из катализатора, или покрыта каталитическим материалом.

Поверхность контакта HSD 40/40а может быть изготовлена из пористого спеченного каталитического материала, такого как платина. В некоторых вариантах реализации изобретения поверхность контакта покрыта пористым спеченным каталитическим материалом. В некоторых применениях поверхность контакта HSD 40/40а покрыта или изготовлена из спеченного материала, и затем импрегнирована необходимым катализатором. Спеченный материал может быть керамикой или может быть изготовлен из порошка металла, такого как нержавеющая сталь или псевдобемит. Размер пор спеченного материала может составлять несколько микрон или долей микрона. Размер пор можно выбрать так, чтобы получить необходимый расход и желательный каталитический эффект. Поры меньшего размера могут позволить создать лучший контакт между жидкостью, содержащей реагенты, и катализатором. Изменяя размер пор

пористого материала (керамика или спеченный металл), можно отрегулировать площадь доступной поверхности в соответствии с необходимым значением. Спеченный материал может состоять, например, из от примерно 70 об.% до примерно 99 об.% спеченного материала или от примерно 80 об.% до примерно 90 об.% спеченного материала, а оставшийся объем занимают поры.

В некоторых вариантах реализации изобретения кольца, ограниченные лопатками ротора/статора, не содержат никаких отверстий (т.е. зубцов или канавок), так что, в основном, все реагенты проталкиваются сквозь поры спеченного материала, а не минуют катализатор, проходя через какие-либо отверстия или канавки, которые, как правило, имеются в обычных диспергаторах. Таким образом, например, реагент будет проталкиваться сквозь спеченный материал и будет стимулироваться его контакт с катализатором.

В некоторых вариантах реализации изобретения спеченный материал, из которого изготовлена поверхность контакта, состоит из нержавеющей стали или бронзы. Спеченный материал (спеченный металл или керамика) может быть пассивирован. Затем на материал может быть нанесен катализатор. Катализатор может быть нанесен любым способом, хорошо известным в данной области техники. Кроме того, поверхность контакта может быть обожжена с целью получения оксида металла (например, нержавеющей стали). Оксид первого металла (например, нержавеющей стали) может быть покрыт вторым металлом, который также может быть обожжен. Например, оксид нержавеющей стали может быть покрыт алюминием и обожжен, что приведет к образованию оксида алюминия. Последующая обработка может создать другой материал. Например, оксид алюминия может быть покрыт силосаном и обожжен, что приведет к образованию диоксида кремния. Для получения необходимой поверхности контакта и катализатора(ов) можно использовать несколько этапов обжига/покрытия. Таким путем спеченный материал, который либо сам представляет поверхность контакта, либо покрывает поверхность контакта, может быть импрегнирован различными катализаторами. Другим методом покрытия, например, является метод осаждения металла из газовой фазы или метод химического осаждения из газовой фазы, который обычно используется для покрытия кремниевых пластин металлом.

В некоторых вариантах реализации изобретения поверхность контакта спеченного металла (например, ротора или статора) обработана материалом. Например, тетраэтилортосиликатом (ТЭОС). После испарения в вакууме ТЭОС может оставаться в поверхностных порах. Для превращения ТЭОС в двуокись кремния может использоваться обжиг. Это импрегнирование можно повторять для всех необходимых металлических катализаторов. После изготовления, покрытия или импрегнирования катализатор(ы) может быть активирован в соответствии с процедурой изготовителя. Например, катализаторы можно активировать за счет их контакта с активирующим газом, таким как водород. Основным материалом может быть силосан или алюминий, который после обжига превращается в двуокись кремния или окись алюминия, соответственно. Затем в поры могут быть импрегнированы подходящие катализаторы, включая, помимо прочего, рений, палладий, родий и т.д. Катализатор может быть катализатором, который эффективно катализирует реакции ФТ, как подробно описано ниже.

В некоторых вариантах реализации изобретения минимальный просвет (ширина рабочего зазора) между статором и ротором находится в пределах от примерно 0,025 мм (0,001 дюйма) до примерно 3 мм (0,125 дюйма). В некоторых вариантах реализации изобретения минимальный просвет (ширина рабочего зазора) между статором и ротором находится в пределах от примерно 1 мкм (0,00004 дюйма) до примерно 3 мм (0,12 дюйма). В некоторых вариантах реализации изобретения минимальный просвет (ширина рабочего зазора) между статором и ротором меньше чем примерно 10 мкм (0,0004 дюйма), меньше чем примерно 50 мкм (0,002 дюйма), меньше чем примерно 100 мкм (0,004 дюйма), меньше чем примерно 200 мкм (0,008 дюйма), меньше чем примерно 400 мкм (0,016 дюйма). В определенных вариантах реализации изобретения минимальный просвет (ширина рабочего зазора) между статором и ротором составляет примерно 1,5 мм (0,06 дюйма). В определенных вариантах реализации изобретения минимальный просвет (ширина рабочего зазора) между статором и ротором составляет примерно 0,2 мм (0,008 дюйма). В определенных вариантах реализации изобретения минимальный просвет (ширина рабочего зазора) между статором и ротором составляет по меньшей мере примерно 1,7 мм (0,07 дюйма). Скорость сдвига, создающаяся HSD, может изменяться в зависимости от местоположения на пути перемещения потока. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость вращения ротора установлена в соответствии с диаметром ротора и необходимой линейной скоростью конца лопасти. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD имеет фиксированный просвет (ширину рабочего зазора) между статором и ротором. Или же, HSD имеет регулируемый просвет (ширину рабочего зазора). Рабочий зазор может быть в пределах от примерно 5 микрон (0,0002 дюйма) до примерно 4 мм (0,016 дюйма).

Частота вращения ротора HSD может быть больше чем 250 об/мин, больше чем 500 об/мин, больше чем 1000 об/мин, больше чем 5000 об/мин, больше чем 7500 об/мин, больше чем 10000 об/мин, больше чем 13000 об/мин или больше чем 15000 об/мин. Частоту вращения, расход и температуру можно регулировать так, чтобы получить продукт с необходимыми характеристиками. Если происходит просачивание газа и некоторые реагенты проходят через устройство непрореагировавшими, то для минимизации нежелательного просачивания можно увеличить частоту вращения. Или же, или дополнительно, непрореагировавшие реагенты могут быть введены во второе или последующее устройство HSD 40, или часть

непрореагировавших реагентов может быть отделена от продуктов и направлена в HSD 40 повторно.

HSD 40/40a может обеспечивать линейную скорость конца лопасти, превышающую 22,9 м/с (4500 футов в минуту), и скорость может превышать 40 м/с (7900 футов в минуту), 50 м/с (9800 футов в минуту), 100 м/с (19600 футов в минуту), 150 м/с (29500 футов в минуту), 200 м/с (39300 футов в минуту), или даже 225 м/с (44300 футов в минуту), или больше в определенных применениях. В контексте настоящей заявки термин "устройство с высокой скоростью сдвига" относится к механическим ротор-статорным устройствам (например, коллоидные мельницы или ротор-статорные диспергаторы), которые способны развивать линейные скорости конца лопасти более 5,1 м/с (1000 футов в минуту), или те скорости, которые приведены выше, и которым требуется внешнее устройство передачи энергии с механическим приводом для передачи энергии в поток продуктов, которые должны прореагировать. За счет приведения реагентов в контакт с вращающимися элементами, которые могут быть изготовлены из катализатора, покрыты или импрегнированы неподвижным катализатором, реакции передается значительная энергия. В частности, в тех случаях, когда реагенты представляют собой газообразные вещества, потребление энергии HSD 40/40a будет очень низким. Температуру можно регулировать так, чтобы контролировать характеристики продукта и увеличивать срок службы катализатора.

Приблизительно величину вводимой в жидкость энергии (кВт/л/мин) можно оценить путем измерения мощности двигателя (кВт) и расхода жидкости на выходе (л/мин). Как отмечалось выше, линейная скорость конца лопасти - это скорость (футы в минуту или м/с), относящаяся к концу одного или нескольких вращающихся элементов, которые создают механическое усилие, приложенное к жидкости. В некоторых вариантах реализации изобретения расход энергии составляет по меньшей мере около 1000 Вт/м<sup>3</sup>, 5000 Вт/м<sup>3</sup>, 7500 Вт/м<sup>3</sup>, 1 кВт/м<sup>3</sup>, 500 кВт/м<sup>3</sup>, 1000 кВт/м<sup>3</sup>, 5000 кВт/м<sup>3</sup>, 7500 кВт/м<sup>3</sup> или больше. В некоторых вариантах реализации изобретения расход энергии HSD 40/40a больше чем 1000 Ватт на кубометр жидкости внутри устройства. В некоторых вариантах реализации изобретения расход энергии HSD 40/40a находится в интервале от примерно 3000 Вт/м<sup>3</sup> до примерно 7500 Вт/м<sup>3</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения расход энергии HSD 40 находится в интервале от примерно 3000 Вт/м<sup>3</sup> до примерно 7500 Вт/м<sup>3</sup>. Фактическая величина необходимой подводимой энергии зависит от того, какие реакции проходят в HSD, например, эндотермическая и/или экзотермическая реакция (реакции), а также от величины механической энергии, необходимой для диспергирования и перемешивания обрабатываемых сырьевых материалов. В некоторых применениях наличие экзотермической реакции (реакций), проходящей в устройстве HSD, в некоторой мере или существенно снижает величину той энергии, которую требуется подводить с помощью двигателя. При диспергировании газа в жидкости потребность в энергии значительно меньше.

Скорость сдвига - это линейная скорость конца лопасти, деленная на ширину рабочего зазора (минимальный просвет между ротором и статором). Скорость сдвига, создающаяся HSD 40, может быть больше чем 20000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 30000 с<sup>-1</sup> или по меньшей мере 40000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига больше чем 30000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 100000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 500000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 1000000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 1600000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 3000000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 7000000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига равна по меньшей мере 9000000 с<sup>-1</sup>. В тех вариантах реализации изобретения, в которых ротор имеет больший диаметр, скорость сдвига может превышать примерно 9000000 с<sup>-1</sup>. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига, создающаяся HSD 40/40a, находится в диапазоне от 20000 до 10000000 с<sup>-1</sup>.

В некоторых вариантах реализации изобретения используется вариант реактора DISPAX® увеличенного размера. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40a включает в себя SUPER DISPAX REACTOR® DRS 2000. Установка HSD может быть установкой DR 2000/50, имеющей пропускную способность 125000 литров в час, или установкой DRS 2000/50, имеющей пропускную способность 40000 литров в час. Так как время пребывания в установке DRS более продолжительное, то жидкость подвергается более интенсивному сдвигу.

Первый генератор 220 включает в себя ротор 222 и статор 227. Второй генератор 230 включает в себя ротор 223 и статор 228. Третий генератор 240 включает в себя ротор 224 и статор 229. Для каждого генератора ротор приводится во вращение за счет 250, и вращается вокруг оси 260, как показано стрелкой 265. Направление вращения может быть противоположным направлению, указанному стрелкой 265 (например, по часовой стрелке или против часовой стрелки вокруг оси вращения 260). Статоры 227, 228 и 229 могут быть неподвижно закреплены на стенке 255 HSD 200. Как отмечалось выше, каждый ротор и статор может включать в себя кольца лопастей соответствующей формы, что создает несколько рабочих зазоров в пределах каждого генератора.

Как описано выше, поверхность контакта HSD 40/40a/200 может быть изготовлена из катализатора,

покрыта или импрегнирована подходящим катализатором, который катализирует желательную реакцию. В некоторых вариантах реализации изобретения поверхность контакта одного кольца каждого ротора или статора изготовлена из катализатора, покрыта или импрегнирована катализатором, отличающимся от катализатора поверхности контакта другого кольца ротора или статора. Или же, или дополнительно, поверхность контакта одного кольца статора может быть изготовлена из катализатора, покрыта или импрегнирована катализатором, отличающимся от катализатора поверхности сопрягаемого кольца ротора. Поверхностью контакта может быть по меньшей мере часть ротора, по меньшей мере часть статора или по меньшей мере часть как ротора, так и статора. Поверхность контакта может включать в себя, например, по меньшей мере часть внешней поверхности ротора, по меньшей мере часть внутренней поверхности статора, или по меньшей мере обе части.

Устройство HSD 200 может быть сконфигурировано так, что скорость сдвига остается одинаковой или постепенно увеличивается или уменьшается вдоль направления движения потока 260.

Генераторы 220, 230 и 240 могут включать в себя ступени, производящие крупные, средние, мелкие или сверхмелкие частицы и имеющие различное количество сопрягаемых колец или ступеней на роторах и сопрягаемых статорах. Несмотря на то что это, как правило, менее желательно, роторы 222, 223 и 224 и статоры 227, 228 и 229 могут иметь зубчатые конструкции. Каждый генератор может включать в себя два или более комплектов сопрягаемых колец ротор-статор. В вариантах реализации изобретения роторы 222, 223 и 224 включают в себя больше чем 3 комплекта сопрягаемых колец ротор-статор. В некоторых вариантах реализации изобретения ротор и статор не имеют зубцов, тем самым заставляя реагенты протекать сквозь поры спеченного материала.

HSD 40/40a может быть крупномасштабным или маломасштабным устройством. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40a используется для переработки от меньше чем 10 тонн в час до 50 тонн в час. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40a перерабатывает 10, 20, 30, 40, 50 или более 50 т/ч. Крупномасштабные установки могут производить 1000 галлонов в час (24 барреля в час или 3,8 м<sup>3</sup> в час). Внутренний диаметр ротора может быть любым, подходящим для требуемого применения. В некоторых вариантах реализации изобретения внутренний диаметр ротора равен от примерно 12 см (4 дюйма) до примерно 40 см (15 дюймов). В некоторых вариантах реализации изобретения диаметр ротора равен примерно 6 см (2,4 дюйма). В некоторых вариантах реализации изобретения внешний диаметр статора равен примерно 15 см (5,9 дюйма). В некоторых вариантах реализации изобретения диаметр статора равен примерно 6,4 см (2,5 дюйма). В некоторых вариантах реализации изобретения диаметры роторов равны 6,0 см (2,4 дюйма), и диаметры статоров равны 6,4 см (2,5 дюйма), что обеспечивает просвет примерно 4 мм. В определенных вариантах реализации изобретения каждая из трех ступеней эксплуатируется с генератором, производящим сверхмелкие частицы, включающим в себя несколько комплектов сопрягаемых колец ротор-статор.

Устройство HSD 200 сконфигурировано для приема на входе 205 жидкой смеси из трубопровода 13. Смесь включает в себя реагенты. В некоторых вариантах реализации изобретения реагенты включают в себя углерод и кислород и/или водяной пар. В некоторых вариантах реализации изобретения реагенты включают в себя водород и окись углерода. В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере один реагент является газообразным. В вариантах реализации изобретения по меньшей мере один реагент является твердым веществом. Сырьевой поток, поступающий на вход 205, перекачивается последовательно через генераторы 220, 230 и затем 240, и производится продукт. Продукт выходит из HSD 200 через выход 210 устройства с высокой скоростью сдвига (и трубопровод 19 на фиг. 5). Роторы 222, 223, 224 каждого генератора вращаются с высокой скоростью относительно неподвижных статоров 227, 228, 229, создавая высокую скорость сдвига. Вращение роторов перекачивает жидкость, так что сырьевой поток, поступающий через вход 205, проходит снаружи через рабочие зазоры (и через пространства между зубцами ротора и зубцами статора, если они есть), создавая локализованные условия с высокой скоростью сдвига. Высокие усилия сдвига, воздействующие на жидкость в рабочих зазорах 225, 235 и 245 (и в зазорах между зубцами ротора, и зубцами статора, если они есть), через которые течет жидкость, обрабатывают жидкость и производят продукт. Продукт может включать в себя дисперсию непрореагировавшего или получаемого газа и/или углеродсодержащего материала в сплошной фазе жидкости (например, жидкий углеводородный продукт и/или суспензионная жидкость и/или жидкий носитель). Поток, обработанный с высокой скоростью сдвига 19, может включать в себя непрореагировавший твердый углеродсодержащий материал. Продукт выходит из HSD 200 через выход 210 устройства с высокой скоростью сдвига (трубопроводы 19/19a на фиг. 5).

Как отмечалось выше, в некоторых случаях HSD 200 включает в себя DR 2000/4 DISPAX REACTOR® компании IKA® Works, Inc. Wilmington, NC и APV North America, Inc. Wilmington, MA. Некоторые модели, доступные на рынке, имеют различные соединения на входе/выходе, мощность, линейную скорость конца лопасти, частоту вращения и расход. Выбор HSD будет зависеть от выбранной производительности и необходимого размера частиц, капель или пузырьков в дисперсии в линии 19/19a (фиг. 5) на выходе 210 устройства HSD 200. Например, IKA® модели DR 2000/4 включает в себя ременный привод, 4М генератор, уплотнительное кольцо из ПТФЭ, сантехнический зажим входного фланца 25,4 мм (1

дюйм), сантехнический зажим выходного фланца 19 мм (% дюйма); мощность 2 л. с. (1,5 кВт), частота вращения выходного вала 7900 об/мин, пропускная способность (вода) приблизительно 300-700 л/ч (в зависимости от генератора), окружная скорость конца лопасти в диапазоне от 9,4 до 41 м/с (от 1850 до 8070 футов в минуту). Масштабирование можно провести за счет использования нескольких HSD или использования более крупного HSD. Масштабирование за счет использования более крупных моделей осуществляется достаточно просто, а результаты применения более крупного устройства HSD могут в некоторых случаях обеспечить более высокую эффективность в сравнении с эффективностью устройств лабораторного масштаба. Крупномасштабным устройством может быть устройство DISPAX® 2000. Например, устройство DRS 2000/5 имеет входной диаметр 51 мм (2 дюйма) и выходной диаметр 38 мм (1,5 дюйма).

В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40/40a или их части изготовлены из тугоплавких/устойчивых к коррозии материалов. Например, могут использоваться спеченные металлы, сплавы Inconel® или материалы Hastelloy®. Например, зола каменного угля может быть очень абразивной, поэтому роторы, статоры и/или другие компоненты HSD 40 могут быть изготовлены из износостойких материалов (например, спеченный металл) в тех применениях, в которых углеродсодержащий материал включает в себя каменный уголь. Устройство HSD, используемое для производства значительных объемов газа, будет проектироваться так, как известно в данной области техники для того, чтобы устройство выдерживало предполагаемое повышение давления в процессе эксплуатации.

#### Сосуд

Сосуд или реактор 10 (и 10a) может быть сосудом любого типа, в котором может проходить многофазная реакция, в ходе которой реализуется описанная выше реакция(и) превращения, или может быть разделительным сосудом, сконфигурированным для разделения газа, жидкости и/или твердых веществ, введенных в него по трубопроводу потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 19/19a. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 является разделительным сосудом. Сосудом 10/10a может быть реакционный аппарат с мешалкой непрерывного или полунепрерывного действия, или один или несколько реакторов периодического действия, которые могут использоваться последовательно или параллельно. В некоторых применениях сосуд 10/10a может представлять собой башенный реактор, а в других - трубчатый реактор или многотрубный реактор. Сосуд 10/10a может быть реактором с кипящим слоем, реактором с неподвижным слоем или реактором с трёхфазным кипящим слоем. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10a является реактором с неподвижным слоем, реактором с трёхфазным кипящим слоем или реактором с кипящим слоем, как это подробно описано ниже. Для приема раствора или суспензии катализатора в процессе эксплуатации системы к сосуду 10/10a может быть подсоединен подводящий трубопровод катализатора. В тех вариантах реализации изобретения, в которых существенная реакция происходит в HSD 40, сосуд 10 может включать в себя один или несколько фракционирующих аппаратов, пригодных для разделения компонентов. В некоторых вариантах реализации изобретения компоненты, отделяемые в сосуде 10, выбраны из синтез-газа, непрореагировавшего углеродсодержащего материала, жидкого углеводородного продукта, суспензионной жидкости или любой их комбинации. В одном варианте реализации изобретения фиг. 5, сосуд 10 включает в себя первый выпускной трубопровод 16 сосуда 10, второй выпускной трубопровод 17 сосуда 10 и третий выпускной трубопровод 20 сосуда 10. В одном варианте реализации изобретения фиг. 5, сосуд 10a включает в себя первый выпускной трубопровод 16a сосуда 10a и второй выпускной трубопровод 17a сосуда 10a.

Сосуд 10/10a может включать в себя один или несколько следующих компонентов: система перемешивания, приспособления и устройства для нагревания и/или охлаждения, приборы для измерения давления, приборы для измерения температуры, одна или несколько точек ввода и регулятор уровня, в соответствии с тем, что хорошо известно в области проектирования реакционных сосудов. Например, система перемешивания может включать в себя мешалку с приводом от двигателя. Устройство для нагревания и/или охлаждения может включать в себя, например, теплообменник. Или же, поскольку существенная желательная реакция может в некоторых вариантах реализации изобретения происходить в HSD 40, сосуд 10/10a может в некоторых случаях служить, в основном, как емкость для хранения. Несмотря на то, что это, как правило, менее желательно, в некоторых применениях сосуд 10/10a можно опустить, в частности, в том случае, когда применяется несколько последовательных ступеней, создающих высокую скорость сдвига/реакторов, как это более подробно описано ниже.

#### Устройство для получения суспензии

Система 100 может дополнительно включать в себя устройство для получения суспензии 15. Устройство для получения суспензии - это любое устройство, пригодное для обеспечения дисперсии углеродсодержащего материала в подходящей суспензионной жидкости или разбавителе. Разбавитель (суспензионная жидкость) может быть как водным, так и неводным. Суспензионная жидкость может включать в себя один или несколько компонентов, выбранных из масел, воды и спиртов. Углеродсодержащим материалом может быть каменный уголь, кокс, или их комбинация. В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал выбран из лигнита, антрацита, битуминозного и полубитуминозного угля.

Термин "каменный уголь" в данном контексте используется для описания разнообразных окаменелых растительных материалов. В природе нет двух каменных углей, абсолютно похожих друг на друга. Подбирая определенные каменные угли для конкретного применения, необходимо учитывать теплотворную способность, температуру плавления золы, содержание серы и других примесей, механическую прочность, и множество других химических и физических свойств.

Каменный уголь подразделяют на четыре основные категории или "классы". Они располагаются в следующий ряд: лигнит, полубитуминозные угли, битуминозные угли и антрацит, отражая нарастающий отклик отдельных залежей угля на повышение температуры и давления. Теплотворная способность угля определяется, главным образом, содержанием углерода, однако, количество энергии, содержащееся в единице массы угля, зависит также от других факторов. Количество энергии в каменном угле выражают в Британских тепловых единицах (БТЕ) на фунт. БТЕ - это количество теплоты, необходимое для повышения температуры одного фунта воды на один градус Фаренгейта.

В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя лигнит. Лигнит относится к низшему классу и является самым молодым из углей. Лигнит - это геологически молодой уголь, имеющий самое низкое содержание углерода, 25-35 процентов, и теплотворную способность в диапазоне от 4000 до 8300 БТЕ/фунт (от 9304 до 19306 кДж/кг). В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя лигнит, который содержит углерод в количестве около 25-35% и имеет большое содержание внутренней влаги (содержание влаги может достигать, например, до 66%). Зольность лигнита может быть в диапазоне от примерно 6 до 19% в сравнении с диапазоном от 6 до 12% для битуминозного угля. Теплосодержание лигнита может быть в диапазоне от 10 до 20 МДж/кг (от 9 до 17 млн БТЕ на короткую тонну) в пересчете на сухую беззольную массу. Теплосодержание лигнита может быть, в среднем, около 13 млн БТЕ/т (15 МДж/кг) в пересчете на общую массу (то есть, включая как внутреннюю влагу, так и минеральные вещества).

Лигнит содержит относительно большое количество летучих веществ, что может сделать легче процесс его превращения в газ и жидкие нефтепродукты, чем процесс превращения углей более высокого класса. Однако его большое содержание влаги и склонность к самовозгоранию может стать источником проблем при транспортировке, хранении и погрузочно-разгрузочных работах.

В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя антрацит. Антрацит - это высший метаморфический класс угля, имеющий самое высокое содержание углерода. В вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя антрацит, содержащий от 86 до 98 процентов углерода. Теплотворная способность антрацита может составлять около 15000 БТЕ/фунт (34890 кДж/кг). В вариантах реализации изобретения содержание углерода в антраците находится в диапазоне от 92% до 98%. Термин "антрацит" применяется к тем разновидностям каменного угля, которые не выделяют смолистые или иные углеводородные пары при нагревании вплоть до температуры воспламенения.

Антрацит отличается от битуминозного угля более высокой твердостью, более высокой плотностью, составляющей величину 1,3-1,4, и блеском, часто полуметаллическим, со слабым коричневым отблеском. В антраците высокое процентное содержание связанного углерода и низкое процентное содержание летучих веществ. Он также не содержит мягких или волокнистых включений и не пачкается, если его потереть пальцами. Антрацитизация - это превращение битуминозного угля в антрацит.

Содержание влаги в свежедобытом антраците, как правило, меньше 15 процентов. Теплосодержание антрацита, используемого в качестве углеродсодержащего материала, может быть в диапазоне от 22 до 28 млн БТЕ на короткую тонну (от 26 до 33 МДж/кг) в пересчете на сухую беззольную массу. Теплосодержание антрацита может быть, в среднем, около 25 млн БТЕ/т (29 МДж/кг) в пересчете на общую массу (то есть, включая как внутреннюю влагу, так и минеральные вещества).

В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя битуминозные и/или полубитуминозные угли, которые уступают антрациту и, большей частью, содержат меньше энергии на единицу массы.

В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя битуминозный уголь. Содержание углерода в битуминозном угле лежит в пределах от 45 до 86 процентов, а теплотворная способность составляет от 10500 до 15500 БТЕ/фунт (от 24423 до 36053 кДж/кг). В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя битуминозный уголь, имеющий содержание углерода в интервале от примерно 60 до примерно 80%; все остальное до 100% приходится на долю воды, воздуха, водорода и/или серы. Теплосодержание битуминозного угля, используемого в качестве углеродсодержащего материала, может быть в диапазоне от 21 до 30 млн БТЕ/т (от 24 до 35 МДж/кг) в пересчете на сухую беззольную массу.

В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя полубитуминозный уголь. Ниже битуминозного угля в классификации располагается полубитуминозный уголь с содержанием углерода 35-45% и теплотворной способностью от 8300 до 13000 БТЕ/фунт (от 19306 до 30238 кДж/кг). Несмотря на то что его теплотворная способность ниже, этот уголь обычно имеет более низкое содержание серы и других примесей, что может сделать его привлекательным для использования в соответствии с данным изобретением. В некоторых вариантах реализации изобретения содер-

жание серы в полубитуминозном угле меньше чем 1 вес.%, что делает его привлекательным с точки зрения снижения выбросов SO<sub>2</sub>. Полубитуминозный уголь - это такой тип угля, свойства которого занимают промежуточное положение между свойствами лигнита и свойствами битуминозного угля, и который используется, в основном, в качестве топлива для производства электроэнергии. В некоторых вариантах реализации изобретения полубитуминозный уголь содержит 15-30% внутренней влаги по весу. Теплосодержание полубитуминозного угля, используемого в качестве углеродсодержащего материала, может быть в диапазоне от 8300 до 11500 БТЕ/фунт или от 19306 до 26749 кДж/кг. Относительно низкая плотность и высокое содержание воды делают некоторые типы полубитуминозных углей склонными к самовозгоранию в том случае, когда они при хранении плотно не упакованы с целью предотвращения свободного течения воздуха, поэтому погрузочно-разгрузочные работы должны быть организованы соответствующим образом, как это известно в данной области техники.

В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя кокс. Устройство для производства суспензии 15 может, таким образом, включать в себя устройство для производства кокса. Пиролиз - это химическое разложение конденсированного вещества с использованием нагрева. Пиролиз - это частный случай термоллиза, наиболее широко использующийся для органических материалов. Пиролиз используется в широком масштабе для превращения каменного угля в кокс для металлургии, главным образом, для производства стали. Кокс может быть также произведен из твердого остатка процессов нефтепереработки. Устройство для производства кокса методом пиролиза может быть сконфигурировано для производства кокса из исходных материалов, как правило, содержащих атомы водорода, азота или кислорода, соединенные с углеродом в молекулы с молекулярной массой от средней до высокой. Кокс может быть произведен с использованием процесса коксования, включающего в себя нагревание материала в закрытом сосуде(ах) до очень высокой температуры (до 2000°C), так что тяжелые молекулы разрушаются на более легкие летучие вещества, которые выходят из сосуда, и пористый, но твердый остаток, состоящий, в основном, из углерода и неорганической золы. Количество летучих веществ изменяется в зависимости от сырья, но обычно составляет 25-30 вес.%.

Устройство для получения суспензии 15 может включать в себя устройства дробления/перемалывания/растирания для измельчения углеродсодержащего материала до необходимого размера. Углеродсодержащий материал может быть переработан в порошок, имеющий средний размер частиц меньше чем 80 мкм, меньше чем 60 мкм или меньше чем 40 мкм, например. В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя каменный уголь, и порошок каменного угля имеет такой размер частиц, что от 70 до 80% порошка проходит через сито 200 меш (74 мкм). В некоторых вариантах реализации изобретения суспензия - это суспензия каменного угля, имеющая такое распределение частиц по размерам (PSD), что 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 или 90% частиц имеют размер меньше чем примерно 80, 70, 60, 50, 40, 30 или 20 микрон. Суспензия каменного угля может быть приготовлена любым способом, известным в данной области техники, например, как описано в книге "Alternative Fuels" (Альтернативные виды топлива), автор Санггью Ли (Sunggyu Lee); CRC Press, 1996, ISBN 1560323612, 9781560323617. В некоторых вариантах реализации изобретения каменный уголь может быть сначала раздроблен и отсортирован в порошок с помощью устройств, таких как, кроме прочего, коллоидные мельницы и циклонные сепараторы. За такой переработкой может следовать непосредственное превращение в суспензию с использованием способов, известных в данной области техники, таких как способы с использованием устройств размолла в жидкой среде, включая, кроме прочего, мельницы тонкого помола и ультразвуковые мельницы. Или же для приготовления суспензий из каменного угля могут использоваться различные коллоидные мельницы.

Устройство для производства суспензии 15 может дополнительно включать в себя перемешивающее устройство для объединения порошкообразного углеродсодержащего материала с суспензионной жидкостью. В некоторых вариантах реализации изобретения суспензионная жидкость является водной. В некоторых вариантах реализации изобретения суспензионная жидкость является неводной. Состав суспензии может быть подобран в зависимости от углеродсодержащего материала, используемого диспергируемого газа или пара 22 и рабочих условий в HSD 40 таким образом, чтобы производился синтез-газ, имеющий необходимый состав.

#### Теплообменники

В различных вариантах системы предусмотрены также внешние или внутренние теплообменники для нагревания жидкости, подлежащей переработке. Например, реагенты могут предварительно подогреться любым способом, известным специалисту в данной области техники. Некоторыми подходящими местоположениями для одного или нескольких таких теплообменников являются: между насосом 5 (5a) и HSD 40 (40a), между HSD 40 (40a) и трубопроводом 19 (19a), и между трубопроводом 19 (19a) и насосом 5 (5a) в том случае, когда жидкость в трубопроводе 19 (19a) возвращается в HSD 40 (40a). HSD может включать в себя внутренний вал, который может быть охлаждаемым, например, с водяным охлаждением для частичного или полного контроля температуры внутри HSD. Некоторыми неограничивающими примерами таких теплообменников являются кожухотрубные, трубчатые, пластинчатые и змеевиковые теплообменники, известные в данной области техники.

#### Насосы

Насос 5 (5а) сконфигурирован либо для непрерывной, либо для полунепрерывной эксплуатации. Характеристики и конфигурация насоса 5 описаны выше. В дополнение к насосу 5/5а в систему, показанную на фиг. 5, могут быть включены один или несколько насосов высокого давления. Например, дожимной насос, который может быть аналогичным насосу 5/5а, может быть включен между HSD 40 (40а) и трубопроводом 19 (19а) для повышения давления в трубопроводе 19 (19а).

Устройство использования синтез-газа

Система 100 может дополнительно включать в себя устройство использования синтез-газа 30. Устройство использования синтез-газа 30 может быть любым устройством, известным в области использования синтез-газа для производства продукта с добавленной стоимостью, или может включать в себя линию товарной продукции. В вариантах реализации изобретения устройство использования синтез-газа 30 включает в себя устройство для производства углеводородных жидкостей (например, углеводородов ФТ) и/или спиртов из синтез-газа. Устройство использования синтез-газа 30 может включать в себя устройство для проведения реакции синтез-газа в присутствии катализатора ФТ с целью получения продукта ФТ, включающего в себя жидкие углеводороды. В некоторых вариантах реализации изобретения устройство использования синтез-газа включает в себя реактор с трёхфазным кипящим слоем, эксплуатирующийся с циркулирующей суспензией катализатора ФТ, реактор с неподвижным слоем, включающий в себя неподвижный слой катализатора ФТ, или реактор с кипящим слоем, включающий в себя кипящий слой катализатора ФТ. В некоторых вариантах реализации изобретения устройство использования синтез-газа 30 включает в себя устройство для производства метанола из синтез-газа. В некоторых вариантах реализации изобретения в устройстве использования синтез-газа 30 производятся как жидкие углеводороды, так и спирты.

В некоторых вариантах реализации изобретения, как показано на фиг. 5, устройство использования синтез-газа 30 включает в себя второе устройство с высокой скоростью сдвига 40а и второй насос 5а. Устройство HSD 40а и насос 5а аналогичны или идентичны, соответственно, устройству HSD 40 и насосу 5, описанным выше. Трубопровод 21а подсоединен к насосу 5а для ввода жидкого носителя в насос 5а. Трубопровод 13а соединяет насос 5а и HSD 40а, а трубопровод 19а выводит полученную дисперсию из HSD 40а. Устройство использования синтез-газа 30 может дополнительно включать в себя сосуд 10а. Как отмечалось выше, сосуд 10а может быть реактором ФТ. В вариантах реализации изобретения сосуд 10 может быть реактором с кипящим слоем, реактором с трёхфазным кипящим слоем или реактором с неподвижным слоем. Сосуд 10а может быть подсоединен с возможностью пропускания текучей среды к HSD 40а через выпускной трубопровод для дисперсии 19а. Сосуд 10а может включать в себя одну или несколько трубопроводов для вывода продуктов. Например, в одном варианте реализации изобретения фиг. 5, сосуд 10а включает в себя первый выпускной трубопровод 16а сосуда 10а и второй выпускной трубопровод 17а сосуда 10а.

Устройство использования синтез-газа 30 может содержать или использовать катализатор ФТ. Для катализирования реакций Фишера-Тропша могут использоваться различные катализаторы, но наиболее широко распространенными являются переходные металлы: кобальт, железо и рутений. Может использоваться и никель, но он имеет склонность способствовать образованию метана. Кобальт кажется наиболее активным катализатором, хотя железо также хорошо работает и может быть более подходящим для синтез-газов с низким содержанием водорода, таких как синтез-газы, получаемые из каменного угля, благодаря тому, что железо активирует реакцию конверсии водяного газа. В дополнение к активному металлу, катализаторы могут содержать ряд ускорителей катализа, включая калий и медь, а также связующие вещества/носители с большой площадью поверхности, такие как двуокись кремния, окись алюминия и/или цеолиты.

В отличие от других металлов, используемых для данного процесса (Co, Ni, Ru), которые остаются в металлическом состоянии в процессе синтеза, железные катализаторы имеют тенденцию к образованию ряда химических фаз в процессе реакции, включая различные оксиды железа и карбиды железа. Контроль этих фазовых превращений может быть важен для поддержания каталитической активности и предотвращения разрушения частиц катализатора.

Общеизвестна чувствительность катализаторов Фишера-Тропша к наличию серосодержащих соединений наряду с другими ядами. Чувствительность катализаторов на основе кобальта выше, чем чувствительность катализаторов на основе железа. В тех вариантах реализации изобретения, в которых синтез-газ, произведенный с использованием описываемого способа, включает в себя значительное количество серы, в систему 100 может быть встроено устройство очистки выше технологического устройства ФТ по технологической линии. Например, одна или несколько УУКГ (установка удаления кислых газов) или скруббер может быть сконфигурирован для удаления серы и серосодержащих соединений из производимого синтез-газа перед реакцией ФТ. Кроме того, одна или несколько установок удаления CO<sub>2</sub> могут быть размещены выше одного или нескольких реакторов ФТ по технологическому потоку для удаления по меньшей мере части диоксида углерода из синтез-газа перед реакцией ФТ. Например, одна или несколько УУКГ (установка удаления кислых газов) может быть сконфигурирована для удаления диоксида углерода из производимого синтез-газа перед реакцией ФТ. В некоторых вариантах реализации изобретения спирты являются желательным жидким продуктом наряду с жидкими углеводородами, и удаление

диоксида углерода является ненужным и нежелательным. В такие варианты реализации изобретения никакие установки удаления  $\text{CO}_2$  не включены.

В общем, если синтез-газ имеет высокое соотношение водорода к углероду, и нет необходимости в конверсии водяного газа, катализатор ФТ может включать в себя кобальт из-за более высокой активности кобальтового катализатора. Железные катализаторы могут быть предпочтительными в тех случаях, когда желательнее провести конверсию водяного газа. Хотя железные катализаторы также подвержены отравлению серой, выделяющейся из каменного угля с высоким содержанием серы, более низкая стоимость железа делает экономичным его использование в качестве защитного слоя катализатора в реакторе. Кроме того, как отмечалось ранее, железо может катализировать конверсию водяного газа для повышения соотношения водорода к углероду с целью достижения большей селективности реакции в некоторых вариантах реализации изобретения.

Система для использования синтез-газа

В настоящей заявке описывается также система для использования синтез-газа для производства жидкого продукта, включающего в себя углеводороды и спирты. Такая система включает в себя устройство использования синтез-газа 30, и может включать или может не включать в себя устройство с высокой скоростью сдвига 40, насос 5 и/или сосуд 10 для производства синтез-газа. То есть устройство использования синтез-газа 30 может быть скомбинировано с устройством для производства синтез-газа, отличающимся от того устройства, которое описано выше, или может использоваться с синтез-газом из любого источника (например, покупной синтез-газ, синтез-газ, полученный посредством разделения природного газа, и т.д.).

Способ с высокой скоростью сдвига получения синтез-газа

Способ получения синтез-газа из суспензии, включающей в себя углеродсодержащий материал, будет описываться со ссылкой на фиг. 6, который является схематическим изображением способа 300 получения синтез-газа в соответствии с одним вариантом реализации изобретения настоящей заявки. Способ 300 включает в себя обеспечение углеродсодержащей суспензии 400; действие на суспензию сдвига с высокой скоростью с получением потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, включающего в себя синтез-газ 500; и использование синтез-газа 600.

Обеспечение углеродсодержащей суспензии 400

Обеспечение углеродсодержащей суспензии 400 может включать в себя перемешивание одного или нескольких углеродсодержащих материалов с подходящей жидкостью или разбавителем с образованием их дисперсии. Жидкость может быть любой жидкостью, о которой в данной области известно, что она подходит для производства дисперсии. Жидкость может быть водной или неводной. Например, жидкость суспензии может быть выбрана из воды, масел, спиртов и их комбинаций. Углеродсодержащий материал может быть выбран из каменного угля и кокса. В некоторых вариантах реализации изобретения кокс производится с использованием пиролиза каменного угля. В некоторых вариантах реализации изобретения кокс производится или получается из процесса коксования остатка перегонки нефти. В некоторых вариантах реализации изобретения углеродсодержащий материал включает в себя лигнит, антрацит, битуминозный уголь или их комбинацию. Обеспечение углеродсодержащей дисперсии может дополнительно включать в себя получение каменного угля и измельчение каменного угля в порошок, имеющий средний размер частиц меньше, чем заданный размер. Обеспечение суспензии может дополнительно включать в себя измельчение углеродсодержащего материала в порошок. В некоторых вариантах реализации изобретения порошок углеродсодержащего материала имеет средний размер частиц меньше чем примерно 40, меньше чем примерно 500 или меньше чем примерно 1000 микрон. Максимальный размер находящихся в дисперсии частиц углеродсодержащего материала будет определяться величиной рабочего зазора HSD и/или размером пор спечённого металла, покрывающего ротор и/или статор HSD.

Действие на суспензию сдвига с высокой скоростью с получением потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, включающего в себя синтез-газ 500

Способ 300 дополнительно включает в себя действие на суспензию сдвига с высокой скоростью с получением потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, включающего в себя синтез-газ 500. Действие на суспензию сдвига с высокой скоростью 500 может включать в себя действие на суспензию сдвига со скоростью по меньшей мере  $20000 \text{ с}^{-1}$ , свыше  $30000 \text{ с}^{-1}$  или больше, как подробно описано ниже. В некоторых вариантах реализации изобретения действие на суспензию сдвига с высокой скоростью 500 включает в себя введение суспензии в HSD 40, как показано на фиг. 5. Действие на суспензию сдвига с высокой скоростью может включать в себя образование дисперсии, включающей в себя пузырьки диспергируемого газа или синтез-газа, или частицы углеродсодержащего материала, диспергированные в суспензионной жидкости. В некоторых вариантах реализации изобретения пузырьки и/или частицы в дисперсии имеют средний диаметр меньше чем примерно 5, 4, 3, 2 или 1 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения пузырьки и/или частицы в дисперсии имеют средний диаметр несколько нанометров, несколько микрон или долей микрон.

Как видно из фиг. 5, действие на суспензию сдвига с высокой скоростью 500 может включать в себя введение суспензии из устройства для производства суспензии 15 в HSD 40. Насос 5 используется для перекачивания суспензии в HSD 40. В случае необходимости газ (или водяной пар) может вводиться в

трубопровод для суспензии под давлением 13 или непосредственно в HSD 40 через линию диспергируемого газа (или пара) 22. Состав и способ применения диспергируемого газа могут быть выбраны в соответствии с углеродсодержащими материалами, подлежащими переработке в синтез-газ, рабочими условиями и/или необходимым мольным соотношением  $H_2:CO$  в производимом синтез-газе. Например, если суспензия включает в себя углеродсодержащий материал, имеющий высокое содержание углерода и недостаточно высокое содержание водорода (например, антрацит и/или битуминозный уголь), водород может быть введен в HSD 40 через трубопровод для диспергируемого газа 22. В некоторых вариантах реализации изобретения через трубопровод для диспергируемого газа 22 может добавляться кислород. В некоторых вариантах реализации изобретения через трубопровод для диспергируемого газа 22 может добавляться попутный газ. В некоторых вариантах реализации изобретения через трубопровод для диспергируемого газа вводится водяной пар. Устройством с высокой скоростью сдвига (HSD 40), может быть ротор-статорное устройство, описанное выше. В других вариантах реализации изобретения диспергируемый газ или пар присутствует в суспензии, и это присутствие обеспечено в устройстве для производства суспензии 15, или вводится непосредственно в HSD 40.

В некоторых вариантах реализации изобретения попутный газ объединяется с суспензией выше HSD 40 по потоку или внутри HSD 40. Например, если система 100 включена в технологический процесс добычи каменного угля и попутный газ извлекается из залежи каменного угля с каменным углем, который используется в качестве углеродсодержащего материала, то попутный газ может быть введен в HSD 40 вместе с углеродсодержащим материалом. Попутный газ может быть введен в состав дисперсии в устройстве для производства суспензии 15, введен отдельно через трубопровод для диспергируемого газа 22, или введен непосредственно в HSD 40. Добавление попутного газа, осуществленное таким образом, может использоваться для повышения мольного соотношения  $H_2:CO$  в получающемся синтез-газе, который производится в HSD 40. Как отмечалось в отношении уравнения (3), природный газ имеет более высокое содержание водорода (от  $x=4$  до  $x\sim 2,5$ ), чем каменный уголь. Используемый в настоящей заявке термин "попутный газ" относится к газу, который содержится в пласте или над пластом каменного угля, например, метан угольного пласта или газ угольного пласта. Попутный газ включает в себя метан и может включать в себя другие различные газы в соответствии с тем, что известно в данной области техники. Метан угольного пласта может быть "бессернистым газом", включающим в себя небольшое количество сероводорода. Метан угольного пласта может содержать очень малое количество более тяжелых углеводородов, таких как пропан или бутан, и не содержать никакого конденсата природного газа. Попутный газ может содержать до нескольких процентов диоксида углерода.

Для заполнения реактора 10 и его продувки от воздуха и/или кислорода перед началом эксплуатации системы 100 может использоваться инертный газ, такой как азот. Насос 5 используется для перекачивания суспензии через трубопровод 21 и для создания давления и питания HSD 40, обеспечивая регулируемый поток через устройство с высокой скоростью сдвига (HSD) 40 и систему с высокой скоростью сдвига 100. В некоторых вариантах реализации изобретения насос 5 повышает давление входящего потока HSD в трубопроводе 13 больше чем до 200 кПа (2 атм.) или больше чем примерно до 300 кПа (3 атмосферы). Таким образом, система с высокой скоростью сдвига 100 может сочетать высокую скорость сдвига и высокое давление для повышения эффективности производства синтез-газа.

В некоторых вариантах реализации изобретения диспергируемый газ непрерывно подается в поток суспензии 13 с образованием питающего потока системы с высокой скоростью сдвига (например, питающий поток газ-жидкость-твердое вещество). В устройстве с высокой скоростью сдвига 40, диспергируемый газ и/или произведенный синтез-газ и/или углеродсодержащий материал могут интенсивно диспергироваться, так что образуются нанопузырьки и/или микропузырьки газа и/или наночастицы и/или микрочастицы углеродсодержащего материала. Температура и интенсивность сдвига внутри HSD 40 контролируются так, чтобы можно было производить синтез-газ, имеющий необходимый состав. Например, температура и сдвиг, которым подвергается содержимое HSD, могут быть выбраны/подобраны для производства синтез-газа, включающего в себя водород и окись углерода в необходимом соотношении. Необходимое мольное соотношение  $H_2:CO$  в синтез-газе может быть в диапазоне от примерно 0,5 до 2, в диапазоне от 0,5 до 1,5, в диапазоне от примерно 0,7 до 1,5, в диапазоне от примерно 0,9 до 1,3. Необходимый синтез-газ может иметь мольное соотношение  $H_2:CO$  примерно 1:1.

В HSD 40 содержимое подвергается сдвигу с высокой скоростью. Предусмотрено также, что в определенных вариантах реализации изобретения в HSD 40 может дополнительно присутствовать катализатор. Компоненты углеродсодержащего материала (например, металлы в угольной золе) могут использоваться для катализования производства синтез-газа и/или производства жидких углеводородов из синтез-газа. В некоторых вариантах реализации изобретения дополнительный твердый, газообразный или жидкий катализатор может быть введен в HSD 40 через входной трубопровод 13, трубопровод 21 или трубопровод 22. В примере реализации изобретения устройство с высокой скоростью сдвига, включает в себя серийный диспергатор, такой как IKA® модели DR 2000/4, трехступенчатое диспергирующее устройство с высокой скоростью сдвига, оборудованное тремя роторами в комбинации со статорами, расположенными последовательно, как описано выше. Диспергатор используется для действия на суспензию сдвига с высокой скоростью. Комплекты ротор/статор могут быть, например, скомпонованы так,

как показано на фиг. 2. В таком варианте реализации изобретения сырье входит в устройство с высокой скоростью сдвига, по трубопроводу 13 и поступает в комбинацию ротор/статор первой ступени, имеющую расположенные по окружности отверстия первой ступени сдвига. Крупнозернистая дисперсия (включающая в себя твердые углеродсодержащие материалы и/или газ, то есть диспергируемый газ из трубопровода 22 или получаемый синтез-газ, диспергированный в жидком носителе дисперсии), выходя из первой ступени, поступает во вторую ступень ротор/статор, которая имеет отверстия второй ступени сдвига. Дисперсия с уменьшенным размером частиц, выходящая из второй ступени, поступает в комбинацию ротор/статор третьей ступени, имеющую отверстия третьей ступени сдвига. Роторы и статоры генераторов могут иметь расположенные по окружности кольца сопрягаемой формы. Поток, обработанный с высокой скоростью сдвига, выходит из устройства с высокой скоростью сдвига, через трубопровод 19. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига постепенно увеличивается вдоль направления движения потока 260, или при переходе от внутреннего комплекта колец одного генератора к внешнему комплекту колец этого же генератора. В других вариантах реализации изобретения скорость сдвига постепенно уменьшается вдоль направления движения потока 260, или при переходе от внутреннего комплекта колец одного генератора к внешнему комплекту колец этого же генератора (с удалением от оси 200). Например, в некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига в первой ступени ротор/статор больше, чем скорость сдвига в следующей ступени(ях). Например, в некоторых вариантах реализации изобретения скорость сдвига в первой ступени ротор/статор больше или меньше, чем скорость сдвига в следующей ступени(ях). В других вариантах реализации изобретения скорость сдвига, по существу, постоянно вдоль направления движения потока, и то же самое относится к ступени или ступеням. Если HSD 40 включает в себя уплотнение из ПТФЭ, например, то уплотнение может охлаждаться любым подходящим способом, известным в данной области техники. HSD 40 может включать в себя вал в центре, который может использоваться для контроля температуры в HSD 40. Например, поток суспензии, протекающий в трубопроводе 13 (или жидкости, используемой для образования суспензии углеродсодержащего материала), может использоваться для охлаждения уплотнения и, за счет этого, предварительно подогреваться, как необходимо, перед поступлением в устройство с высокой скоростью сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения, для стимулирования производства синтез-газа, к HSD 40 может подводиться тепло (через вал или в другом месте, например, снаружи к HSD 40).

Ротор(ы) HSD 40 может быть установлен так, чтобы он(и) вращался со скоростью, соответствующей диаметру ротора и необходимой линейной скоростью конца лопасти. Как описано выше, HSD (например, коллоидная мельница или диспергатор с зубчатым венцом) имеет либо фиксированный просвет между статором и ротором, либо регулируемый просвет.

HSD 40 служит для действия на суспензию сдвига с высокой скоростью. В некоторых вариантах реализации процесса сопротивление переносу реагентов уменьшается за счет работы устройства с высокой скоростью сдвига, так, что скорость одной или нескольких реакций (например, производство синтез-газа) увеличивается больше чем примерно в 5 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость реакции увеличивается по меньшей мере в 10 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения скорость реакции увеличивается в интервале от примерно 10 до примерно 100 раз. В некоторых вариантах реализации изобретения HSD 40 выдает по меньшей мере 300 л/ч при номинальной окружной скорости конца лопасти по меньшей мере 22 м/с (4500 футов в минуту), 40 м/с (7900 футов в минуту), и скорость может превышать 225 м/с (45000 футов в минуту), или больше. Потребление энергии может составлять около 1,5 кВт или больше в случае необходимости. Несмотря на то, что измерение мгновенной температуры и давления в области конца лопасти вращающегося устройства с высокой скоростью сдвига, или вращающегося элемента в HSD 40 трудно осуществить, по нашим оценкам, локализованная температура, которой могут подвергаться тщательно перемешиваемые реагенты, может превышать 500°C, и давление может превышать 500 кг/см<sup>2</sup> (49 МПа) в условиях с высокой скоростью сдвига.

Условия, такие как температура, давление, объемная скорость и состав диспергируемого газа (трубопровод 22) и состав суспензии, могут регулироваться так, чтобы производить продукт с необходимыми характеристиками (и обеспечивать безопасность). Использование HSD 40 может позволить осуществить производство синтез-газа, имеющего необходимое соотношение H<sub>2</sub>:CO. В некоторых вариантах реализации изобретения рабочие условия системы 100 включают в себя температуру системы, равную примерно температуре окружающей среды, и общее давление, равное примерно атмосферному давлению. Если жидкость-носитель/источник H<sub>2</sub> находится в жидком состоянии, например, попутный газ (природный газ), то может быть более желательным эксплуатировать систему при таких условиях, при которых жидкость-носитель (например, попутный газ) остается жидким и сохраняет дисперсию жидкость/твердое вещество с твердым веществом (например, с каменным углем или другим углеродсодержащим материалом). Поскольку HSD 40 обеспечивает высокое давление (например, 15000 фунтов на кв. дюйм (1034 МПа)) в области лопастей роторов, то температура реакции может быть ниже, чем в традиционных системах газификации в отсутствии высокой скорости сдвига. В некоторых вариантах реализации изобретения рабочая температура меньше чем примерно 70% обычной рабочей температуры, или меньше чем примерно 60% обычной рабочей температуры, или меньше чем примерно 50% обычной рабочей температуры для той же самой реакции (реакций).

Время пребывания в HSD 40, как правило, небольшое. Например, время пребывания может составлять несколько миллисекунд, может быть равным примерно 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 или примерно 100 миллисекунд, может быть равным примерно 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 или примерно 900 миллисекунд, может составлять несколько секунд, или может быть в любом интервале между указанными значениями.

#### Использование синтез-газа 600

Способ 300 может дополнительно включать в себя использование синтез-газа 600. Использование синтез-газа 600 может включать использование синтез-газа или его компонента (например, водород) непосредственно в качестве топлива или для производства ценного продукта из синтез-газа. Следует отметить, что способ использования синтез-газа 601 может применяться для производства продукта из любого синтез-газа, не только для производства продукта из синтез-газа, полученного с использованием газификации углеродсодержащих материалов в условиях с высокой скоростью сдвига, как описано выше. То есть, другим аспектом настоящего изобретения является способ производства продукта (например, включающего в себя один или несколько компонентов, выбранных из жидких углеводородов и спиртов) из синтез-газа, полученного с использованием любой системы и/или процесса. Например, синтез-газ можно обеспечивать с использованием описываемой здесь газификации углеродсодержащих материалов с использованием сдвига с высокой скоростью, может быть получен с использованием традиционного процесса газификации (который также называют паровым риформингом) углеродсодержащего материала (например, каменного угля, биомассы или природного газа), может быть получен с использованием разделения природного газа, может быть получен с использованием неполного сгорания углеводородов, или может быть получен с использованием некоторой комбинации перечисленных способов.

В некоторых вариантах реализации изобретения синтез-газ, произведенный в HSD 40 и/или полученный из другого источника/способа, сжигается непосредственно в двигателях внутреннего сгорания, используется для производства метанола и водорода, или превращается в продукт, включающий в себя жидкие углеводороды и/или спирты. Как показано на фиг. 7, который является схематическим изображением способа использования синтез-газа 601 в соответствии с вариантом реализации изобретения настоящей заявки, использование синтез-газа может включать в себя отделение синтез-газа от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 700, и проведение реакции синтез-газа (который может дополнительно включать в себя двуокись углерода) для производства продуктов 800.

#### Отделение синтез-газа от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 700

Поток, обработанный с высокой скоростью сдвига, выходит из устройства с высокой скоростью сдвига, через выпускной трубопровод 19 устройства с высокой скоростью сдвига. Поток, обработанный с высокой скоростью сдвига 19, будет, как правило, включать в себя синтез-газ; непрореагировавший углеродсодержащий материал; и побочные продукты, в том числе углеводороды, которые могут образовываться в реакциях с участием углеродсодержащего материала, например, в реакции между окисью углерода и водородом (и в реакциях, катализируемых компонентами углеродсодержащего материала), такие побочные продукты, как, среди прочего, соединения C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>, CO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, и соединения серы, такие как H<sub>2</sub>S. Использование синтез-газа может включать в себя на этапе 700 отделение синтез-газа от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 19. Использование синтез-газа может включать в себя отделение продукта, включающего в себя синтез-газ, от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига. Отделение продукта, включающего в себя синтез-газ, от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, на этапе 700 может включать в себя отделение синтез-газа и одного или нескольких побочных продуктов от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига. Отделение продукта, включающего в себя синтез-газ, от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, на этапе 700 может включать в себя отделение углеродсодержащего материала, суспензионной жидкости, одного или нескольких побочных продуктов, или комбинации перечисленного от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, оставляя продукт, включающий в себя синтез-газ.

Поток 19 может необязательно поступать в сосуд 10. Синтез-газ может быть отделен от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 19, любым способом, известным в данной области техники. Отделение синтез-газа от потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, в линии 19 может включать в себя введение потока, обработанного с высокой скоростью сдвига, в сосуд 10. Как отмечалось выше, сосуд 10 может быть разделительной установкой, или может быть больше, чем одной разделительной установкой. Различные компоненты потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 19 (например, произведенный синтез-газ, один или несколько побочных продуктов, таких как углеводородные продукты, которые могут образоваться в HSD 40, суспензионная жидкость и непрореагировавший углеродсодержащий материал, например каменный уголь) могут быть извлечены из сосуда(ов) 10 или могут быть извлечены из одной или нескольких разделительных установок ниже сосуда 10 по технологической линии. Для разделения различных компонентов потока, обработанного с высокой скоростью сдвига 19, может использоваться любой способ разделения, известный в данной области техники. Например, для разделения требуемых компонентов, выходящих из HSD 40 и/или сосуда 10, может использоваться один или несколько способов, выбранных из способов разделения пара и жидкости, способов разделения твердых веществ и жидкости, способов перегонки и других способов разделения.

В некоторых вариантах реализации изобретения произведенный синтез-газ выводится через первый выпускной трубопровод 16 сосуда 10. Газ, выводимый из сосуда 10 через первый выпускной трубопровод 16 сосуда 10, может включать в себя другие компоненты, помимо синтез-газа, например, различные количества диоксида углерода, метана, спиртов, сероводорода и/или дизельного топлива. Суспензионная жидкость и углеводородный продукт могут выводиться через второй выпускной трубопровод 17 сосуда 10. Непрореагировавший углеродсодержащий материал может выводиться из сосуда 10 через третий выпускной трубопровод 20 сосуда 10. Или же, суспензионная жидкость и непрореагировавший углеродсодержащий материал могут выводиться вместе, например, через третий выпускной трубопровод 20 сосуда 10. Сосуд 10 может включать в себя больше чем одну разделительную установку, как это известно в данной области техники. Например, жидкий поток, включающий в себя жидкие углеводороды, произведенные в HSD 40, и суспензионная жидкость могут выводиться из сосуда 10, или для отделения суспензионной жидкости от жидких углеводородов в некоторых вариантах реализации изобретения может использоваться первый разделительный сосуд и второй разделительный сосуд.

Отделенная суспензионная жидкость и/или непрореагировавший углеродсодержащий материал могут быть возвращены в HSD 40, например, путем введения в трубопровод 21, трубопровод 13 или в HSD 40 через второй выпускной трубопровод 17 сосуда 10 и/или третий выпускной трубопровод 20 сосуда 10.

Произведенный синтез-газ, который может быть извлечен из сосуда 10 через первый выпускной трубопровод 16 сосуда 10, может включать в себя водород и окись углерода в необходимом мольном соотношении, как обсуждалось выше. Синтез-газ может дополнительно включать в себя двуокись углерода и низкомолекулярные углеводороды, например, метан. В вариантах реализации изобретения синтез-газ включает в себя меньше чем примерно 50 мольных процентов, 40, 30 или 20% диоксида углерода. Если в HSD присутствует сера, то может образовываться  $H_2S$ . В вариантах реализации изобретения синтез-газ включает в себя меньше чем примерно 20 мольных процентов, 10 или 5% сероводорода. Как описано ниже, в вариантах реализации изобретения (например, для использования с катализатором ФТ, чувствительным к  $CO_2$ ) может быть удален  $CO_2$ ,  $H_2S$  или другой компонент включающего в себя синтез-газ потока, выводимого из HSD 40 и/или сосуда 10.

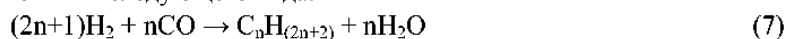
Проведение реакции синтез-газа для производства продуктов 800

Использование синтез-газа может дополнительно включать в себя проведение реакции синтез-газа при подходящих условиях для производства продукта 800. Этап 800 может быть каталитическим и может включать в себя эксплуатацию при рабочих условиях процесса Фишера-Тропша (ФТ). В некоторых вариантах реализации изобретения проведение реакции синтез-газа для производства продукта 800 включает в себя любые способы, известные в данной области техники, пригодные для проведения реакции синтез-газа из HSD 40 для производства углеводородов ФТ. Продукты ФТ могут быть получены так, как известно в данной области техники, или могут быть произведены с использованием HSD, как описано ниже, и/или как описано в патентной заявке США № 12/138269, которая полностью включена в настоящую заявку посредством ссылки на все цели изобретения, не противоречащие настоящей заявке.

Для синтеза ФТ могут использоваться различные составы синтез-газа. Для катализатора на основе кобальта оптимальное соотношение  $H_2:CO$  составляет примерно 1,8-2,1. Катализаторы на основе железа активируют реакцию конверсии водяного газа и, следовательно, могут допускать более низкие соотношения. Если синтез-газ имеет относительно низкое соотношение  $H_2:CO$  (<1), то может быть желательным использование железного катализатора. В зависимости от состава синтез-газа (произведенного в HSD 40 или полученного с использованием других способов), использование синтез-газа 601 может дополнительно включать в себя удаление по меньшей мере части серы и/или серосодержащих соединений из синтез-газа перед этапом 800 и/или удаление по меньшей мере части диоксида углерода из синтез-газа перед этапом 800. Например, для уменьшения содержания серы в производимом синтез-газе может использоваться мокрая очистка газа (с использованием одного или нескольких скрубберов). Для уменьшения содержания диоксида углерода и/или сероводорода в синтез-газе может использоваться очистка от кислых газов (с использованием одной или нескольких установок удаления кислых газов или УУКГ).

Процесс Фишера-Тропша (или синтез Фишера-Тропша) - это катализируемая химическая реакция, в которой синтез-газ, смесь оксида углерода и водорода, превращается в различные жидкие углеводороды. Наиболее широко применяющиеся катализаторы основаны на железе и кобальте, используются также никель и рутений. Основной целью данного процесса является производство синтетического заменителя нефти, как правило, из каменного угля, природного газа или биомассы, для использования в качестве смазочного масла или синтетического топлива. На синтетическом топливе работают двигатели грузовиков, легковых автомобилей и некоторые авиационные двигатели. Объем использования дизельного топлива в последние годы постоянно растет.

Процесс Фишера-Тропша включает в себя различные конкурирующие химические реакции, результатом которых является ряд желательных продуктов и нежелательных побочных продуктов. Наиболее важными являются те реакции, которые приводят к образованию алканов. Эти реакции можно описать химическими уравнениями следующего вида:



где  $n$  - это положительное целое число. Наиболее простая из этих реакций ( $n=1$ ) приводит к образованию метана, который обычно считают нежелательным побочным продуктом (в частности, когда метан является основным сырьем, используемым для производства синтез-газа). Условия проведения процесса и состав катализатора обычно выбирают так, чтобы они способствовали реакциям более высокого порядка ( $n>1$ ) и, соответственно, минимизировали образование метана. Большинство образующихся алканов имеют неразветвленную цепь, хотя образуются также и некоторые алканы с разветвленной цепью. Помимо образования алканов, конкурирующие реакции приводят к образованию алкенов, а также спиртов и других кислородсодержащих углеводородов. Обычно образуются лишь относительно небольшие количества продуктов, не относящихся к алканам, хотя и разработаны катализаторы, способствующие образованию таких продуктов.

Другой важной реакцией является реакция конверсии водяного газа, WGSR, реакция (6) выше. Несмотря на то что реакция конверсии водяного газа приводит к образованию нежелательной диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), ее можно использовать для изменения соотношения  $\text{H}_2:\text{CO}$  в поступающем синтез-газе. Это будет желательным, если синтез-газ, использующийся на этапе 800, имеет соотношение около 0,7. Например, если молярное соотношение водорода к оксиду углерода выше чем, примерно 2, то может использоваться катализатор, который не активирует реакцию конверсии водяного газа. Реакция конверсии водяного газа чувствительна к температуре, причем, в соответствии с принципом Ле Шателье, при повышении температуры реакция сдвигается в сторону образования исходных реагентов.

Необходимо отметить, что в соответствии с опубликованными данными по действующим коммерческим внедрениям основанного на каменном угле процесса Фишера-Тропша, эти установки могут производить до 7 метрических тонн  $\text{CO}_2$  на метрическую тонну жидких углеводородных продуктов (исключая воду, образующуюся в ходе реакции). Это объясняется, отчасти, высокой потребностью в энергии, требующейся для процесса газификации и, отчасти, конструктивными особенностями внедренного проекта. Использование описанного в настоящей заявке процесса может позволить реализовать производство меньшего количества  $\text{CO}_2$  и/или меньшее превращение  $\text{CO}_2$  в продукт (например, спирты).

В некоторых вариантах реализации изобретения этап 800 включает в себя проведение каталитической реакции синтез-газа при рабочих условиях ФТ для производства продукта ФТ и использует типичную рабочую температуру ФТ в интервале от 150 до 300°C (302-572°F). Как правило, более высокая температура приводит к более высоким скоростям реакций и более высоким коэффициентам превращения, но также способствует образованию метана. Использование HSD 40a, как описано ниже, может позволить использовать более низкую рабочую температуру, чем температура традиционного процесса ФТ, и снизить нежелательное производство метана. Температура для проведения каталитической реакции синтез-газа при рабочих условиях ФТ для производства продукта ФТ может поддерживаться в диапазоне от нижнего до среднего значения температуры указанного выше интервала. Повышение давления, как правило, приводит к более высоким степеням превращения, а также способствует образованию алканов с длинной цепью, и то и другое является желательным. Типичное давление лежит в диапазоне от одной до нескольких десятков атмосфер. С точки зрения химии процесса, было бы выгодно использовать еще более высокое давление, но возможные выгоды могут не компенсировать дополнительные затраты на оборудование, работающее при высоком давлении. Как показано ниже, использование HSD 40a может позволить получать более желательный состав продуктов благодаря высокому локальному давлению, которое обеспечивает HSD.

В целом, состав углеводородов, образующихся в процессе Фишера-Тропша, описывается распределением Андерсона-Шульца-Флори, которое можно выразить следующим образом:

$$W_n/n = (1-\alpha)^2 \alpha^{n-1} \quad (8)$$

где  $W_n$  - это массовая доля молекул углеводорода, содержащих  $n$  атомов углерода, а  $\alpha$  - это вероятность роста цепи, или вероятность того, что молекула будет продолжать участвовать в реакции с образованием более длинной цепи. В общем,  $\alpha$ , главным образом, зависит от катализатора и от условий конкретного процесса.

Анализ уравнения (8) показывает, что метан, как правило, будет основным продуктом, однако, если значение  $\alpha$  стремится к единице, общее количество образовавшегося метана будет минимальным в сравнении с суммой всех различных продуктов с длинной цепью. Увеличение  $\alpha$  повышает выход углеводородов с длинной цепью. Углеводороды с очень длинной цепью - это парафины, твердые вещества при комнатной температуре. Следовательно, для производства жидкого моторного топлива может быть необходимым разрушить некоторые продукты Фишера-Тропша в процессе последующей переработки. Для того чтобы избежать этого, можно использовать цеолиты или другие носители катализаторов с порами определенного размера, которые могут ограничить образование углеводородов более длинных, чем некоторый характеристический размер (обычно  $n<10$ ).

В некоторых вариантах реализации изобретения традиционный процесс ФТ используется для производства продуктов ФТ из синтез-газа, произведенного в HSD 40. Или же, фиг. 8 - это схематическое изображение способа проведения реакции синтез-газа из HSD 40 или полученного любым известным в данной области техники способом для производства продуктов, включающих в себя углеводороды и/или

спирты 801 в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения. Проведение реакции синтез-газа для производства продуктов 801 включает в себя производство дисперсии синтез-газа в жидкой фазе 802, введение дисперсии в сосуд 803 и извлечение продукта 804.

Производство дисперсии синтез-газа в жидкой фазе 802

Проведение реакции синтез-газа для производства продуктов 801 может использоваться в сочетании со способом 300 производства синтез-газа из углеродсодержащей дисперсии или может быть отдельным способом, пригодным для образования продукта, включающего в себя один или несколько жидких углеводородов и/или спиртов из синтез-газа (который может включать в себя другие газообразные компоненты, например, двуокись углерода, как описывается ниже), полученного любым известным в данной области техники способом. Способ 801 включает в себя производство дисперсии синтез-газа в жидкой фазе 802. Получение дисперсии синтез-газа в жидкой фазе 802 может включать в себя введение произведенного синтез-газа из HSD 40 и/или синтез-газа из другого источника/способа в HSD 40а. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10 (или дополнительные разделительные установки ниже сосуда 10 по потоку) служит для отделения произведенного синтез-газа от жидких углеводородов, произведенных в HSD 40, непрореагировавших углеродсодержащих материалов и суспензионной жидкости. В таких вариантах реализации изобретения часть 22а синтез-газа, выводимого из сосуда 10 через первую выпускной трубопровод 16 сосуда 10 может быть объединена с жидким носителем в трубопроводе 21а и перекачана через трубопровод 13а и насос 5а во (второе) HSD 40а. В некоторых вариантах реализации изобретения углеводородные продукты из HSD 40 и синтез-газ, произведенный в HSD 40, выводятся вместе из сосуда 10 через первый выпускной трубопровод 16 сосуда 10. В таких вариантах реализации изобретения углеводороды, произведенные в HSD 40, могут использоваться в качестве жидкого носителя, и через трубопровод 21а может вводиться лишь небольшое количество дополнительного жидкого носителя, или дополнительный жидкий носитель может не вводиться.

Получение дисперсии синтез-газа в жидкой фазе 802 включает в себя введение произведенного синтез-газа из HSD 40 и/или синтез-газа, полученного с использованием другого способа или источника в HSD 40а вместе с жидким носителем. Жидкий носитель и синтез-газ могут быть введены в HSD 40а отдельно, или могут быть объединены перед введением в HSD 40а (например, если они вместе выводятся из сосуда 10). HSD 40а служит для производства дисперсии синтез-газа в жидком носителе и эксплуатируется так, как описана выше эксплуатация HSD 40, но при условиях, подходящих для превращения синтез-газа, а не при условиях, подходящих для газификации углеродсодержащих материалов, как в HSD 40. Создающийся в HSD 40а сдвиг с высокой скоростью приводит к образованию дисперсии пузырьков или капель синтез-газа (и необязательно диоксида углерода) микронного или субмикронного размера в непрерывной жидкой фазе. Жидкая фаза может включать в себя углеводороды ФТ, спирты или другой подходящий жидкий носитель. В некоторых вариантах реализации изобретения дисперсия, производящаяся в HSD 40а, имеет средний размер пузырьков меньше чем примерно 5, 4, 3, 2, 1,5 или 1 мкм. Соответственно, дисперсия, выходящая из HSD 40а через трубопровод 19а, включает в себя пузырьки синтез-газа микронного и/или субмикронного размера. В некоторых вариантах реализации изобретения средний размер пузырьков находится в интервале от примерно 0,4 до примерно 1,5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения полученная дисперсия имеет средний размер пузырьков не больше чем примерно 1 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения средний размер пузырьков меньше чем примерно 400 нм и в некоторых случаях может быть меньше чем примерно 100 нм. Во многих вариантах реализации изобретения дисперсия микропузырьков способна оставаться стабильной при атмосферном давлении в течение по меньшей мере 15 мин.

Введение дисперсии в сосуд 803

Проведение реакции синтез-газа для производства продуктов 801 может дополнительно включать в себя введение дисперсии в сосуд 802. После диспергирования полученная дисперсия выходит из HSD 40а через трубопровод 19а и может быть введена во второй сосуд 10а, как показано на фиг. 5. В результате тщательного перемешивания реагентов перед поступлением в сосуд 10а, существенная доля химической реакции может проходить в HSD 40а. Катализатор, например, катализатор ФТ и/или катализатор, предназначенный для активирования реакции получения спирта, может присутствовать в устройстве использования синтез-газа 30. В некоторых вариантах реализации изобретения, как описано выше, катализатором ФТ могут быть покрыты части HSD 40а, или катализатор может вводиться в HSD 40а с жидким носителем, например, через трубопровод 21а. Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения, реактор/сосуд 10а может использоваться, главным образом, для нагревания и отделения продуктов от непрореагировавшего синтез-газа. В некоторых вариантах реализации изобретения сосуд 10а отсутствует. Или же, или дополнительно, сосуд 10а может служить в качестве первичного реакционного сосуда, в котором производится большая часть продукта. Сосуд/реактор 10а может эксплуатироваться в режиме либо непрерывного, либо полунепрерывного потока, или может эксплуатироваться в периодическом режиме. Содержимое сосуда 10 может поддерживаться при определенной температуре реакции любыми способами, известными в данной области техники, с использованием приспособлений и устройств для нагревания и/или охлаждения (например, охлаждающих змеевиков) и приборов для измерения температуры. Давление в сосуде может контролироваться с помощью подходящих контрольно-измери-

тельных приборов, а уровень реагентов в сосуде может регулироваться с помощью регулятора уровня, любыми способами, известными в данной области техники. Сосуд 10а может быть сконфигурирован как реактор с трёхфазным кипящим слоем, реактор с кипящим слоем или реактор с неподвижным слоем.

#### Извлечение продукта 804

Проведение реакции синтез-газа для производства продуктов 801 может дополнительно включать в себя извлечение продукта(ов) 804. Продукт(ы) реакции может быть извлечен непосредственно из HSD 40а (например, когда HSD 40а или жидкий носитель 21а содержит катализатор). Или же, или дополнительно, продукт может быть извлечен из сосуда 10а или из разделительного сосуда, расположенного ниже 10а по потоку. Например, непрореагировавший синтез-газ (и более легкие углеводородные продукты, такие как, в числе прочего, метан, спирты и дизельное топливо) может быть выведен из сосуда 10а через первую выпускной трубопровод 16а сосуда 10а, а жидкий продукт может быть выведен из сосуда 10а через второй выпускной трубопровод 17а сосуда 10а. В некоторых вариантах реализации изобретения катализатор циркулирует в производственном оборотовании 30 (и в HSD 40а), и катализатор может быть отделен от продукта и возвращен, например, путем введения в трубопровод для жидкого носителя 21а, или возвращен непосредственно в сосуд 10а. Непрореагировавший синтез-газ и другой легкий газ, выведенный через первый выпускной трубопровод 16а сосуда 10а, может быть возвращен в HSD 40а, например, через трубопровод для синтез-газа 22а. Продукт, выходящий из системы 100 через трубопровод 19а или через второй выпускной трубопровод 17а сосуда 10а, может перерабатываться, продаваться или использоваться любым способом, известным в данной области техники.

HSD 40а может эксплуатироваться таким образом, чтобы продукт реакции, извлекаемый на этапе 804, включал в себя спирты и/или жидкие углеводороды. В вариантах реализации изобретения жидкий продукт включает в себя по существу равные количества жидких углеводородов и спиртов. В таких вариантах реализации изобретения углеводородные продукты и спирты могут быть отделены любым способом, известным в данной области техники. В традиционном процессе GTL (переработки газа в жидкое топливо), как правило, вырабатывается значительное количество воды и относительно низкое количество (например, 3-5%) спирта. В вариантах реализации изобретения извлекаемый продукт (из HSD 40а и/или сосуда 10а) включает в себя меньше воды и/или больше спиртов, чем продукт традиционного процесса GTL. Описываемый способ использования синтез-газа в условиях с высокой скоростью сдвига может позволить реализовать производство значительных количеств спирта и малого количества (например, 3-5%) воды.

В некоторых вариантах реализации изобретения синтез-газ из HSD 40 (полученного в описанном в настоящей заявке процессе газификации углеродсодержащего материала в условиях с высокой скоростью сдвига) и/или синтез-газ из другого источника/способа превращается, как описано выше, в продукт, включающий в себя спирты и углеводороды. В некоторых вариантах реализации изобретения продукт из HSD 40а включает в себя углеводороды в качестве основного компонента, спирты в качестве второстепенного компонента и воду в качестве несущественного компонента. В некоторых вариантах реализации изобретения продукт включает в себя больше чем примерно 90% компонентов, выбранных из спиртов и жидких углеводородов, и меньше чем примерно 10% воды (например, около 90% спиртов и/или углеводородов и примерно 3% воды). Не желая ограничиваться конкретной теорией, полагают, что благодаря условиям, которым газ подвергается в HSD, значительные количества спиртов могут образовываться в 40а, с сопутствующим образованием меньшего количества воды, чем в традиционном процессе GTL. Двуокись углерода в потоке питающего HSD 40а газа может быть превращена в спирты, а не вступать в реакцию с водородом с образованием воды. Таким путем может быть получена польза от диоксида углерода, содержащейся в питающем потоке синтез-газа. Следовательно, удаление диоксида углерода из синтез-газа перед HSD 40а может быть необязательным и/или нежелательным. В некоторых вариантах реализации изобретения имеющаяся в наличии двуокись углерода может даже подаваться в HSD 40а наряду с синтез-газом. Не желая ограничиваться конкретной теорией, полагают, что экстремальное давление/сдвиг, создающееся на лопастях ротора/статора, сдвигают реакцию от термодинамически ожидаемого образования воды в сторону образования спиртов.

Традиционные процессы GTL обычно производят максимум 27-28 молей жидкого продукта на 100 молей подаваемого газа. В некоторых вариантах реализации изобретения больше чем 28 молей жидкого продукта, включающего в себя спирты и/или жидкие углеводороды, производится за счет использования синтез-газа (и необязательно диоксида углерода) в условиях с высокой скоростью сдвига, как описано в настоящей заявке.

Жидкие углеводороды и/или спирты, выводимые из сосуда 10, могут быть объединены с жидким продуктом, включающим в себя жидкие углеводороды и/или спирты в трубопроводе 17. Часть продукта в трубопроводе 17а может быть отделена и использована в качестве жидкого носителя для рециркуляции в HSD 40а через трубопровод 21а. Таким образом, по трубопроводу 21а может течь поток свежего носителя и/или рециркулирующий поток из сосуда 10а. Как отмечалось выше в отношении традиционного процесса производства углеводородов ФТ, состав продуктов будет зависеть от рабочих условий, использованного катализатора и состава сырьевого газа (синтез-газ и/или двуокись углерода). В некоторых вариантах реализации изобретения продукт включает в себя, в основном, углеводороды C<sub>5+</sub> (то есть угле-

водороды, имеющие пять и больше атомов углерода).

Катализатор (например, катализатор ФТ и/или катализатор, предназначенный для активирования реакции получения спиртов из синтез-газа, включающего в себя двуокись углерода) может быть введен непосредственно в сосуд 10а как углеводородная суспензия или поток. Или же, или дополнительно, катализатор может быть добавлен в систему 100 где-нибудь в другом месте. Например, суспензия катализатора может быть введена в линию 21а. В HSD 40а и сосуде 10а могут использоваться общеизвестные рабочие условия процесса ФТ. Или же в оборудовании производства продукта 30 могут использоваться менее жесткие рабочие условия (то есть более низкая температура и/или давление).

Эксплуатация в несколько проходов

В варианте реализации изобретения на фиг. 5 система сконфигурирована для эксплуатации в один проход. Выход HSD 40 может проходить через следующее HSD. В некоторых вариантах реализации изобретения может быть желательным пропустить содержимое трубопровода 19 или его часть через HSD 40 во втором проходе. В этом случае по меньшей мере часть содержимого трубопровода 19 может рециркулировать из трубопровода 19 и перекачиваться насосом 5 в трубопровод 13, а затем в HSD 40. Дополнительные реагенты могут вводиться по трубопроводу 22 в трубопровод 13, или могут добавляться непосредственно в HSD. В других вариантах реализации изобретения продукт дополнительно обрабатывается перед возвращением его части в HSD 40. Аналогично, в соответствующих случаях может использоваться эксплуатация автономного или встроенного HSD 40а в несколько проходов (то есть, либо HSD 40а используется совместно с HSD 40, либо для превращения газа, полученного другими способами, а не газификацией углеродсодержащих материалов в условиях с высокой скоростью сдвига с использованием HSD 40).

Несколько HSD

В некоторых вариантах реализации изобретения два или больше HSD, подобных HSD 40 или сконфигурированных иным образом, расположены последовательно и используются для дальнейшего активирования реакции. Эксплуатация смесителей может проводиться либо в периодическом, либо в непрерывном режиме. В некоторых случаях, в которых желательно иметь процесс, осуществляемый в один проход, или "прямоточный" процесс, использование нескольких последовательных HSD может также быть выгодным. В некоторых вариантах реализации изобретения реагенты проходят через несколько HSD 40, расположенных последовательно или параллельно. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения продукт в выпускном трубопроводе 19 подается во второе устройство HSD. В тех случаях, когда несколько HSD 40 эксплуатируются последовательно, дополнительные реагенты (жидкие, газообразные или твердые) могут вводиться в сырьевой поток на входе каждого HSD. Например, во второе или последующее устройство HSD 40 может быть введен дополнительный диспергируемый газ или пар, такой как водород, кислород, воздух, попутный газ или водяной пар. В некоторых вариантах реализации изобретения несколько HSD 40 эксплуатируются параллельно, и выходящие из них продукты вводятся в один или несколько трубопроводов 19. Аналогично, в соответствующих случаях может использоваться несколько HSD 40а, и дополнительные реагенты (например, синтез-газ и/или двуокись углерода) или носитель могут быть введены, в случае необходимости, в дополнительные устройства HSD 40а.

Преимущества

Скорость химических реакций, в которых участвуют жидкости, газы и твердые вещества, зависит от времени контакта, температуры и давления. В тех случаях, когда желательно осуществить реакцию двух или нескольких сырьевых материалов, находящихся в разных фазах (например, твердое вещество и жидкость; жидкость и газ; твердое вещество, жидкость и газ; твердое вещество и газ), одним из лимитирующих факторов, контролирующих скорость реакции, является время контакта реагентов. Если скорости реакций повышены, то времена пребывания могут быть уменьшены, и, таким образом, можно получить повышенную производительность.

В случае гетерогенно-каталитических реакций дополнительным фактором, ограничивающим скорость, является удаление прореагировавших продуктов с поверхности твердого катализатора для того, чтобы позволить катализатору катализировать следующие реагенты. Время контакта реагентов и/или катализатора часто контролируют с помощью перемешивания, которое обеспечивает контакт с реагентами, участвующими в химической реакции. Использование описанного устройства (устройств) HSD может повысить скорости реакций в сравнении с традиционными системами и способами. Например, с использованием описанной системы и способа может быть повышена скорость реакции газификации углеродсодержащего материала и/или скорость реакции ФТ.

В химии эмульсий известно, но при этом не желая ограничиваться какой-либо теорией, что субмикронные частицы или пузырьки, диспергированные в жидкости, перемещаются, главным образом, за счет броуновского движения. Такие частицы или пузырьки субмикронных размеров могут иметь более высокую подвижность в пограничных слоях твердых частиц катализатора, посредством чего облегчается и ускоряется каталитическая реакция за счет более эффективного переноса реагентов.

Тщательное перемешивание, которое обеспечивает устройству HSD, может привести к более быстрой и/или более полной реакции реагентов [например, реакции между  $\text{CH}_x$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в соответствии с уравнениями (3)/(5) и/или реакция между  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  в соответствии с уравнением (7)]. В некоторых вариантах

реализации изобретения использование описанного процесса, включающего в себя перемешивание реагента с использованием внешнего HSD, позволяет использовать уменьшенные количества катализатора (например, катализатора ФТ), чем в традиционных конфигурациях и способах, и/или повышает выход продукта и/или степень превращения реагентов (например, углерода в углеродсодержащем материале суспензии в HSD 40 и синтез-газа в HSD 40a). В некоторых вариантах реализации изобретения способ включает в себя включение внешнего HSD 40 в общепринятый процесс, тем самым уменьшая количество катализатора, необходимое для воздействия на желательную реакцию и/или позволяя повысить производительность в сравнении с процессом без HSD 40. Например, включение одного или нескольких HSD 40 в существующую технологическую установку ФТ может сократить затраты и/или повысить объем выпуска жидких углеводородных продуктов за счет более экономичного производства синтез-газа, имеющего необходимый состав. Включение HSD для производства синтез-газа может позволить уменьшить объем переработки синтез-газа, необходимый выше традиционного реактора ФТ по технологической линии (например, уменьшить или устранить необходимость удаления CO<sub>2</sub> из синтез-газа перед ФТ). В некоторых вариантах реализации изобретения описанный способ уменьшает эксплуатационные расходы и/или повышает производительность в сравнении с существующим процессом. В соответствии с другими вариантами реализации изобретения описанный способ может уменьшать капитальные затраты на внедрение новых процессов.

Не желая ограничиваться конкретной теорией, считают, что в определенных вариантах реализации настоящей системы и способов HSD может создавать кавитацию, за счет которой один или несколько реагентов диссоциируют на свободные радикалы, которые затем вступают в реакцию. В некоторых вариантах реализации изобретения экстремальное давление на лопастях роторов/статоров приводит к жидкофазной реакции без какого-либо участия кавитации.

Использование многофункциональных катализаторов

В некоторых вариантах реализации изобретения в процессах, описанных в настоящей заявке, используется многофункциональный катализатор. В одном варианте реализации изобретения многофункциональный катализатор способен активировать, как реакции дегидрогенирования, так и реакции образования спирта (AF). В другом варианте реализации изобретения многофункциональный катализатор способен активировать как реакции ФТ, так и реакции образования спирта (AF). В некоторых вариантах реализации изобретения многофункциональный катализатор - это смесь катализатора реакции дегидрогенирования и катализатора реакции образования спирта. В некоторых других вариантах реализации изобретения многофункциональный катализатор - это смесь катализатора реакции ФТ и катализатора реакции образования спирта. Катализаторы для реакций дегидрогенирования, реакций ФТ и реакций образования спирта (AF) описаны в настоящей заявке и хорошо известны в данной области техники. Описания публикаций патентных заявок США № 2008/0281136 и № 5659090 и 4551444 включены в настоящую заявку путем ссылки для объяснения подробностей, связанных с катализаторами дегидрогенирования, катализаторами ФТ и катализаторами образования спирта (AF).

В зависимости от сырья и желательных конечных продуктов, могут использоваться различные многофункциональные катализаторы. Такие катализаторы способны активировать такие каталитические процессы, как дегидрогенирование, диссоциация воды, диссоциация диоксида углерода, риформинг синтез-газа и образование спирта. Например, многофункциональный катализатор используется в процессе ФТ, в котором упомянутый катализатор активирует реакции диссоциации/окисления топлива для производства синтез-газа и реакции риформинга синтез-газа. В некоторых случаях такой многофункциональный катализатор представляет собой смесь, образованную путем тщательного перемешивания нескольких подходящих и совместимых катализаторов. В некоторых других случаях такой многофункциональный катализатор представляет собой смесь, включающую в себя отдельные частицы катализаторов. Могут также использоваться комбинации неорганических и органических катализаторов (включая биокатализаторы).

В некоторых вариантах реализации изобретения использование многофункционального катализатора для реакций ФТ и реакций образования спирта (AF) снижает выход нежелательных побочных продуктов (например, воды, оксида углерода, диоксида углерода). В некоторых вариантах реализации изобретения использование многофункционального катализатора для реакций ФТ и реакций образования спирта (AF) повышает выход углеводородов C<sub>2+</sub> и кислородсодержащих соединений (например, спиртов). В некоторых вариантах реализации изобретения использование многофункционального катализатора для реакций дегидрогенирования и реакций образования спирта (AF) снижает выход нежелательных побочных продуктов (например, воды, оксида углерода, диоксида углерода). В некоторых вариантах реализации изобретения использование многофункционального катализатора для реакций дегидрогенирования и реакций образования спирта (AF) повышает выход углеводородов C<sub>2+</sub> и кислородсодержащих соединений (например, спиртов). В одном варианте реализации изобретения используется многофункциональный катализатор, причем упомянутый многофункциональный катализатор способен активировать: (1) расщепление метана (дегидрогенирование или частичное окисление метана); (2) риформинг синтез-газа; (3) синтез спирта и (4) диссоциацию воды и/или диоксида углерода. В некоторых случаях такой многофункциональный катализатор представляет собой смесь, образованную путем тщательного перемешива-

ния нескольких подходящих и совместимых катализаторов. В некоторых других случаях такой многофункциональный катализатор представляет собой смесь, включающую в себя отдельные частицы катализаторов. Несколько HSD может использоваться последовательно для проведения различных реакций. Некоторые HSD используют подходящий катализатор, некоторые HSD не нуждаются в присутствии катализатора. В реакциях с участием диоксида углерода, в некоторых случаях, двуокись углерода растворена в воде с образованием углекислоты ( $H_2CO_3$ ) перед диссоциацией.

В некоторых вариантах реализации изобретения многофункциональный катализатор применяется в реакторе с неподвижным слоем. Например, реактор с неподвижным слоем расположен ниже HSD по технологическому потоку. После тщательного перемешивания реагентов в HSD реакционная смесь вводится в реактор с неподвижным слоем, включающий в себя многофункциональный катализатор, и реакции могут проходить в реакторе с неподвижным слоем. В некоторых других вариантах реализации изобретения многофункциональный катализатор применяется в виде суспензии. Например, суспензия многофункционального катализатора и реагенты могут перемешиваться в HSD, а затем реакционная смесь с суспензией катализатора вводится в подходящий сосуд. Реакции могут протекать как в HSD, так и в сосуде. В некоторых других вариантах реализации изобретения многофункциональный катализатор применяется как конструкционный материал каталитической поверхности в HSD. Например, реагенты вводятся в устройство HSD, включающее в себя каталитическую поверхность, содержащую многофункциональный катализатор. Реакции инициируются в HSD и могут протекать в подходящем сосуде, подсоединенном по текучей среде к HSD ниже по потоку.

В некоторых вариантах реализации изобретения для получения желательных продуктов в процессах, использующих многофункциональные катализаторы, требуется дополнительная двуокись углерода и/или вода. Например, если используется несколько HSD (параллельно или последовательно), то двуокись углерода и/или вода может быть добавлена между ступенями, если необходимо. Предполагается, что специалист в данной области техники, в рамках настоящего изобретения, способен принять решение относительно необходимости ввода дополнительных реагентов (например, диоксида углерода и/или воды).

#### Примеры

Для иллюстрации и пояснения примерами принципов настоящего изобретения использовались различные размеры, величины, количества, объемы, скорости и другие численные параметры и значения, которые не должны рассматриваться как ограничение изобретения теми численными параметрами и числами, которые показаны, описаны или иным образом указаны в настоящей заявке. Более того, если это не указано особо, то порядок этапов не считается критическим. Различные описания вариантов реализации изобретения, рассматриваемые ниже, могут применяться отдельно или в любой подходящей комбинации для производства желаемых результатов.

Пример 1. Проведение реакции в условиях высокой скорости сдвига смеси метан:двуокись углерода в соотношении 2:1 с карбонилем рутения.

В системе 100 поместили охлаждаемую ловушку, как показано на фиг. 1. Пять граммов трирутенийкарбонила растворили при  $125^\circ C$  в 0,5 л ПЭГ. Эту смесь трирутенийкарбонил/ПЭГ добавили к 1 л ПЭГ. Через три часа после начала испытания раствор трирутенийкарбонил/ПЭГ ввели в сосуд 10 на один час.

Образец жидкого продукта MBM-33-B (жидкость) отобрали из жидкости охлаждаемой ловушки 24 и проанализировали на гликоли. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. MBM 33B (жидкость)

Метод испытания	Компонент	Количество, мг/л
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения	этанол	484
	метанол	4637
	н-пропиловый спирт	44,7
	трет-бутиловый спирт	7,08
	этиленгликоль	27264
	диэтиленгликоль	68170
	триэтиленгликоль	123207
	тетраэтиленгликоль	142359
	1,2,4-триметилбензол	0,826
	1,3,5-триметилбензол	0,574
SW-846 8260B Летучие органические соединения	этилбензол	0,193
	мета- и пара-ксилолы	1,04
	мстилэтилкетон	18,6
	нафталин	0,601
	н-бутилбензол	0,143
	орто-ксилол	0,570
	ксилолы	1,61
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов	C <sub>6</sub> -C <sub>12</sub>	407
	>C <sub>12</sub> -C <sub>28</sub>	343
	>C <sub>28</sub> -C <sub>35</sub>	НРП*
	Всего C <sub>6</sub> -C <sub>35</sub> алифатические (>C <sub>06</sub> -C <sub>08</sub> )	750
	алифатические (>C <sub>08</sub> -C <sub>10</sub> )	НРП
	алифатические (>C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> )	НРП
	алифатические (>C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub> )	139,656
TX 1006 Общее содержание нефтяных углеводородов	алифатические (>C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub> )	53,404
	алифатические (>C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub> )	НРП
	ароматические (C <sub>06</sub> -C <sub>08</sub> )	НРП
	ароматические (C <sub>08</sub> -C <sub>10</sub> )	478,062
	ароматические (C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> )	54,089
	ароматические (C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub> )	50,074
	ароматические (C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub> )	61,368
	ароматические (C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub> )	НРП
	Количество, мг/л	
	Количество, мг/л	

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Пример 2. Проведение реакции в условиях высокой скорости сдвига смеси метан:двуокись углерода в соотношении 2:1 с карбонилем рутения.

Образец MBM 34-2 отобрали из газа охлаждаемой ловушки 25, образец 34-1 отобрали из продукта в выпускном трубопроводе 16 сосуда 10, а образец 34-PEG отобрали из исходного полиэтиленгликоля. Образцы проанализировали на углеводороды и гликоли. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. MBM 34-1, MBM 34-2 и MBM 34-PEG

Метод испытания	Компонент	MBM 34-1 Жидкость из реактора	MBM 34-2 Газ из охлаждаемо й ловушки	MBM 34- PEG Исходный ПЭГ
ERA TO-15 Летучие органические соединения в воздухе с использованием хромато-масс- спектрометрии, норм. л	бензол	-----	2,72	-----
	толуол	-----	3,51	-----
	этилбензол	-----	7,55	-----
	мета- и пара-ксилолы	-----	8,81	-----
	стирол	-----	1,09	-----
	орто-ксилол	-----	9,17	-----
	1,3,5-триметилбензол	-----	2,68	-----
	1,2,4-триметилбензол	-----	5,74	-----
	этанол	НРП*	-----	НРП
	метанол	НРП	-----	НРП
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/кг	н-пропиловый спирт	НРП	-----	НРП
	трет-бутиловый спирт	НРП	-----	НРП

Метод испытания	Компонент	МВМ 34-1 Жидкость из реактора	МВМ 34-2 Газ из охлаждаемо й ловушки	МВМ 34- РЕГ Исходный ПЭГ
SW-846 8015M Гликоли, мг/кг	спирт			
	этиленгликоль	2780	-----	НРП
	диэтиленгликоль	27216	-----	27353
	триэтиленгликоль	152328	-----	165424
	тетраэтиленгликол ь	402944	-----	430688
SW-846 8260B Летучие органические соединения, мг/кг	1,2,4- триметилбензол	0,460	-----	0,163
	1,3,5- триметилбензол	0,128	-----	0,097
	этилбензол	0,139	-----	0,329
	мета- и пара- ксилолы	0,574	-----	0,509
	метилэтилкетон	0,210	-----	0,490
	нафталин	НРП	-----	НРП
	н-бутилбензол	НРП	-----	НРП
	н-пропилбензол	-----	-----	0,059
	орто-ксилол	0,249	-----	0,097
	ксилолы	-----	-----	-----
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/кг	толуол	0,131	-----	0,701
	C <sub>6</sub> -C <sub>12</sub>	1457	-----	497
	>C <sub>12</sub> -C <sub>28</sub>	3531	-----	1950
	>C <sub>28</sub> -C <sub>35</sub>	НРП	-----	НРП
	Всего C <sub>6</sub> -C <sub>35</sub>	4988	-----	2447
TX 1006 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/кг	алифатические (>C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub> )	НРП	-----	НРП
	алифатические (>C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub> )	НРП	-----	НРП
	ароматические (C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub> )	342,049	-----	339,020
	ароматические (C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> )	1569,564	-----	1229,302
	ароматические (C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub> )	994,041	-----	866,937
ароматические (C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub> )	1566,368	-----	НРП	

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Образцы МВМ-34D и МВМ-34F были отобраны из жидкости охлаждаемой ловушки 24. Результаты анализа образцов представлены в табл. 4.

Таблица 4. МВМ 34-1, МВМ 34-2 и МВМ 34

Метод испытания	Компонент	МВМ 34-D	МВМ 34-F	
		Охлаждаемая ловушка	Охлаждаемая ловушка	
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/л	этанол	146	125	
	метанол	2020	2884	
	н-пропиловый спирт	13,9	20,9	
	трет-бутиловый спирт	НРП*	НРП	
SW-846 8015M Гликоли, мг/л	этиленгликоль	11363	13147	
	диэтиленгликоль	34752	31944	
	триэтиленгликоль	51417	54701	
	тетраэтиленгликоль	64274	104596	
SW-846 8260B Летучие органические соединения, мг/л	1,2,4-триметилбензол	0,258	НРП	
	1,3,5-триметилбензол	НРП	НРП	
	этилбензол	НРП	НРП	
	мета- и пара-ксилолы	0,260	НРП	
	метилэтилкетон	11,6	4,29	
	нафталин	0,156	НРП	
	н-бутилбензол	НРП	НРП	
	н-пропилбензол	НРП	НРП	
	орто-ксилол	0,142	НРП	
	ксилолы	0,402	НРП	
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	толуол	НРП	НРП	
	C <sub>6</sub> -C <sub>12</sub>	231	354	
	>C <sub>12</sub> -C <sub>28</sub>	116	3156	
	>C <sub>28</sub> -C <sub>35</sub>	НРП	НРП	
	Всего C <sub>6</sub> -C <sub>35</sub> алифатические (>C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub> )	347,583	3510	
TX 1006 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	алифатические (>C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub> )	НРП	НРП	
	алифатические (>C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> )	НРП	НРП	
	алифатические (>C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub> )	54,754	1447,8	
	алифатические (>C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub> )	36,737	774,1	
	алифатические (>C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub> )	НРП	533,8	
	ароматические (C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub> )	НРП	НРП	
	ароматические (C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub> )	112,049	НРП	
	Метод испытания	Компонент	МВМ 34-D	МВМ 34-F
			Охлаждаемая ловушка	Охлаждаемая ловушка
			ароматические (C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> )	37,385
ароматические (C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub> )			35,599	251,4
ароматические (C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub> )	47,699	403,0		
ароматические (C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub> )	НРП	НРП		

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Пример 4. Проведение реакции в условиях высокой скорости сдвига смеси метан:диоксид углерода в соотношении 2:1 и только метана в парафиновом масле с палладиевым катализатором на диоксиде кремния.

Образцы МВМ-35В Вода и 35-TagA Вода были отобраны из охлаждаемой ловушки 24. Результаты анализа образцов представлены в табл. 5.

Таблица 5. МВМ 35-В Вода и МВМ 35-TagA Вода

Метод испытания	Компонент	МВМ 35-В	МВМ 35-TagA
		Вода Жидкость охлаждаемой ловушки	Вода Жидкость охлаждаемой ловушки
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/л	2-пропанол	НРП*	НРП
	этанол	2648	2036
	изобутиловый спирт	66,9	41,4
	метанол	1147	1602
SW-846 8015M Гликоли, мг/л	н-бутанол	881	828
	н-пропиловый спирт	1488	1180
	втор-бутиловый спирт	474	447
	трет-бутиловый спирт	58,4	72,5
SW-846 8260B	этиленгликоль	2761	2846
	диэтиленгликоль	2842	4747
	триэтиленгликоль	2568	4367
	тетраэтиленгликоль	774	1644
	1,2,4-	НРП	НРП

Метод испытания	Компонент	МВМ 35-В	МВМ 35-TagA	
		Вола Жидкость охлаждаемой ловушки	Вола Жидкость охлаждаемой ловушки	
Летучие органические соединения, мг/л	триметилбензол			
	1,3,5-	НРП	НРП	
	триметилбензол	НРП	НРП	
	этилбензол	НРП	НРП	
	мета- и пара-ксилолы	НРП	НРП	
	метилэтилкетон	386	783	
	нафталин	НРП	НРП	
	н-бутилбензол	НРП	НРП	
	н-пропилбензол	НРП	НРП	
	орто-ксилол	НРП	НРП	
	ксилолы	НРП	НРП	
	толуол	НРП	НРП	
	С <sub>6</sub> -С <sub>12</sub>	1556	1255	
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	>C12-C28	3655	2460	
	>C28-C35	931	1418	
	Всего С6-С35	6142	5133	
	алифатические (>С6-С8)	НРП	НРП	
	алифатические (>С8-С10)	38,4	61,7	
	алифатические (>С10-С12)	92,2	121,7	
	алифатические (>С12-С16)	549,3	387,7	
	алифатические (>С16-С21)	733,7	561,9	
	TX 1006 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	алифатические (>С21-С35)	3281,5	3759,2
		ароматические (С6-С8)	456,5	414,8
ароматические (С8-С10)		617,1	321	
ароматические (С10-С12)		690,8	248	
ароматические (С12-С16)		701,4	118,6	
ароматические (С16-С21)		162,5	НРП	
ароматические (С21-С35)		87,7	НРП	

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Образцы МВМ-35В Масло и МВМ-35TagA Масло были отобраны из жидкости сосуда 10. Результаты анализа образцов представлены в табл. 6.

Таблица 6. МВМ 35-В Масло и МВМ 35-TagA Масло

Метод испытания	Компонент	МВМ 35-В	МВМ 35-TagA
		Масло Жидкость сосуда 10	Масло Жидкость сосуда 10
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/кг	2-пропанол	НРП*	НРП
	этанол	450	202
	изобутиловый спирт	71,8	38,9
	метанол	132	173
	н-бутанол	1611	818
	н-пропиловый спирт	867	378
	втор-бутиловый спирт	361	174
	трет-бутиловый спирт	НРП	НРП
	этиленгликоль	НРП	НРП
	диэтиленгликоль	НРП	НРП
SW-846 8015M Гликоли, мг/кг	триэтиленгликоль	НРП	НРП
	тетраэтиленгликоль	НРП	НРП
	1,2,4-	НРП	НРП
	триметилбензол		
SW-846 8260B Летучие органические соединения, мг/кг	1,3,5-	НРП	НРП
	триметилбензол	НРП	НРП
	этилбензол	НРП	НРП
	мета- и пара-ксилолы	НРП	НРП
	метилэтилкетон	462	545
	нафталин	НРП	НРП
	н-бутилбензол	НРП	НРП
	н-пропилбензол	НРП	НРП
	орто-ксилол	НРП	НРП
	ксилолы	НРП	НРП
толуол	НРП	НРП	
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/кг	С <sub>6</sub> -С <sub>12</sub>	160598	19135
	>C12-C28	534858	60488
	>C28-C35	128928	47059
	Всего С6-С35	824384	126682
TX 1006 Общее содержание	алифатические (>С6-С8)	НРП	НРП

Метод испытания	Компонент	МВМ 35-В Масло Жидкость сосуда 10	МВМ 35-TagA Масло Жидкость сосуда 10
нефтяных углеводородов, мг/кг	алифатические (>C8-C10)	14144	НРП
	алифатические (>C10-C12)	24985	3160,8
	алифатические (>C12-C16)	78792	8115,5
	алифатические (>C16-C21)	100170	11078,6
	алифатические (>C21-C35)	484242	78233,2
	ароматические (C06-C08)	15842	10369,9
	ароматические (C08-C10)	55048	11291,5
	ароматические (C10-C12)	67800	8445,2
	ароматические (C12-C16)	73365	6187,8
	ароматические (C16-C21)	25389	3866,2
	ароматические (C21-C35)	НРП	НРП

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Пример 5. Превращение этана в условиях высокой скорости сдвига

Для данного примера использовали ту же конфигурацию оборудования, которая использовалась в примерах 2-4.

Мешалку на сосуде 10 эксплуатировали при 1000 об/мин. Устройство с высокой скоростью сдвига 40 эксплуатировали при 13500 об/мин. Сосуд 10 поддерживали при температуре 150°C и давлении 345 кПа (50 фунтов на кв. дюйм).

Шесть литров расплавленного полиэтиленгликоля, имеющего среднечисленную молекулярную массу,  $M_n$ , равную 850-950 (Sigma Aldrich), поместили в сосуд 10 вместе с 2 кг палладиевого катализатора (0,5% вес. Pd на  $SiO_2$ ) и 2 г додекакарбонилтрирутения (Sigma Aldrich). Включили все три нагревателя (Н1, Н2, Н3), шестеренчатый насос 5 и HSD 40.

Систему 100 закрыли и три раза продули  $CO_2$ , включили газовый компрессор (извлекающий газ из верхней части сосуда 10 в подводящий трубопровод 22 устройства HSD 40). В верхнюю часть сосуда ввели сырьевой газ, включающий в себя этан и  $CO_2$  с соотношением расходов примерно 2:1. Провели аналогичные эксперименты с введением и без введения 1 л воды в сосуд 10. Через 12 ч закончили эксперимент, отобрали образцы из охлаждаемой ловушки 30 и проанализировали. Результаты представлены в табл. 7. Образец МВМ 39-А соответствует эксперименту без введения воды, а образец МВМ 39-АW - эксперименту с введением воды.

Таблица 7. Образцы жидкости охлаждаемой ловушки МВМ 39-А и МВМ 39-АW

Метод испытания	Компонент	МВМ 39-А	МВМ 39-АW
	2-пропанол	НРП*	НРП
	этанол	3876	77,9
	изобутиловый спирт	НРП	НРП
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/л	метанол	3938	180
	н-бутанол	НРП	НРП
	н-пропиловый спирт	339	НРП
	втор-бутиловый спирт	НРП	НРП
	трет-бутиловый спирт	44,4	НРП
SW-846 8015M Гликоли, мг/л	этиленгликоль	2142	156
	диэтиленгликоль	2785	94,2
	триэтиленгликоль	284	НРП
	тетраэтиленгликоль	707	НРП
SW-846 8260B Легучие органические соединения, мг/л	метилэтилкетон	176	4,47
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	$C_6-C_{12}$	НРП	70,1
	>C12-C28	14609	1031
	>C28-C35	НРП	НРП
	Всего C6-C35	14609	1101,1

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Пример 6. Превращение пропана в условиях высокой скорости сдвига

Провели эксперимент с использованием оборудования и условий, аналогичных примеру 5, за исключением того, что вместо этана использовали газообразный пропан. Провели аналогичные эксперименты с введением и без введения 1 л воды в сосуд 10. Через 12 ч закончили эксперимент, отобрали образцы из охлаждаемой ловушки 30 и проанализировали.

Результаты представлены в табл. 8. Образец МВМ 39-В соответствует эксперименту без введения воды, а образец МВМ 39-ВW - эксперименту с введением воды.

Таблица 8. Образцы жидкости охлаждаемой ловушки MBM 39-B и MBM 39-BW

Метод испытания	Компонент	MBM 39-B	MBM 39-BW
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/л	2-пропанол	НРП*	НРП
	этанол	569	47,1
	изобутиловый спирт	НРП	НРП
	метанол	5949	482
	н-бутанол	НРП	НРП
	н-пропиловый спирт	96,5	НРП
	втор-бутиловый спирт	НРП	НРП
	трет-бутиловый спирт	НРП	НРП
	этиленгликоль	15229	1282
	диэтиленгликоль	22270	2937
SW-846 8015M Гликоли, мг/л	триэтиленгликоль	7112	2679
	тетраэтиленгликоль	5137	1648
SW-846 8260B Летучие органические соединения, мг/л	1,2,4-триметилбензол	1,38	НРП
	мета- и пара-ксилолы	0,606	НРП
	метилэтилкетон	19,9	53,6
	ацетат	3,408	НРП
	нафталин	1,79	НРП
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	орто-ксилол	0,527	НРП
	ксилолы	1,133	НРП
	C <sub>6</sub> -C <sub>12</sub>	НРП	НРП
	>C <sub>12</sub> -C <sub>28</sub>	22915	2351
	>C <sub>28</sub> -C <sub>35</sub>	НРП	НРП
	Всего C <sub>6</sub> -C <sub>35</sub>	22915	2351

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Пример 7. Превращение бутана в условиях высокой скорости сдвига

Провели эксперимент с использованием оборудования и условий, аналогичных примеру 5, за исключением того, что вместо этана использовали газообразный бутан. С целью облегчения удаления паром присутствующих органических соединений, в ходе этого эксперимента в сосуд 10 ввели 1 л воды. Результаты анализа представлены в табл. 9.

Таблица 9. Жидкость охлаждаемой ловушки MBM 39-CW

Метод испытания	Компонент	MBM 39-CW
SW-846 8015D Непродуваемые органические соединения, мг/л	2-пропанол	НРП*
	этанол	117
	изобутиловый спирт	НРП
	метанол	276
	н-бутанол	НРП
	н-пропиловый спирт	24,0
	втор-бутиловый спирт	НРП
	трет-бутиловый спирт	НРП
	этиленгликоль	НРП
	диэтиленгликоль	НРП
SW-846 8015M Гликоли, мг/л	триэтиленгликоль	НРП
	тетраэтиленгликоль	НРП
SW-846 8260B Летучие органические соединения, мг/л	этилацетат	18
	этилбензол	0,462
	метилэтилкетон	23,9
	ацетат	18,25
	н-бутилбензол	0,462
	н-пропилбензол	0,343
	орто-ксилол	0,331
толуол	0,755	
TX 1005 Общее содержание нефтяных углеводородов, мг/л	ксилолы	0,331
	C <sub>6</sub> -C <sub>12</sub>	НРП
	>C <sub>12</sub> -C <sub>28</sub>	3525
	>C <sub>28</sub> -C <sub>35</sub>	НРП
	Всего C <sub>6</sub> -C <sub>35</sub>	3525

\*НРП: ниже регистрируемых пределов

Пример 8. Проведение реакции оксида углерода и водорода с использованием перемешивания с высокой скоростью сдвига

Следующий пример демонстрирует способность устройства с высокой скоростью сдвига способствовать реакции между окисью углерода и водородом в процессе превращения синтез-газа, аналогичном процессу, который широко известен как реакция Фишера-Тропша, в которой синтезируются углеводороды с более высокой молекулярной массой.

К реактору с мешалкой объемом 10 литров подсоединили внешнюю коллоидную мельницу IKA MK 2000/40 (зарегистрированный товарный знак IKA Works, Inc. Wilmington, NC). Устройство, использованное в данном примере для осуществления реакции между CO и H<sub>2</sub> в процессе с высокой скоростью сдви-

га 400, схематически показано на фиг. 4.

Реактор объемом 10 литров изготовили следующим образом: к отрезку трубы из нержавеющей стали диаметром 10 дюймов (254 мм) приварили плоское дно и плоскую крышку, оборудованную валом мешалки и уплотнением. Реактор 10 включал в себя лопастную мешалку 110 и охлаждающий змеевик 125. Реактор 10 также включал в себя клапан сброса давления 17, отводящий трубопровод 21, датчик температуры 2 и манометр 3. Для нагревания реактора 10 в процессе пуска использовали нагревательную рубашку 120.

В реактор 10 загрузили 8 л метанола (безводный, 99,8%), который использовали в качестве жидкости-носителя, и 5 г катализатора додекакарбонилтрирутений (99%), оба компонента поставлены Sigma-Aldrich Corporation, St. Louis, Missouri.

Реактор 10 герметизировали и продули водородом. Циркуляцию катализатора начали вместе с нагреванием. В качестве циркуляционного насоса 5 использовали шестеренчатый насос Roper тип 1 производства Roper Pump Company (Коммерс, Джорджия).

Поток диспергируемого газа, включающий в себя поток смешанного газа с мольным соотношением  $H_2:CO$  около 2, подали через подводящий трубопровод для диспергируемого газа 22 на вход в устройство ИКА 40 при температуре окружающей среды. Расход газа регулировали с помощью клапана сброса давления (не показан) между распределительным коллектором (не показан) и реакторным устройством ИКА 40. Затем провели реакцию, поддерживая расход смешанного газа в реактор. Значения температуры и давления приведены в табл. 10.

Таблица 10. Значение температуры и давления для примера 8

Время (мин)	Насос 5 Давление		Давление в реакторе 10		Температура (°C)	Расход смешанного газа (см <sup>3</sup> /мин)
	(фунты на кв. дюйм)	кПа	(фунты на кв. дюйм)	кПа		
0	80	552	23	159	61	50
60	122	841	70	531	77	81
120	162	1117	115	538	78	183
180	193	1331	154	545	79	200

Излишние летучие вещества выпускали через реактор 10 и конденсатор 130, который охлаждали водой. Выпускной трубопровод 17 реактора 10 использовали для удаления избыточного водорода, CO и летучих продуктов реакции. Устройство с высокой скоростью сдвига 40, установили на 60 Гц. Через 180 минут поток смешанного газа в трубопроводе 22 перекрыли, давление в реакторе 10 понизили, и дали системе, создающей высокую скорость сдвига 400, охладиться до комнатной температуры. Из реактора 10 отобрали образец и проанализировали методом газовой хроматографии. Результаты анализа представлены в табл. 11.

Таблица 11. Результаты газовой хроматографии из примера 8

Компонент	Весовой %
метанол	90,83
н-гексан*	4,63
3-метилпентан	1,64
2,4-диметилпентан	0,85
2-метилпентан	0,66
C 22	0,20
прочие	1,19
Всего	100,00

\*Использовался как средство для промывки.

Результаты показывают, что система произвела некоторые высокомолекулярные ( $C_{5+}$ ) углеводородные продукты реакции.

Несмотря на то что в настоящей заявке показаны и описаны предпочтительные варианты реализации изобретения, специалист в данной области техники может внести в них изменения, не выходя за пределы существа и принципов изобретения. Варианты реализации изобретения, описанные в настоящей заявке, приведены только в качестве примеров и не должны рассматриваться как ограничивающие. Возможны многие варианты и модификации изобретения, описанного в настоящей заявке, которые не выходят за пределы объема изобретения. Там, где точно выражены интервалы числовых значений или ограничений, следует понимать, что такие точно выраженные интервалы числовых значений или ограничения включают итеративные интервалы или ограничения подобных величин, попадающих в пределы точно выраженных интервалов числовых значений или ограничений (например, от примерно 1 до примерно 10 включает 2, 3, 4 и т. д.; больше чем 0,10 включает 0,11, 0,12, 0,13 и так далее). Использование термина "необязательно" по отношению к любому элементу пункта формулы изобретения следует понимать так, что данный элемент нужен, или же, как вариант, не нужен. Оба варианта должны входить в объем пункта формулы изобретения. Использование более широких терминов, таких как "включает в себя", "включает", "имеющий" и т.д., следует понимать так, что они обеспечивают поддержку более узких терминов, таких как "состоящий из", "состоящий, главным образом, из", "составленный, в основном, из" и тому подобное.

Соответственно, объем защиты не ограничивается приведенным выше описанием, но ограничивается только нижеследующими пунктами формулы изобретения, объем защиты включает все эквиваленты объекта изобретения, сформулированного в пунктах формулы изобретения. Все без исключения пункты формулы изобретения включены в описание изобретения как варианты реализации настоящего изобретения. Таким образом, пункты формулы изобретения являются дальнейшим описанием и представляют собой дополнение к предпочтительным вариантам реализации настоящего изобретения. Цитированные в настоящей заявке описания всех патентов, патентных заявок и публикаций включены в настоящую заявку путем ссылки при условии, что они предоставляют иллюстративные, методические или иные подробности в дополнение к описаниям, сформулированным в настоящей заявке.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения синтез-газа из углеродсодержащего материала, включающий стадии, на которых:

(а) подают смесь, включающую углеродсодержащий материал и жидкую среду, в устройство с высокой скоростью сдвига;

(б) воздействуют на смесь скоростью сдвига, составляющей по меньшей мере  $20000 \text{ с}^{-1}$ , в устройстве с высокой скоростью сдвига, в условиях газификации, с получением потока, обработанного высокой скоростью сдвига, включающего синтез-газ; и

(с) отделяют продукт, включающий синтез-газ, от потока, обработанного высокой скоростью сдвига.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что на стадии (б) воздействия на смесь высокой скорости сдвига с получением потока, обработанного высокой скоростью сдвига и включающего синтез-газ, приводят смесь в контакт по меньшей мере с одним газом или паром, выбранным из группы, состоящей из водяного пара, водорода, воздуха, кислорода и попутного газа, или с катализатором, который ускоряет образование синтез-газа.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что отделенный на стадии (с) непрореагировавший углеродсодержащий материал, отделенную жидкую среду или то и другое повторно используют на стадии (а).

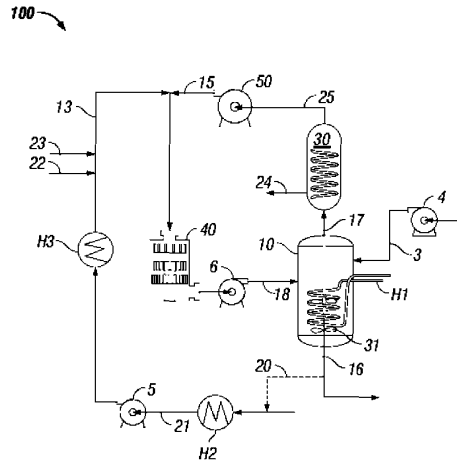
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что углеродсодержащий материал включает кокс, торф, природный газ, каменный уголь или их комбинацию, причем каменный уголь выбран из группы, состоящей из битуминозного угля, антрацита и лигнита; или углеродсодержащий материал включает порошкообразный каменный уголь или метан угольного пласта.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть отделенного продукта, включающего синтез-газ, используют для получения жидкого продукта, получая дисперсию синтез-газа в жидкой фазе и, при необходимости, проводя каталитическую реакцию с участием по меньшей мере части отделенного продукта, включающего синтез-газ, с получением углеводов по методу Фишера-Тропша.

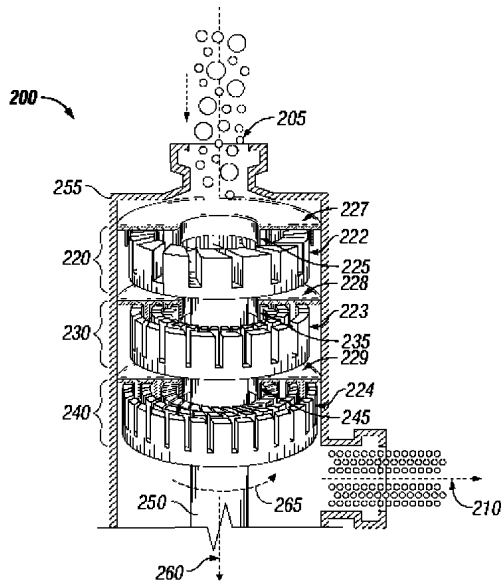
6. Способ по п.5, отличающийся тем, что жидкий продукт включает жидкие углеводороды и спирты; или жидкий продукт включает преимущественно жидкие углеводороды, преимущественно спирты, или, по существу, равные количества спиртов и жидких углеводородов; или жидкая фаза включает в себя один или несколько жидких углеводородов, полученных по методу Фишера-Тропша, один или несколько спиртов, или их комбинацию.

7. Способ по п.5, отличающийся тем, что при получении дисперсии вводят синтез-газ и жидкий носитель в устройство с высокой скоростью сдвига, включающее по меньшей мере один ротор и по меньшей мере один статор и обеспечивающее линейную скорость конца лопасти по меньшей мере  $23 \text{ м/с}$ , причем линейная скорость конца лопасти определяется как  $\pi Dn$ , где  $D$  - это диаметр по меньшей мере одного ротора и  $n$  - частота вращения.

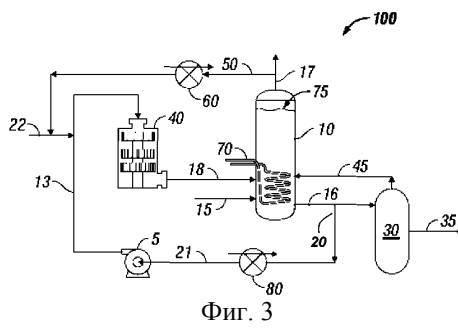
8. Способ по п.5, отличающийся тем, что дополнительно дисперсию вводят в реактор, включающий неподвижный слой катализатора или кипящий слой катализатора.



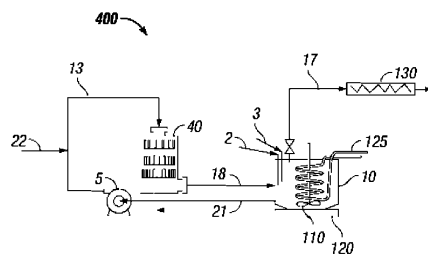
Фиг. 1



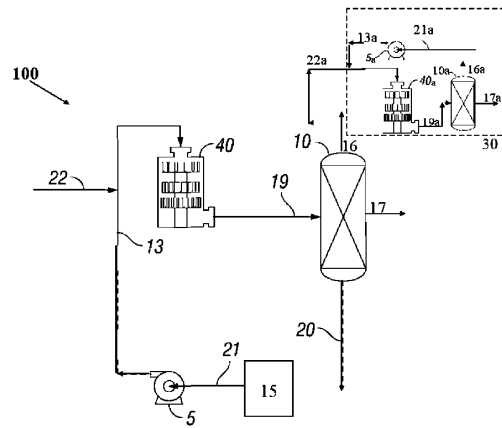
Фиг. 2



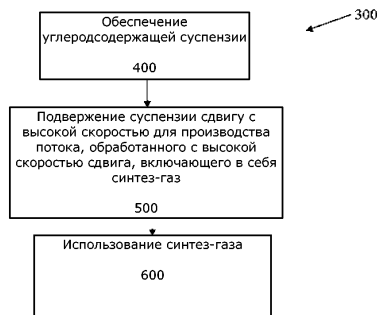
Фиг. 3



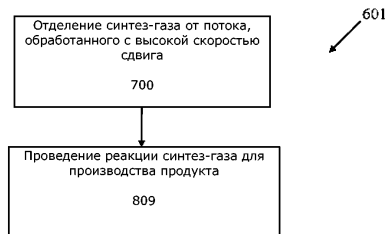
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8